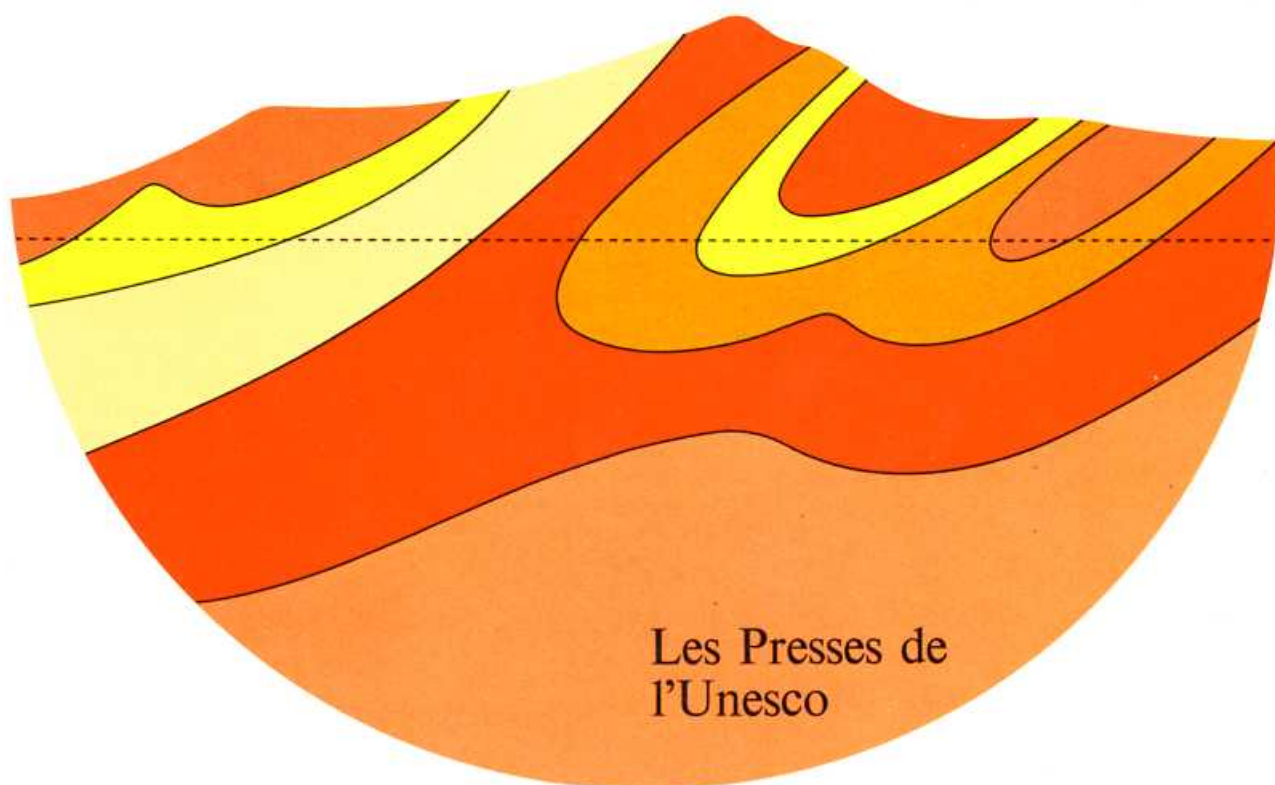


Guide pour la préparation des cartes géotechniques



Les Presses de
l'Unesco

Dans cette collection :

1. The seismicity of the earth, 1953-1965, by J.P. Rothé / La sismicité du globe, 1953-1965, par J. Rothé.
2. Gondwana stratigraphy. IUGS Symposium, Buenos Aires, 1-15 October 1967 / La estratigrafía del Gondwana. Coloquio de la UICG, Buenos Aires, 1-15 de octubre de 1967.
3. Mineral map of Africa. Explanatory note / Carte minérale de l'Afrique. Notice explicative. 1/10 000 000.
4. Carte tectonique internationale de l'Afrique. Notice explicative / International tectonic map of Africa. Explanatory note. 1/5 000 000.
5. Notes on geomagnetic observatory and survey practice, by K.A. Wienert.
5. Méthodes d'observation et de prospection géomagnétiques, par K.A. Wienert.
6. Tectonique de l'Afrique / Tectonics of Africa.
7. Geology of saline deposits. Proceedings of the Hanover Symposium, 15-21 May 1968 / Géologie des dépôts salins. Actes du Colloque de Hanovre, 15-21 mai 1968.
8. The surveillance and prediction of volcanic activity. A review of methods and techniques.
9. Genesis of Precambrian iron and manganese deposits. Proceedings of the Kiev Symposium, 20-25 August 1970 / Genèse des formations précambriennes de fer et de manganèse. Actes du Colloque de Kiev, 20-25 août 1970.
10. Carte géologique internationale de l'Europe et des régions riveraines de la Méditerranée. Notice explicative / International geological map of Europe and the Mediterranean region. Explanatory note. 1/5 000 000 (édition multilingue: français, anglais, allemand, espagnol, italien, russe / Multilingual edition: French, English, German, Spanish, Italian, Russian).
11. Geological map of Asia and the Far East. 1/5 000 000. Explanatory note. Second edition.
11. Carte géologique de l'Asie et de l'Extrême-Orient. 1/5 000 000. Notice explicative. Deuxième édition.
12. Geothermal energy. Review of research.
13. Carte tectonique de l'Europe et des régions avoisinantes. 1/2 500 000. Notice explicative / Tectonic map of Europe and adjacent areas. 1/2 500 000. Explanatory note.
14. Carte tectonique du système Carpathes-Balkans. 1/1 000 000. Notice explicative / Tectonic map of the Carpathian-Balkan system. 1/1 000 000. Explanatory note.
15. Engineering geological maps. A guide to their preparation.
15. Guide pour la préparation des cartes géotechniques.

Guide pour la préparation des cartes géotechniques

Préparé par
l'Association internationale
de géologie de l'ingénieur

Publié par
les Presses de l'Unesco
7, place de Fontenoy, 75700 Paris
Les Imprimeries Réunies, Lausanne (Suisse)

Les désignations employées et la présentation adoptée ici ne sauraient être interprétées comme exprimant une prise de position de l'éditeur sur le statut juridique ou le régime d'un pays ou d'un territoire quelconque, non plus que sur le tracé de ses frontières.

ISBN 92-3-201243-X
Ed. anglaise: 92-3-101243-6

Préface

Pour permettre d'accéder à une meilleure connaissance scientifique des gisements minéraux et autres ressources du sol, l'Unesco encourage, depuis de nombreuses années, la préparation et la publication de divers types de cartes géologiques à petite échelle. Le présent manuel est consacré à un aspect particulier de cette activité: l'établissement des cartes de géologie de l'ingénieur ou cartes géotechniques.

Ces cartes ont pour objet de représenter la répartition de phénomènes géologiques particuliers et de certains caractères des roches et des sols qui conditionnent l'utilisation de différents terrains à des fins techniques. Le fait que ces cartes sont de plus en plus demandées prouve qu'il est nécessaire de réaliser une normalisation des principes, des systèmes et des méthodes cartographiques. Il s'agit là d'un problème urgent mais difficile, et la meilleure façon de le résoudre est d'avoir recours à la coopération internationale.

Ce manuel, préparé pour l'Unesco par la Commission des cartes géotechniques de l'Association internationale de

géologie de l'ingénieur, résume les opinions d'une commission internationale d'experts et tient compte de l'expérience acquise par différents pays où l'établissement de cartes géotechniques se trouve déjà à un stade avancé. Il n'a pas la prétention de fournir des instructions détaillées pour l'établissement des cartes, mais présente simplement une synthèse de ce qui est actuellement réalisé dans le monde en cette matière. Les opinions exprimées sont celles des auteurs; elles ne sont pas nécessairement celles de l'Unesco.

L'Unesco désire exprimer sa gratitude à toutes les personnes qui ont bien voulu se charger de la préparation de ce manuel, et particulièrement au professeur M. Arnould, président de l'Association internationale de géologie de l'ingénieur, au professeur M. Matula, de l'Université Comenius de Bratislava, président de la Commission de cartographie géotechnique de cette association, et au professeur W.R. Dearman, de l'Université de Newcastle-upon-Tyne, qui a assumé la mise au point définitive.

Table des matières

1	Introduction	9	
2	Principes		
2.1	Introduction	11	
2.2	Définition d'une carte géotechnique	11	
2.3	Classification des cartes géotechniques	12	
2.4	Principes de classification des roches et des sols pour l'établissement des cartes géotechniques	12	
2.5	Conditions hydrogéologiques	13	
2.6	Conditions géomorphologiques	13	
2.7	Évaluation des phénomènes géodynamiques	14	
2.8	Principes de zonage géotechnique	15	
2.9	Principes généraux	15	
2.10	Références	15	
3	Techniques d'acquisition et d'interprétation des données		
3.1	Introduction	16	
3.2	Méthodes générales d'établissement des cartes géologiques	16	
3.2.1	Préparation de la carte topographique de base	16	
3.2.2	Acquisition des informations géologiques	16	
3.3	Conditions spéciales requises pour la préparation des cartes géotechniques	17	
3.3.1	Description géotechnique des roches et des sols	17	
3.3.2	Représentation cartographique des roches et des sols à des fins techniques	17	
3.3.3	Représentation cartographique des conditions hydrogéologiques	17	
3.3.4	Représentation cartographique des résultats des processus géodynamiques	20	
3.4	Techniques spéciales de cartographie géotechnique		
3.4.1	Photogéologie	20	
3.4.2	Méthodes géophysiques	20	
3.4.3	Techniques de forage et d'échantillonnage	21	
3.4.4	Essais au laboratoire et <i>in situ</i>	21	
3.5	Analyse et interprétation des données	21	
3.6	Références	22	
4	Présentation des données sur les cartes géotechniques		
4.1	Introduction	23	
4.2	Cartes à usages multiples	23	
4.2.1	Cartes analytiques à usages multiples	23	
4.2.2	Cartes synthétiques à usages multiples	23	
4.3	Cartes à usage particulier	25	
4.3.1	Cartes analytiques à usage particulier	25	
4.3.2	Cartes synthétiques à usage particulier	25	
4.4	Cartes géologiques explicatives	25	
4.5	Représentation à trois dimensions sur les cartes	25	
4.6	Coupes géotechniques	25	
4.7	Cartes de documentation	26	
4.8	Explications et légende	26	
4.9	Références	26	
5	Exemples de cartes géotechniques		
5.1	Introduction	27	
5.2	Exemples de cartes géotechniques à usages multiples	28	
5.2.1	Cartes analytiques à usages multiples	28	
5.2.2	Cartes synthétiques à usages multiples	32	
5.3	Exemples de cartes géotechniques à usage particulier	48	
5.3.1	Cartes analytiques à usage particulier	48	
5.3.2	Cartes synthétiques à usage particulier	52	
5.4	Cartes géologiques explicatives	64	
5.4.1	Carte géologique explicative, à moyenne échelle	64	
5.4.2	Carte géologique explicative, à grande échelle	68	
5.5	Cartes de documentation	70	
6	Plan d'une notice explicative	72	
7	Glossaire		
7.1	Introduction	73	
7.2	Définition des termes utilisés dans le manuel	73	
7.3	Références	76	
8	Bibliographie sélectionnée		
8.1	Introduction	77	
8.2	Cartographie géotechnique	77	
8.3	Cartes géotechniques publiées	78	
9	Remerciements	79	

La cartographie géotechnique a vu le jour au moment où s'est amorcée la coopération entre les géologues et les ingénieurs pour la réalisation des grands ouvrages de génie civil : tunnels, barrages et voies ferrées. Les premières cartes n'étaient guère différentes des cartes lithostratigraphiques et structurales actuelles. Les ingénieurs exigeant un nombre croissant de données géologiques quantitatives, on a vu progressivement apparaître — d'abord dans des textes explicatifs, puis dans des légendes développées et, enfin, sur les cartes géologiques elles-mêmes — des informations de caractère plus spécifique sur les aspects techniques des phénomènes géologiques et sur leur interprétation, du point de vue de l'ingénieur. De nos jours ces cartes explicatives sont toujours d'un usage courant et il arrive même qu'on leur donne le nom de cartes géotechniques.

Toutefois, l'évolution de la théorie et de la pratique de la cartographie géotechnique a montré que ces cartes « techniques », « explicatives » ou « dérivées » ne sont pas de véritables cartes géotechniques.

La géologie de l'ingénieur a pour objet de donner aux ingénieurs et aux bureaux d'études les informations qui leur permettront de réaliser de grands travaux et d'aménager le territoire en se conformant le mieux possible à l'environnement géologique. Lorsque cette exigence n'est pas respectée, les ouvrages de génie civil (et notamment les barrages, les tunnels, les autoroutes, les villes, les agglomérations industrielles et les grandes mines à ciel ouvert) perturbent — et souvent dans une mesure considérable — l'équilibre dynamique de l'environnement géologique. Il en résulte parfois des conséquences néfastes qui peuvent avoir une incidence non seulement sur l'économie et la durabilité des ouvrages, mais aussi sur leur sécurité.

L'environnement géologique est un système dynamique très complexe, à composantes multiples, qui ne peut être étudié globalement à l'occasion de travaux de construction ou d'autres activités techniques. En utilisant la méthode des modèles, il faut construire un schéma simplifié de ce système en ne retenant que les composantes de l'environnement géologique qui du point de vue de la géologie de l'ingénieur ont une importance décisive : répartition et propriétés des roches et des sols, eaux souterraines, caractéristiques du relief, et processus géodynamiques actuels. Une carte géotechnique indique la répartition et les relations spatiales de ces composantes fondamentales; elle peut donc retracer le passé ainsi que la dynamique de l'évolution des conditions géologiques qui intéressent l'ingénieur; elle permet de prévoir l'influence

de l'environnement sur les travaux de génie civil et de prédire de quelle façon ces travaux vont perturber l'environnement. Dans le système d'informations géologiques à l'usage des ingénieurs, les cartes de ce genre occupent une place essentielle et leur importance est immense. Ces cartes ne peuvent évidemment remplacer une étude détaillée du site d'un ouvrage, mais elles permettront de conduire rationnellement cette étude et d'en interpréter les résultats.

Les cartes géotechniques peuvent être destinées à des usages très variés; par exemple, il peut s'agir de planifier l'utilisation du sol dans une entreprise complexe d'utilisation et de développement de régions à caractères diversifiés (y compris des territoires où l'on ne s'est guère rendu maître des conditions naturelles : pergélisols, climats semi-arides, risques sismiques); les dimensions de telles régions peuvent aller de l'étendue d'un district urbain à celle d'un État tout entier. Certaines cartes ne sont utilisables qu'à des fins déterminées; d'autres, de conception plus large, peuvent servir à plusieurs usages, ce qui permet de résoudre des problèmes plus généraux. Elles peuvent être le point de départ des études préliminaires d'un projet (constructions urbaines et industrielles, voies de communication, ouvrages hydrauliques, etc.) et servir également dans la phase finale de la conception. Les dimensions, l'échelle et la précision de ces cartes dépendent de l'usage auquel elles sont destinées; elles peuvent avoir des contenus différents, donner une représentation d'un choix varié de caractéristiques naturelles et évaluer ces caractéristiques de différentes façons.

Malgré cette variété et cette spécificité, les cartes géotechniques — de même que les cartes lithostratigraphiques et les cartes tectoniques — doivent se conformer à certaines conventions, à une classification commune, à des principes communs et à un certain degré de normalisation. Cela représente une tâche considérable et très difficile, qui est à réaliser dans le cadre de la coopération internationale entre les ingénieurs géologues.

De nombreuses discussions ont eu lieu récemment, au cours de congrès et de colloques internationaux et dans des revues spécialisées, sur les principes à suivre pour l'établissement de cartes géotechniques. Ces discussions portaient sur des questions telles que celles-ci : Qu'est-ce qu'une carte géotechnique? Quels sont ses concepts de base et quel est son support méthodologique? Comment peut-on classer divers types de cartes selon leur usage, leur échelle et leur contenu? Quels critères de base doivent être utilisés dans la classification des roches (ainsi que d'autres phénomènes) et des unités

territoriales représentées sur les cartes géotechniques? Quels problèmes posent la collecte, l'interprétation et la représentation des données en matière de géologie de l'ingénieur? Comment les ordinateurs peuvent-ils être utilisés pour la préparation des cartes? Quel est l'avenir de la cartographie géotechnique? Quelles sont les possibilités de coopération internationale en matière de normalisation, de terminologie et d'échange de données d'expérience?

On a eu une confirmation de l'importance que présente l'établissement de ces cartes et de la nécessité d'une coopération internationale pour en assurer le développement lorsque l'assemblée générale de l'Association internationale de géologie de l'ingénieur (AIGI) a créé, en 1968, sa première commission désignée sous le nom de «Groupe de travail sur la cartographie géotechnique». Les tâches suivantes lui ont été assignées:

1. Faire le point de la situation actuelle, concernant l'établissement de cartes géotechniques.
2. Analyser les divers types de cartes appelées «cartes géotechniques», c'est-à-dire les cartes qui doivent servir pour les travaux de construction et pour l'aménagement du sol.
3. Dégager les tendances futures de la cartographie géotechnique et présenter des recommandations générales sur les informations que devrait fournir une carte géologique complexe.
4. Promouvoir les échanges internationaux d'informations sur ce sujet.

Après la publication de rapports sur l'état actuel des cartes géotechniques dans diverses parties du monde (*Bulletin de l'AIGI*, n^{os} 3 et 4), ce petit manuel constitue la première tâche accomplie par la commission dans l'exécution de la mission qui lui a été assignée.

Le présent manuel comporte quatre chapitres principaux. Le premier est consacré à l'étude des principes qui régissent l'établissement des cartes géotechniques, ce qui implique la définition et la classification de ces types de cartes, la classification des roches et des sols, l'examen des conditions hydrogéologiques et géomorphologiques et l'éva-

luation des phénomènes géodynamiques. Dans le chapitre suivant, on expose les techniques qui peuvent être adoptées pour obtenir et interpréter les données; après une brève référence aux méthodes usuelles de cartographie géologique, on examine les conditions et les techniques spéciales relatives aux cartes géotechniques. Un autre chapitre est consacré à la présentation des données sur ces cartes. Vient enfin le plan de la notice explicative qui doit accompagner chaque carte.

Le présent ouvrage cherche à répondre à des questions telles que: Qu'est-ce qu'une carte géotechnique? Comment une telle carte est-elle réalisée? Comment les informations géologiques y sont-elles présentées? A l'avenir, la Commission des cartes géotechniques de l'AIGI consacrera une partie de ses activités aux techniques de réalisation de ces cartes et elle développera les points de vue exprimés dans ce manuel. Elle s'efforcera de promouvoir la coopération à l'échelon international pour la sélection et l'adoption d'une liste agréée de symboles normalisés utilisés pour les cartes géotechniques.

Les membres de la commission de l'AIGI qui ont participé à l'élaboration de ce manuel sont les suivants:

Professeur Milan Matula (président), Katedra inžnierskej geologie a hydrogeologie, Univerzity Komenského v Bratislave, Gottwaldovo nám, 2, Bratislava, Tchécoslovaquie.

Professeur W. R. Dearman (rédacteur), Department of Geology, Engineering Geology Unit, University of Newcastle-upon-Tyne, Royaume-Uni.

Professeur G. A. Golodkovskaja, Moskovsky Gosudarstvennyj Universitet, Geologicheskij Fakultet, Moskva 117234, URSS.

Professeur Ing. M. Janjic, 1100 Beograd, Tolstojeva 5, Yougoslavie.

D^r A. Pahl, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, D 3 Hannover, Postfach 230153, République fédérale d'Allemagne.

M. A. Peter, Service géologique régional Massif central, 22, avenue de Lempdes, 63800 Cournon d'Auvergne, France.

M^{me} Dorothy H. Radbruch-Hall (secrétaire), U.S. Geological Survey, 345 Middlefield Road, Menlo Park, California 94025, États-Unis d'Amérique.

2.1 Introduction

La géologie de l'ingénieur a pour objet de fournir les informations de base nécessaires pour établir les plans d'utilisation des sols et pour préparer, calculer, réaliser et entretenir les ouvrages de génie civil. De telles informations sont indispensables pour évaluer la possibilité de réaliser la tâche envisagée, qu'il s'agisse de l'utilisation des sols ou des grands travaux — et, en ce qui concerne ces derniers, pour faciliter le choix du type et de la méthode de construction les plus appropriés afin d'assurer la stabilité d'un ouvrage dans son environnement naturel et permettre l'exécution de l'entretien indispensable. La recherche et la cartographie géotechniques ont donc principalement pour objet de faire comprendre les relations existant entre l'environnement géologique et la situation technique, la nature et les relations des différentes composantes géologiques, les processus géodynamiques actifs, et de faire prévoir les phénomènes que peuvent engendrer les modifications apportées à l'environnement.

Pour chaque situation, cela implique un système géologique dynamique unique de phénomènes et de processus liés les uns aux autres et interdépendants qui ne peut être que très imparfaitement compris et représenté. Les principaux facteurs qui créent les conditions géotechniques d'un lieu ou d'une zone déterminée sont les suivants : les roches et les sols, l'eau, les conditions géomorphologiques et les processus géodynamiques.

Une carte donne la meilleure image d'un environnement géologique ; elle indique notamment le caractère et la variété des conditions géotechniques, leurs différentes composantes et leurs relations mutuelles. Mais c'est un modèle simplifié des faits, et la complexité des divers facteurs géologiques dynamiques ne peut jamais être intégralement représentée. Le degré de simplification dépend essentiellement de l'usage qu'on veut faire de la carte, de son échelle, de l'importance relative des facteurs ou relations géologiques spécifiques intéressant l'ingénieur, de la précision de l'information et des techniques de représentation utilisées.

Une carte géotechnique doit posséder les caractères suivants :

1. Elle doit représenter l'information objective nécessaire pour évaluer les caractéristiques géotechniques dont la connaissance est indispensable dans trois domaines : aménagement régional, construction (choix du lieu et de la méthode la plus appropriée), exploitation minière.
 2. Elle doit permettre de prévoir les modifications des données géologiques qui peuvent se produire sous l'effet des travaux envisagés et de suggérer les mesures préventives nécessaires.
 3. Elle doit présenter l'information de telle sorte qu'elle soit facilement comprise par les professionnels qui l'utilisent et qui ne sont pas forcément des géologues.
- Les cartes géotechniques doivent être établies à partir des cartes géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques, mais elles doivent présenter et évaluer les faits fondamentaux fournis par ces cartes en termes de géologie de l'ingénieur.

2.2 Définition d'une carte géotechnique

Une carte géotechnique est une carte géologique qui fournit une représentation généralisée de toutes les composantes d'un environnement géologique qui ont une importance pour l'aménagement du sol et pour la conception, la construction et l'entretien des ouvrages de génie civil et des mines.

Les caractères géologiques représentés sur les cartes géotechniques sont les suivants :

1. Les données des roches et des sols : répartition, position stratigraphique et structurale, âge, genèse, lithologie, état physique, propriétés physiques et mécaniques.
2. Les conditions hydrogéologiques : répartition des sols et roches aquifères, zones fracturées perméables en grand, profondeur et variations du niveau du toit de la nappe, existence de nappes captives et surfaces piézométriques de celles-ci, coefficient d'emmagasinement, direction de l'écoulement ; sources, rivières, lacs, périodicité et limite des inondations ; pH, salinité, corrosivité.
3. Les conditions géomorphologiques : topographie superficielle et éléments importants du paysage.
4. Les phénomènes géodynamiques : érosion et sédimentation, phénomènes éoliens, pergélisol, mouvements de pente, formation de conditions karstiques, suffosion, subsidence, changement de volume des sols, données sur les phénomènes sismiques, et notamment failles actives, mouvements tectoniques régionaux actifs et activités volcaniques.

Les cartes géotechniques doivent comporter des coupes d'interprétation, un texte explicatif et une légende. Elles peuvent aussi comporter certaines données documentaires

qui ont été réunies pour la préparation de la carte. Il faut parfois plus d'une feuille pour indiquer toutes ces informations.

2.3 Classification des cartes géotechniques

Elles peuvent être classées selon leur usage, leur contenu, leur échelle.

2.3.1 Selon leur usage, les cartes peuvent être :

2.3.1.1 *A usage particulier.* Elles donnent des informations soit sur un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur, soit pour une utilisation déterminée.

2.3.1.2 *A usages multiples.* Elles donnent des informations couvrant plusieurs aspects de la géologie de l'ingénieur pour différents usages dans le domaine des études préliminaires de l'exécution des travaux de génie civil.

2.3.2 Selon leur contenu, les cartes peuvent être :

2.3.2.1 *Analytiques.* Elles donnent des précisions sur l'environnement géologique ou une évaluation relative à ses différentes composantes. En règle générale, leur contenu est annoncé dans leur titre; par exemple: cartes des degrés d'altérations superficielles, cartes des fissures, cartes des zones sismiques.

2.3.2.2 *Synthétiques.* Il en existe deux catégories: d'une part, les cartes qui représentent les conditions géologiques intéressant l'ingénieur et qui décrivent toutes les composantes principales de l'environnement géologique; d'autre part, les cartes de zonage géologique, qui évaluent et classent les unités territoriales d'après l'uniformité de leurs conditions géotechniques. Ces deux types de cartes peuvent être combinés; c'est le cas pour certaines cartes à petite échelle.

2.3.2.3 *Auxiliaires.* Elles présentent des données de fait, par exemple: cartes de documentation, cartes de contour structural, cartes d'isopaques.

2.3.2.4 *Complémentaires.* Cartes géologiques, tectoniques, géomorphologiques, pédologiques, géophysiques et hydrogéologiques. Ce sont des cartes de base, qui sont parfois incluses dans un atlas de cartes géotechniques.

2.3.3 Selon l'échelle, il existe des cartes :

2.3.3.1 *A grande échelle.* 1/10000 et au-dessus.

2.3.3.2 *A moyenne échelle.* Inférieures à 1/10000 et supérieures à 1/100000.

2.3.3.3 *A petite échelle.* 1/100000 et inférieures.

2.4 Principes de classification des roches et des sols pour l'établissement des cartes géotechniques

Les limites entre les divers sols et roches représentés sur les cartes géotechniques à diverses échelles doivent permettre de distinguer les unités qui sont caractérisées par un certain degré d'homogénéité des propriétés géotechniques de base.

La principale difficulté de la cartographie géotechnique réside dans le choix, parmi les caractéristiques géologiques des roches et des sols, de celles qui sont étroitement liées à leurs propriétés physiques telles que résistance, déformabi-

lité, altérabilité et perméabilité, qui sont importantes en géologie de l'ingénieur. Le problème se pose parce que, actuellement, nous manquons de données régionales sur la variabilité des propriétés géotechniques des roches et des sols. Il n'existe pas non plus de méthodes et de techniques appropriées permettant de déterminer rapidement et à peu de frais un nombre suffisant de données quantitatives sur de grandes superficies. C'est pourquoi nous devons utiliser celles des propriétés géologiques qui constituent le meilleur indicateur des caractéristiques physiques ou géotechniques. Ces propriétés sont les suivantes: a) la composition minéralogique, qui est liée étroitement au poids spécifique, aux limites d'Atterberg et à l'indice de plasticité; b) les caractéristiques de texture et de structure, telles que la répartition granulométrique liée au poids spécifique, à la porosité; c) la teneur en eau, la teneur en eau de saturation, la consistance, le degré d'altération superficielle, la fissuration, qui sont liés à l'état physique des sols et des roches et fournissent une indication sur la résistance, les caractéristiques de déformation, la perméabilité et l'altérabilité.

La classification des roches et des sols sur les cartes géotechniques doit être fondée sur le principe suivant: les propriétés physiques ou géotechniques d'une roche en son état actuel dépendent des effets combinés de sa genèse, de son évolution diagénétique, métamorphique et tectonique ultérieure et des processus d'altération superficielle. Ce principe de classification permet non seulement de déterminer les raisons qui expliquent les caractéristiques lithologiques et physiques des sols et des roches, mais aussi leur répartition spatiale. Ce principe est à la base de la cartographie géotechnique comme de la cartographie géologique en général, et il suppose non seulement une classification de divers échantillons de roches, mais aussi l'utilisation de nombreux échantillons différents de chaque roche, ainsi que des observations et des mesures sur le terrain pour délimiter d'une façon uniforme et continue les roches et les sols.

Nous proposons la classification suivante fondée sur la lithologie et le mode d'origine¹: a) type géotechnique (ET); b) type lithologique (LT); c) complexe lithologique (LC); d) séquence lithologique (LS).

Il existera des degrés différents d'homogénéité pour chaque unité.

Le type *géotechnique* présente un degré maximal d'homogénéité physique. Il doit être uniforme du point de vue du caractère lithologique et de l'état physique. Ces unités peuvent être caractérisées par des valeurs statistiquement déterminées, obtenues à partir de différentes déterminations des propriétés physiques et mécaniques; en général on ne les représente que sur les cartes à grande échelle.

Un type *lithologique* a une composition, une texture et une structure parfaitement homogènes, mais, en général, il n'est pas uniforme du point de vue physique. On ne peut

¹ La classification des roches et des sols adoptée en géologie de l'ingénieur peut être comparée aux unités utilisées dans la classification lithostratigraphique (Hedberg, 1972). La hiérarchie classique des termes lithostratigraphiques est la suivante:

Lit: chaque couche distincte, désignée ou non.

Banc: entité lithologique à l'intérieur d'une formation, désignée ou non

Formation: unité fondamentale de lithostratigraphie.

Groupe: plusieurs formations

Les unités sont utilisées en géologie de l'ingénieur et ne comportent aucune implication stratigraphique — d'ailleurs il ne peut en être autrement; c'est pour cette raison que les termes classiques lithostratigraphiques n'ont pas été utilisés et qu'une nouvelle série de termes a été adoptée spécialement pour la géologie de l'ingénieur. Toutefois, il existe une équivalence générale approximative des termes: par exemple, type géotechnique = lit, type lithologique = banc, complexe lithologique = formation, séquence lithologique = groupe.

donner pour toute l'unité des valeurs certaines des propriétés mécaniques moyennes; en général, on peut donner simplement une idée générale des propriétés techniques dans une fourchette de valeurs. Ces unités sont utilisées sur les cartes à grande échelle et, lorsque cela est possible, sur les cartes à moyenne échelle.

Un *complexe lithologique* est constitué par une série de types lithologiques génétiquement liés, qui se sont mis en place dans des conditions paléogéographiques et géotectoniques spécifiques. A l'intérieur de ce complexe, l'arrangement spatial des types lithologiques est uniforme et distinctif pour ce complexe, mais un complexe lithologique n'est pas nécessairement uniforme — ni du point de vue des caractéristiques lithologiques ni du point de vue de l'état physique. Par conséquent, il n'est pas possible de définir les propriétés physiques et mécaniques de l'ensemble du complexe lithologique; on peut seulement fournir des données sur chaque type lithologique formant le complexe et indiquer le comportement général de l'ensemble du complexe. Le complexe lithologique est utilisé comme unité cartographique sur les cartes à moyenne échelle et sur certaines cartes à petite échelle.

La *séquence lithologique* est constituée par un grand nombre de complexes lithologiques qui se sont constitués dans des conditions paléogéographiques et tectoniques généralement semblables. Elle possède certaines caractéristiques lithologiques communes qui lui confèrent une unité générale et permettent de la distinguer d'autres séquences. Les propriétés géotechniques qui permettent de définir une séquence lithologique ne sont que très générales. Ces unités ne sont utilisées que sur les cartes à petite échelle.

Sur les cartes géotechniques, on représente la répartition des unités cartographiques, ainsi que leurs positions stratigraphiques et structurales, et leurs relations chronologiques. Les propriétés géotechniques des unités cartographiques doivent être décrites dans une légende explicative. Ces unités seront utilisées à la fois pour les cartes à usages multiples et à usage particulier et pour les cartes synthétiques ou analytiques.

2.5 Conditions hydrogéologiques

Ces conditions régissent l'aménagement des sols, le choix des emplacements de construction, ainsi que le coût, la durée de vie et même la sécurité des ouvrages. Les eaux souterraines et les eaux de surface ont un rôle important dans certains processus géodynamiques, tels que l'altération superficielle, les mouvements de pente, la suffosion mécanique et chimique, le développement des conditions karstiques, les changements de volume du sol par retrait et gonflement, et les effondrements dans les *löss*. Les propriétés des roches et des sols sont souvent modifiées par les eaux souterraines; on doit en tenir compte dans le choix des méthodes de terrassement et de construction, car celles-ci peuvent envahir les fouilles, mettre en action des forces d'écoulement et des pressions de soulèvement et elles sont parfois corrosives. Les conditions hydrogéologiques peuvent également affecter l'enfouissement des déchets.

Le régime des eaux souterraines et des eaux de surface naturelles peut être directement influencé par la construction d'ouvrages hydrauliques et l'exploitation des eaux souterraines, et indirectement par certains facteurs tels que l'urbanisation et le déboisement (qui augmentent le ruissellement), la charge en sédiments dans les cours d'eau et l'érosion, qui

agissent à leur tour sur d'autres processus tels que les mouvements de pente et la sédimentation.

L'un des objectifs de la géologie de l'ingénieur, dont la réalisation est facilitée par les données hydrogéologiques qui figurent sur les cartes, est la prévision des modifications néfastes du régime hydrogéologique et la recommandation de méthodes permettant de les éviter. Par conséquent, dans l'élaboration des cartes géotechniques, certains renseignements importants relatifs aux conditions hydrogéologiques devront être évalués et représentés sur les cartes. Ces renseignements sont les suivants: la répartition des eaux de surface et des eaux souterraines, les conditions d'infiltration, les volumes de réserves en eau, la direction et la vitesse d'écoulement des eaux souterraines, les sources et les déperditions provenant de chaque horizon aquifère, la profondeur et la zone de balancement du toit de la nappe aquifère, les nappes captives et leurs surfaces piézométriques, certaines propriétés hydrochimiques telles que le pH, la salinité et la corrosivité, et enfin la présence de bactéries ou d'autres polluants.

Sur les cartes à petite échelle, les renseignements hydrogéologiques sont représentés par des symboles et par des chiffres. Sur les cartes à moyenne échelle, le toit de la nappe peut être représenté par des courbes de niveau, et sa zone de balancement par des chiffres. Dans les régions montagneuses; cela n'est pas possible, et la profondeur de la nappe phréatique et d'autres caractéristiques ne peuvent être indiquées que par des chiffres. Le toit d'une nappe captive et ses surfaces piézométriques peuvent être indiqués par des courbes de niveau. Sur les cartes à grande échelle, les conditions hydrogéologiques sont représentées par des isohypses, des isobathes et des isopièzes, les balancements de nappes étant indiqués par des chiffres.

2.6 Conditions géomorphologiques

Les cartes géomorphologiques sont utiles pour expliquer l'évolution récente du paysage: formation des vallées, des terrasses, configuration des pentes, et processus en action dans le paysage à l'époque actuelle. Il s'agit d'un élément essentiel de la cartographie géotechnique qui peut être exécuté rapidement et à peu de frais et qui est souvent un facteur décisif dans les études précédant des recherches géotechniques.

Lorsqu'on établit des cartes géotechniques, l'évaluation des conditions géomorphologiques ne saurait être une simple description de la topographie de la surface. On doit expliquer: les relations entre les conditions de surface et le cadre géologique; l'origine, l'évolution et l'âge de chaque élément géomorphologique; l'influence des conditions géomorphologiques sur l'hydrologie et les processus géodynamiques. Il est également très important, en géologie de l'ingénieur, de prévoir l'évolution prochaine de certaines caractéristiques géomorphologiques telles que l'érosion latérale des berges des rivières, les mouvements de dunes, les affaissements dans les régions karstiques ou au droit d'anciennes exploitations souterraines.

La topographie de la surface est représentée par des courbes de niveau sur les cartes, quelle que soit leur échelle. Sur les cartes à petite échelle, on utilise des symboles ponctuels pour indiquer les éléments géomorphologiques significatifs. Sur les cartes à moyenne et à grande échelle, on peut représenter les limites réelles et les détails des caractéristiques géomorphologiques.

2.7 Évaluation des phénomènes géodynamiques

Les phénomènes géodynamiques sont des phénomènes géologiques de l'environnement qui résultent de processus géologiques actifs à l'époque actuelle. Ils ne comprennent pas les processus de sédimentation ou d'altération, car ceux-ci sont repris dans la description des unités de roches et de sols. Les caractéristiques géologiques comprennent notamment celles qui sont dues à l'érosion et à la sédimentation, aux processus éoliens, aux mouvements de pentes, au pergélisol, à la formation de conditions karstiques, à la suffosion, aux changements de volume du sol et à l'activité sismique et volcanique. Toutes ces caractéristiques ont une importance pour l'aménagement d'une région et pour la construction d'ouvrages. Elles peuvent être indiquées sur des cartes à usage particulier ou sur des cartes à usages multiples, de même que sur des cartes analytiques ou synthétiques. La quantité de détails représentés dépend de l'échelle de la carte. Il faut indiquer non seulement ces caractéristiques, mais aussi les conditions qui favorisent leur développement, leur intensité et leur fréquence.

Une érosion excessive provoque généralement l'apparition de nombreuses rigoles et ravines profondes sur les pentes et, dans des cas extrêmes, la formation de «bad lands». L'érosion arrache des matériaux et accentue les pentes des talus le long des fleuves, des bassins de retenue et des lignes de rivage naturelles. L'érosion des coteaux non seulement endommage les sols agricoles, mais elle crée des difficultés pour la construction des ouvrages. Elle provoque des irrégularités de surface, accroît la charge de sédiments dans les cours d'eau (ce qui a pour effet d'augmenter l'érosion), elle sape les bases de certaines pentes, augmentant ainsi les risques de mouvements de celles-ci. Les sédiments arrachés par le ruissellement aux pentes des coteaux peuvent s'accumuler sous les ponceaux, dans les collecteurs d'eaux pluviales, les caniveaux et autres installations de drainage, où ils peuvent provoquer l'envasement rapide des bassins de retenues.

Les conditions favorables à une érosion excessive sont les suivantes : roches tendres de faible perméabilité, talus à pente moyenne ou forte, couverture végétale clairsemée et fortes chutes de pluies concentrées sur une courte période de temps. D'autres facteurs y contribuent : surpâturage, culture excessive, déboisement et urbanisation.

Les phénomènes d'érosion généralement représentés sur les cartes géotechniques sont les rigoles et ravines des pentes; y sont indiquées également les berges des cours d'eaux et les lignes de rivage soumises actuellement à une érosion active.

Les processus éoliens sont en général classés parmi les processus géodynamiques les moins destructeurs, mais dans certaines régions ils peuvent avoir un effet néfaste sur les ouvrages. Les dunes de sable qui se forment dans les régions arides et semi-arides peuvent se déplacer et obstruer les voies de communication — d'où nécessité de surveiller celles-ci constamment. Le surpâturage, une agriculture trop intense, le déboisement peuvent provoquer la formation de dunes dans certaines régions sablonneuses. Inversement, il est souvent possible de stabiliser les dunes par des plantations. Les dunes et autres formations similaires doivent être représentées sur les cartes géotechniques.

Parmi les mouvements de pentes, qui se produisent sous l'influence de la gravité, on distingue la solifluxion, les glisse-

ments de terrain, les coulées boueuses, les éboulements des roches et des sols, quel qu'en soit le type.

Les conditions géologiques qui favorisent l'apparition des mouvements de pentes sont variées : roches dures et résistantes qui recouvrent des roches plus tendres (par exemple : roches volcaniques sur argile, lits de grès schisteux recouvrant des schistes avec intercalations mineures de grès, lits de matériaux relativement peu perturbés recouvrant des roches fortement broyées au droit d'une faille); roches fortement fissurées ou fracturées; roches dures et tendres alternant dans une pente; sédiments non consolidés recouvrant une couche rocheuse relativement imperméable; présence d'eaux souterraines. Les mouvements de pentes sont provoqués ou déclenchés par d'autres processus naturels ou par l'action de l'homme. Les conditions favorisant de tels mouvements et les conséquences qui en résultent peuvent être indiquées sur les cartes; quant aux facteurs qui déclenchent le mouvement, il est souvent impossible de les indiquer.

Les facteurs qui provoquent les mouvements de pentes peuvent être divisés en deux catégories : ceux qui diminuent la résistance au cisaillement et ceux qui augmentent les contraintes de cisaillement sur la pente.

Le pergélisol, ou sol gelé en permanence, est très fréquent dans les régions arctiques et subarctiques. On peut s'attendre à rencontrer des difficultés de construction dans un pergélisol constitué d'un matériau à grain fin, comme le limon; c'est en particulier le cas de ceux qui contiennent des lentilles et des coins de glace. On peut représenter sur les cartes certains phénomènes dus au pergélisol : par exemple, sol polygonal, lacs de dégel et subsidence due au dégel après intervention de l'homme.

Dans les régions septentrionales, le gel et le dégel saisonniers du sol, particulièrement lorsqu'il s'agit de matériaux à grain fin, peuvent aussi créer des difficultés (pression due au gel s'exerçant sur les pieux de fondation, routes endommagées).

Les phénomènes karstiques résultent de la dissolution des roches. A la surface du sol, les phénomènes les plus courants sont les dolines, les vallées aveugles et les vallées sèches à pente raide; des réseaux de cavernes sont également fréquents dans le sous-sol. En outre, la surface du bedrock est extrêmement irrégulière et en général recouverte de sols dont la compressibilité est variable.

Il y a suffosion lorsque des particules fines de matériaux non consolidés, notamment des sables et des graviers, sont arrachées par la circulation d'eau. C'est un processus géodynamique mineur, mais il peut compliquer énormément le calcul des ouvrages hydrauliques. Le phénomène de suffosion le plus fréquent qu'on puisse représenter sur une carte est le jaillissement d'une source («suffosion spring»).

Les changements de volume du sol (tassement et gonflement) peuvent provoquer des dégâts aux ouvrages. Les zones où de tels phénomènes se produisent doivent être indiquées sur les cartes géotechniques.

Les phénomènes sismiques géodynamiques résultent d'une activité sismique suffisamment récente pour que les effets en soient encore visibles dans le relief. En outre, il est parfois possible d'indiquer, sur les cartes géotechniques, d'une part les zones où persistent des soulèvements et des abaissements tectoniques relatifs qui ont été identifiés par des mesures géodésiques, et d'autre part les failles actives dont l'existence est attestée par des archives historiques ou par des données géologiques (juxtaposition de sédiments récents et plus anciens, ou terrasses et lignes de rivages soulevées et inclinées). Parmi les phénomènes associés aux failles actives,

on peut citer les déviations de cours d'eau, les dislocations de terrasses alluvionnaires et de divers ouvrages construits par l'homme, les escarpements, les étangs dans les points bas, les lignes de crête formant obstruction, les alignements de sources, les fossés rectilignes.

Une activité volcanique peut avoir associé une activité sismique et un phénomène localisé de soulèvement et d'abaissement toujours présent; mais c'est la fréquence et l'intensité de cette activité ainsi que la nature, l'emplacement et l'importance des produits volcaniques qui offrent le plus d'intérêt en géologie de l'ingénieur.

La géologie de l'ingénieur doit avoir pour but d'indiquer non seulement l'importance et la répartition des caractères géodynamiques, mais aussi, autant que possible, leur âge et leur degré d'activité.

Sur les cartes à petite échelle, les données ponctuelles concernant les phénomènes géodynamiques peuvent être indiquées par des symboles. Sur les cartes à moyenne échelle, il faut délimiter les zones où se produisent des phénomènes géodynamiques, et si possible indiquer les limites de chaque phénomène particulier. Sur les cartes à grande échelle, on peut indiquer les limites actuelles de chaque phénomène géodynamique et si possible sa structure interne.

2.8 Principes de zonage géotechnique

Les cartes géotechniques de caractère synthétique peuvent fournir des informations en termes de zonage géotechnique. Une zone est une surface déterminée de la carte qui représente des conditions géotechniques approximativement homogènes, et la surface couverte par une feuille quelconque de la carte peut être subdivisée en un certain nombre d'unités de zonage distinctes.

Les détails et le degré d'homogénéité de chaque unité de zonage dépendront de l'échelle et de l'usage qu'on veut faire de la carte. Par exemple sur les cartes à petite échelle, le critère de zonage sera l'uniformité générale des principaux éléments qui définissent l'environnement géologique, tels que la structure géotectonique ou les phénomènes géomorphologiques régionaux. Sur les cartes à plus grande échelle, les zones sont basées sur une évaluation de l'uniformité de l'arrangement structural et de la composition des unités lithologiques et pédologiques, sur les conditions hydrogéologiques, et sur les phénomènes géodynamiques.

Pour la préparation des cartes géotechniques, le zonage peut être effectué pour un usage général ou pour un usage particulier. Sur une carte à *usage général*, on identifiera les unités territoriales, naturelles et taxonomiques ci-après:

- a) *Régions*, basées sur l'uniformité des différents éléments structuraux de géotectonique;
- b) *Aires*, basées sur l'uniformité des différentes unités géomorphologiques régionales;
- c) *Zones*, basées sur l'homogénéité lithologique et l'arrangement structural des complexes formés par les lithofaciès des roches et des sols;
- d) *Districts*, dans lesquels les conditions hydrogéologiques et les phénomènes géodynamiques sont uniformes.

En procédant ainsi, on peut définir les caractéristiques d'un territoire par un zonage qui peut servir ensuite à évaluer la complexité des conditions géotechniques dans les différentes unités territoriales pour l'utilisation des sols et les travaux de génie civil.

Quant aux cartes de zonage à *usage particulier*, elles sont préparées en fonction du type particulier de travaux envisagés, par exemple: autoroutes, barrages, tunnels. Sur une telle carte, les unités de zonage seront basées sur l'analyse des phénomènes géologiques et sur les paramètres géotechniques, et évaluées en fonction d'un objectif technique déterminé.

2.9 Principes généraux

Les principes généraux qui régissent la cartographie géotechnique doivent être applicables aux cartes de tous types et de toutes échelles. Ainsi, il sera possible de comparer entre elles des cartes de même échelle et d'échelles variées. La différence fondamentale entre les cartes d'échelles diverses doit porter uniquement sur la quantité des informations présentées et sur la manière dont ces informations sont présentées. Par exemple, l'échelle d'une carte déterminera si un glissement de terrain sera représenté par un symbole ponctuel (approprié aux cartes à petite échelle) ou par un symbole général représentant le type de glissement et occupant la superficie correspondante (utilisé sur les cartes à moyenne échelle), tandis que sur les cartes à grande échelle tous les détails existant à l'intérieur de la zone de glissement auront été cartographiés à l'échelle.

Sur les cartes géotechniques, quels qu'en soient le type et l'échelle, l'information communiquée doit être présentée de telle sorte que non seulement la vraie nature mais aussi la signification technique des données puissent être comprises et entièrement évaluées.

2.10 Références

HEDBERG, H. D. 1972. An international guide to stratigraphic classification, terminology, and usage. *Lethaia*, n° 5, p. 297-323. (International Subcommission on Stratigraphic Classification, report n° 78.)

Techniques d'acquisition et d'interprétation des données

3

3.1 Introduction

La cartographie géotechnique a beaucoup de points communs avec la cartographie géologique, car leur objet est de présenter des informations sur l'environnement géologique. Du point de vue de l'ingénieur de génie civil, l'un des inconvénients des cartes géologiques classiques est que des roches dont les propriétés techniques sont très différentes peuvent être groupées en une seule unité parce qu'elles ont le même âge et la même origine. Or la portée des cartes géotechniques est plus large, car, en plus des informations lithostratigraphiques et structurales, d'autres éléments doivent être pris en considération. Il s'agit principalement de décrire et de quantifier les propriétés physiques et techniques significatives des roches et des sols, l'épaisseur et l'étendue en surface des formations géologiques, le régime des eaux souterraines et les phénomènes géodynamiques.

Une carte géologique constitue le point de départ indispensable à la préparation des cartes géotechniques. Toutefois, pour répondre aux exigences supplémentaires des cartes géotechniques, des méthodes et des techniques spécifiques sont employées pour recueillir et interpréter les informations géologiques intéressant l'ingénieur. Une difficulté inhérente aux techniques de cartographie géologique et géotechnique réside dans le fait que les caractéristiques des roches et des sols varient souvent graduellement et que ces variations peuvent se présenter à la fois horizontalement et verticalement.

3.2 Méthodes générales d'établissement des cartes géologiques

Les cartes géologiques sont généralement préparées en ajoutant des données d'ordre géologique aux cartes topographiques existantes, aux cartes topographiques préparées spécialement à cet effet, ou aux photographies aériennes prises à la verticale. Les informations géologiques accumulées sont interprétées et une synthèse des conditions géologiques (notamment le tracé des limites structurales et stratigraphiques entre des unités définies) peut être préparée soit à la même échelle, soit à une échelle plus petite.

3.2.1 PRÉPARATION DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE BASE

S'il n'existe pas de carte topographique de base ou s'il en existe une à trop petite échelle pour être utilisée pour les opérations sur le terrain, une telle carte devra être préparée spécialement et servira de base à la carte géologique. Une carte topographique peut être produite avant les levés géologiques soit par des méthodes classiques de levés au sol, soit par photographie aérienne à la verticale. Le géologue peut aussi réaliser sa propre carte topographique au fur et à mesure de ses observations géologiques. Il peut adopter plusieurs méthodes, selon la précision requise; on trouve dans divers manuels une description très détaillée de ces méthodes, parmi lesquelles: le cheminement, la lunette à niveau, l'altimètre, la planchette. La photogrammétrie terrestre peut être utile pour vérifier les levés de pentes rocheuses escarpées et observer les conditions dans lesquelles doivent être réalisées les fondations. Cette technique photographique est décrite dans les ouvrages spécialisés.

3.2.2 ACQUISITION DES INFORMATIONS GÉOLOGIQUES

Les travaux nécessaires pour réunir les informations géologiques en vue de préparer une carte géotechnique se font dans un ordre précis et comprennent un certain nombre d'étapes. La première étape consiste à rechercher les informations géologiques existantes sur la région qui doit être représentée; cette recherche doit être complétée par l'étude des cartes et des photographies aériennes, s'il en existe. On procède alors à une reconnaissance de la région: on évalue les renseignements disponibles et on recueille de nouveaux renseignements géologiques, géomorphologiques et géodynamiques; des échantillons peuvent être rassemblés pour une première étude en laboratoire, et le travail général de levés peut être complété par des essais géophysiques et par le prélèvement d'échantillons du sol sous-jacent à l'aide d'un outillage simple, en utilisant par exemple une tarière portative. L'étape finale — elle peut avoir un caractère général ou avoir pour but d'élucider les conditions propres à un emplacement de construction déterminé — comportera un levé détaillé du terrain (voir 3.3), diverses recherches sur le terrain (voir de 3.4.1 à 3.4.3) et des essais au laboratoire et *in situ* (voir 3.4.4).

3.3 Conditions spéciales requises pour la préparation des cartes géotechniques

3.3.1 DESCRIPTION GÉOTECHNIQUE DES ROCHES ET DES SOLS

Les classifications des roches et des sols utilisées par les géologues ne sont pas satisfaisantes pour l'ingénieur parce que des propriétés significatives sont omises dans la description géologique usuelle et ne peuvent pas toujours en être déduites. Il est donc recommandé dans la préparation des cartes géotechniques d'utiliser des noms simples de roches complétés par des termes descriptifs bien choisis. Ces termes doivent désigner à la fois le matériau de la roche et la masse rocheuse, et ils doivent comporter une description des éléments suivants : couleur, dimension des grains, texture, structure, discontinuités dans la masse, altérations dues aux agents atmosphériques, transformations subies, propriétés de résistance, perméabilité, et autres caractéristiques intéressant spécialement l'ingénieur.

Pour qu'une description de la masse des roches ou des sols soit suffisante, il sera peut-être nécessaire d'y ajouter certaines informations complémentaires : direction et pendage des structures et des discontinuités, caractéristiques de surface des plans de stratification et d'autres discontinuités, variabilité des structures et des discontinuités, détail des profils d'altération. L'estimation du degré d'isotropie et d'homogénéité de la masse rocheuse a une importance particulière.

Toutes ces caractéristiques doivent être décrites en utilisant des termes semi-quantitatifs dont l'usage a été défini dans différents pays.

3.3.2 REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES ROCHES ET DES SOLS À DES FINS TECHNIQUES

S'appuyant sur les résultats des levés de géotechnique, l'ingénieur géologue doit chercher à réaliser une carte sur laquelle les unités sont définies par des propriétés techniques. En général on peut s'attendre que les limites de ces unités correspondent aux limites lithologiques, mais il est fort possible que les limites des propriétés techniques n'aient aucun rapport soit avec la structure géologique, soit avec les limites stratigraphiques. C'est le cas par exemple lorsqu'une altération profonde a affecté de façon différente divers types de roches. Les limites indiquées sur les cartes géotechniques de diverses échelles doivent donc, comme on l'a déjà précisé (2.4), définir les unités de roches et de sols caractérisées par un certain degré d'homogénéité de leurs propriétés physiques fondamentales. Le choix d'une méthode appropriée pour tracer les limites des unités cartographiques sur le terrain dépend en premier lieu de l'usage auquel la carte est destinée. L'usage de la carte dictera à son tour une échelle appropriée, et cette échelle définira l'unité taxonomique ou cartographique de base, qui pourra être la séquence lithologique, le complexe lithologique, le type lithologique ou le type géotechnique.

Les méthodes suivantes permettent de représenter sur une carte les limites de chacune de ces unités :

1. *Séquence lithologique* : interprétation des cartes géologiques existantes ; cartographie de reconnaissance ; photo-géologie.

2. *Complexe lithologique* : cartographie des aires avec analyse de faciès pour regrouper les types lithologiques génétiquement liés.
3. *Type lithologique* : cartographie détaillée des aires et étude pétrographique.
4. *Type géotechnique* : investigations détaillées sur l'état physique de la masse des roches ou des sols à l'intérieur d'un type lithologique représenté sur la carte.

Les méthodes utilisées pour « caractériser » chacune des unités taxonomiques ou cartographiques de base sont les suivantes :

1. *Séquence lithologique* : évaluation du comportement probable des roches à partir de la connaissance des propriétés de types de roches connus.
2. *Complexe lithologique* : investigation géophysique sur le terrain. Forages et échantillonnages systématiques sur le terrain. Essais *in situ*, au laboratoire ou mixtes pour déterminer les propriétés physiques et les propriétés caractéristiques. Recherches pétrographiques et évaluation du comportement des roches à partir de la connaissance des propriétés de types de roches connus.
3. *Type lithologique* : recherches pétrographiques détaillées. Essais géophysiques sur le terrain. Détermination systématique des propriétés caractéristiques au laboratoire. Essais *in situ* et au laboratoire pour déterminer les propriétés mécaniques et les autres propriétés des roches.
4. *Type géotechnique* : essais *in situ* pour déterminer les propriétés mécaniques et les autres propriétés des roches. Essais systématiques au laboratoire pour déterminer les propriétés physiques et mécaniques.

Les conditions fondamentales auxquelles doivent répondre les méthodes de recherche et les méthodes de caractérisation pour délimiter les unités cartographiques sont résumées dans la figure 1, qui montre comment sont appliquées ces méthodes pour des cartes dont l'échelle est de plus en plus grande.

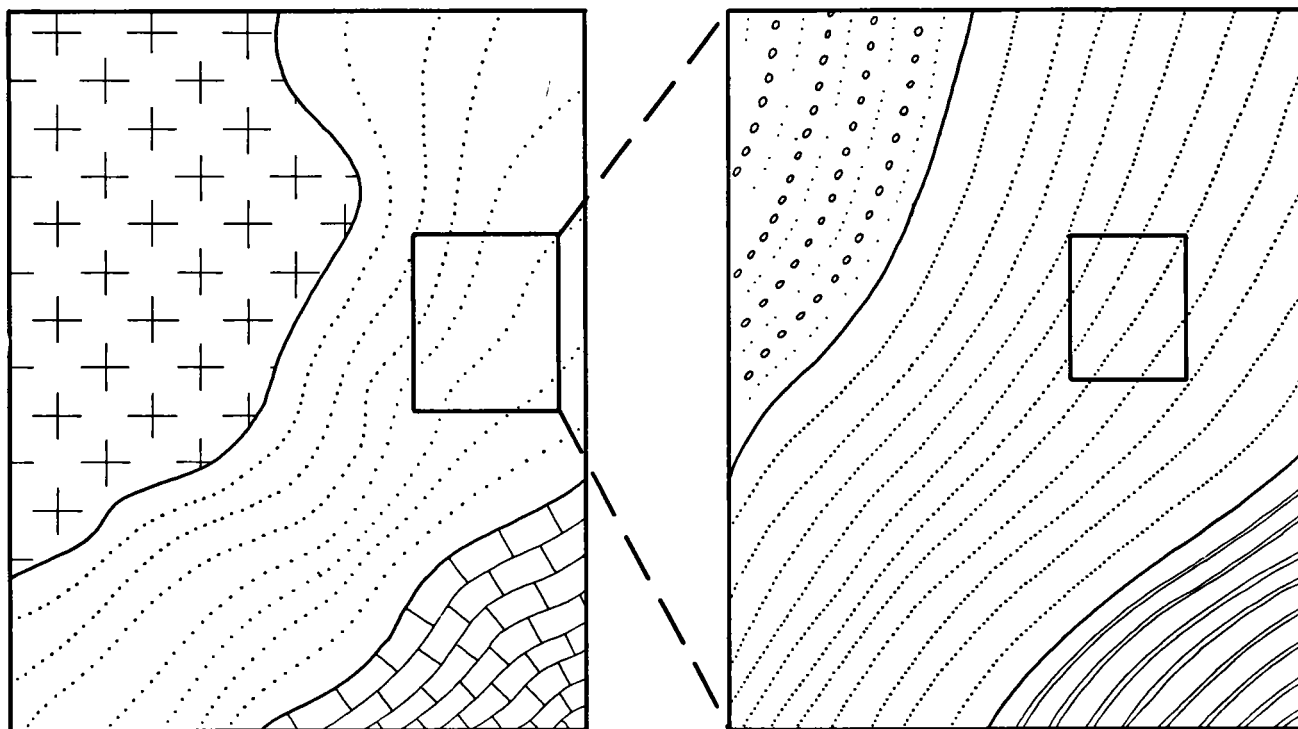
3.3.3 REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

Les principales conditions hydrogéologiques qui doivent être représentées ou observées dans la préparation des cartes géotechniques sont de deux ordres. Les premières concernent les informations relatives à la surface du sol : sources, infiltrations, cours d'eau, lacs. Les deuxièmes concernent les couches sous-jacentes ; les renseignements sont obtenus à partir des forages et des puits existants ou de sondages de reconnaissance exécutés à cette fin. Les données hydrogéologiques doivent, autant que possible, être quantitatives.

Les sources et les infiltrations (permanentes et intermittentes) doivent être représentées. Le débit des cours d'eau doit être indiqué et l'on doit déterminer la direction et l'écoulement des rivières souterraines, par exemple dans les régions karstiques.

Des forages doivent être effectués pour recueillir des informations sur les surfaces piézométriques, le coefficient de perméabilité, le coefficient d'emmagasinement et les propriétés chimiques des eaux souterraines.

Des échantillons d'eau doivent être recueillis pour des analyses au laboratoire. Un soin particulier doit être accordé à la détermination du pH et de la teneur en gaz carbonique et en sulfate, ces éléments provoquant la corrosion dans les ouvrages de génie civil. Chaque fois que cela est possible, il convient de se référer aux cartes et publications hydrogéologiques, s'il en existe.



Échelle: < 1/200 000

Unités taxonomiques représentées sur la carte: séquences lithologiques

Critère d'homogénéité: groupement spécifique de certains complexes lithologiques et arrangement spatial

Méthodes adoptées pour délimiter les unités cartographiques: cartes géologiques existantes; cartes de reconnaissance; photogéologie aérienne

Méthodes adoptées pour caractériser les unités cartographiques: évaluation des données existantes

Échelle: 1/10 000–1/200 000

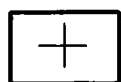
Unités taxonomiques représentées sur la carte: complexes lithologiques

Critère d'homogénéité: groupement spécifique de certains types lithologiques et arrangement spatial

Méthodes adoptées pour délimiter les unités cartographiques: cartographie des aires avec analyse de faciès

Méthodes adoptées pour caractériser les unités cartographiques: sondages et échantillonnage; recherches géophysiques et pétrographiques; détermination des propriétés caractéristiques au laboratoire

Descriptions des unités cartographiques:



Séquence granitique. Intrusions granitiques multiples avec débris de schistes contenant granite, granodiorite, amphibolite, paragneiss



Séquence clastique du Trias inférieur. Complexes à conglomérats, grès et lutite

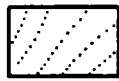


Séquence calcaire du Trias moyen. Complexes à calcaires, dolomie, et lutite calcaire (groupe lithostratigraphique du Cantal)

Description des unités cartographiques:



Complexe conglomératique du Trias inférieur. Littoral: conglomérats, grès et lutite subordonnée

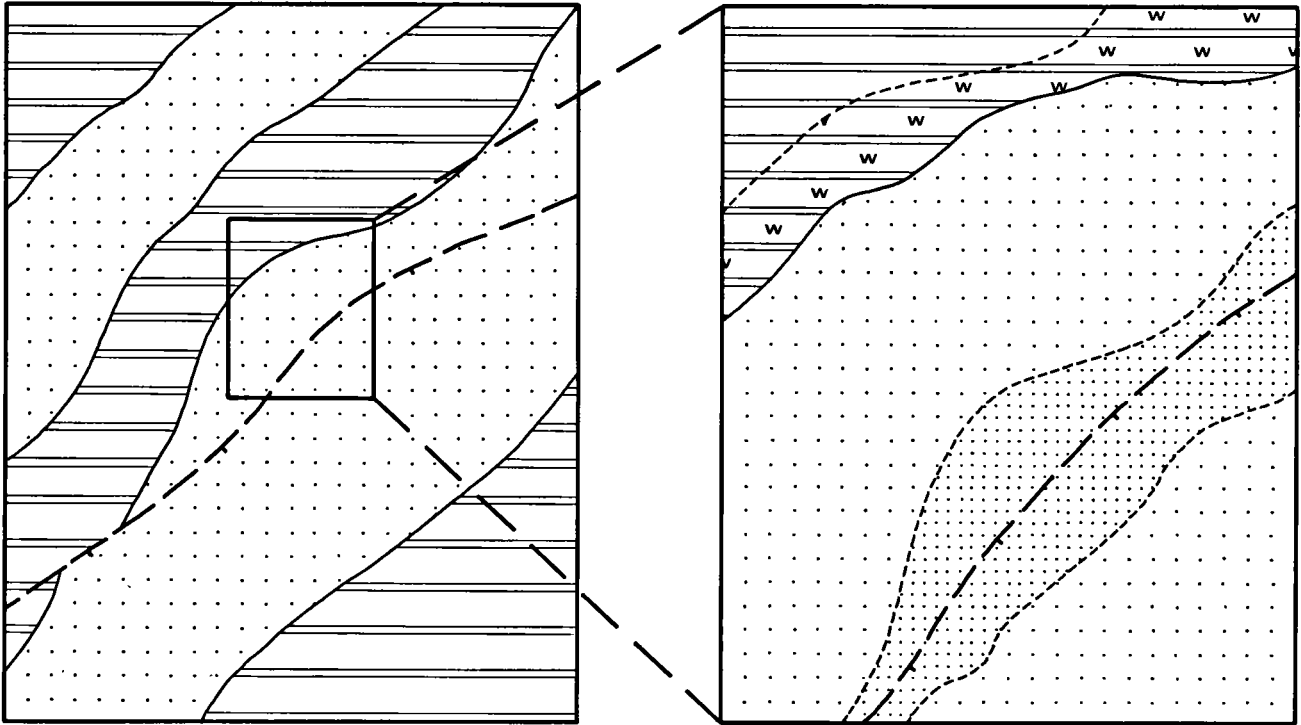


Complexe gréseux du Trias inférieur. Flyschoid; grès calcaire, lutite et grès fin subordonné (formation lithostratigraphique d'Omewa)



Complexe à siltite du Trias inférieur. Néritique peu profond; lutite avec grès et grès fins subordonnés

FIG. 1. Rôle de l'échelle dans la délimitation et la caractérisation des unités cartographiques géotechniques de base.



Échelle: 1/5000-1/10000

Unités taxonomiques représentées sur la carte: types lithologiques

Critère d'homogénéité: composition, texture et structure minéralogiques

Méthodes adoptées pour délimiter les unités cartographiques: étude pétrographique

Méthodes adoptées pour caractériser les unités cartographiques: sondages et échantillonnage; essais géophysiques; essais *in situ* limités; essais systématiques au laboratoire

Échelle: > 1/5000

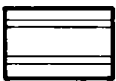
Unités taxonomiques représentées sur la carte: types géotechniques

Critère d'homogénéité: uniformité de l'état physique à l'intérieur de chaque type lithologique

Méthodes adoptées pour délimiter les unités cartographiques: recherches portant, par exemple, sur le degré d'altération superficielle, la fréquence et le mode des discontinuités, la résistance et la consistance

Méthodes adoptées pour caractériser les unités cartographiques: détermination des propriétés physiques et mécaniques

Description des unités cartographiques:

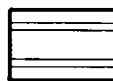


Lutite micacée. Couleur: de gris clair à brun; grains: fins à très fins; finement litée

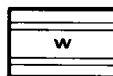


Grès calcaire. Couleur: brun foncé et brun jaunâtre. Gros grains. Lits: moyens et épais

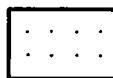
Description des unités cartographiques:



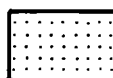
Lutite micacée. Couleur: brun grisâtre clair; grains: fins à très fins; assez diaclasée; légère altération superficielle; se délite lentement à l'air; peu consistante



Lutite micacée. Couleur: brun grisâtre clair; grains: fins à très fins; feuilletée; très diaclasée; altération superficielle moyenne à forte; s'effrite au toucher; très peu consistante



Grès calcaire. Couleur: brun foncé; grains: gros; lits: moyens à épais; diaclases largement espacées; altération superficielle faible à modérée



Grès. Couleur: brun jaunâtre; grains: gros; lits: épaisseur moyenne; moyennement ou très diaclasé avec cisaillement; forte altération superficielle

3.3.4 REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES RÉSULTATS DES PROCESSUS GÉODYNAMIQUES

La méthode adoptée pour la représentation cartographique des phénomènes géodynamiques (2.7) est fonction de l'échelle de la carte. Il est indispensable de décrire non seulement les phénomènes, mais aussi les conditions qui favorisent et les facteurs qui provoquent leur développement. Il faut aussi identifier non seulement l'importance des divers phénomènes, mais aussi la fréquence, la force, le degré d'activité et la vitesse qui caractérise chaque processus. On doit essayer de prévoir l'évolution future des phénomènes géodynamiques. Dans toute la mesure possible, chaque système géodynamique doit être évalué quantitativement ou semi-quantitativement.

Sur les cartes à petite échelle, les phénomènes isolés peuvent être représentés à partir de photographies aériennes et en utilisant d'autres méthodes de télédétection ou par un levé de reconnaissance. On peut procéder à une évaluation quantitative en utilisant les versions anciennes des cartes existantes; en étudiant les photographies aériennes prises à différentes époques ou en consultant des documents historiques et d'autres archives.

D'autre part, sur les cartes à grande échelle, on peut représenter les résultats géomorphologiques complets de l'activité géodynamique soit au moyen de levés topographiques détaillés, soit à partir de photographies aériennes.

Une carte détaillée de la surface peut être complétée à l'aide de méthodes géophysiques ou de sondages. La vitesse des différents processus peut être déterminée par des mesures directes sur le terrain au cours d'un certain intervalle de temps. S'il existe des cartes, des photographies ou des archives appropriées, la solution de ce problème est facilitée en examinant les éditions successives des cartes à grande échelle, les photographies aériennes prises à différentes époques et en analysant d'autres archives.

3.4 Techniques spéciales de cartographie géotechnique

3.4.1 PHOTOGÉOLOGIE

La photo-interprétation est très utile pour les études géotechniques, car c'est une méthode rapide et précise, relativement peu coûteuse, et qui permet une première étude d'une grande surface. L'échelle adoptée va généralement du 1/10 000 au 1/30 000. S'il est vrai que cette méthode révèle parfois des phénomènes qui ne peuvent être décelés sur le terrain, il reste qu'elle laisse aussi échapper d'importants renseignements concernant les couches sous-jacentes. Il est indispensable que les résultats des observations photogéologiques soient complétés par des observations faites sur le terrain à des emplacements choisis.

Des difficultés surgissent pour distinguer les types de roches et de sols; on peut y remédier par l'analyse des formes du terrain et l'examen des différences de tonalités des photographies. Les éléments structuraux du terrain, tels que la stratification, les failles et les diaclases, peuvent être plus facilement appréciés et cartographiés sur des couples stéréoscopiques de photos prises à la verticale plutôt que sur le sol. C'est de cette manière aussi qu'on peut cartographier les étangs naturels, les infiltrations, les sources, les dolines, les sources sous-marines, et d'autres phénomènes hydrologiques

et hydrogéologiques. On peut aussi détecter les variations de profondeur de la nappe phréatique et de la couverture altérée.

La photo-interprétation peut faciliter la recherche géotechnique dans les domaines suivants: cartographie du sol, examen de la stabilité des pentes, du drainage et des matériaux, étude des eaux souterraines, choix des routes et des emplacements pour la construction des réservoirs et des barrages.

Il faut noter que de nouvelles techniques employant des ondes réfléchies (radar, hyperfréquences, détecteur infrarouge), deviennent accessibles au photogéologue.

La photographie stéréoscopique au sol peut être utilisée pour étudier les conditions géotechniques dans les falaises escarpées ou inaccessibles et les affleurements apparus au cours de travaux de génie civil. Les techniques photogramétriques peuvent être utilisées pour obtenir des résultats quantitatifs.

Il ne faut pas perdre de vue que la photo-interprétation est une tâche qui exige une très grande compétence et que, pour obtenir les meilleurs résultats, il convient d'établir une étroite coopération entre les spécialistes et le géologue.

3.4.2 MÉTHODES GÉOPHYSIQUES

Ici les techniques qu'on utilise particulièrement pour la cartographie géotechnique font appel aux méthodes de résistivité et aux méthodes sismiques, les unes et les autres mises en œuvre à la surface du sol et dans des forages. En général, les mesures géophysiques permettent de recueillir deux catégories d'informations:

1. Les valeurs de certaines propriétés physiques des roches et des sols et leurs variations dans la région cartographiée; il arrive que ces propriétés peuvent être mises en corrélation avec d'autres propriétés de la masse rocheuse (telles que le degré d'altération ou de fissuration) qui intéressent l'ingénieur.
2. La détermination de la profondeur à laquelle se situent la délimitation entre les roches et les sols de propriétés physiques différentes, ou la nappe phréatique, ainsi que la position des limites verticales, par exemple des failles, entre divers types de roches.

L'importance des méthodes géophysiques réside dans le fait qu'elles fournissent un moyen rapide d'évaluation indirecte et non destructive des conditions *in situ*.

3.4.2.1 Mesures de la résistivité

La méthode est basée sur la mesure de la résistivité électrique du sol, qui dépend essentiellement de la porosité, de la fissuration, du degré de saturation et de la salinité de l'eau interstitielle. La méthode n'est efficace que s'il existe un contraste satisfaisant entre les propriétés physiques, tel que celui que présentent, par exemple, des zones de broyage d'une porosité élevée dans les roches ignées et métamorphiques, ou des roches altérées qui recouvrent des roches ignées et métamorphiques saines.

En général, on combine deux méthodes. Le carottage électrique permet de déterminer la variation de résistivité avec la profondeur en dessous d'un point choisi. Il sert à déterminer la profondeur à laquelle se trouvent la nappe phréatique et le bedrock, et d'autres modifications lithologiques. La diagraphe repose sur l'interprétation, en termes géotechniques, de la variation de résistivité du sol à une profondeur fixe prédéterminée en différents points le long

d'un cheminement. Une série d'enregistrements électriques, analogues à un réseau de forage à une profondeur standard, permet d'obtenir une carte des variations de résistivité.

3.4.2.2 Mesures sismiques

La densité et le module de déformation de la masse des roches et des sols déterminent la vitesse de propagation des ondes sismiques à travers ce milieu. La vitesse des ondes sismiques peut être déterminée par la méthode de la sismique-réfraction mise en œuvre à partir de la surface ou par des tirs à différentes profondeurs dans un forage en enregistrant les temps d'arrivée à des profondeurs correspondantes dans des forages voisins. Cette technique est utilisée pour déterminer les profondeurs de différents horizons de réfraction, par exemple le sommet de la masse rocheuse ou la base de la zone d'altération; cette technique est applicable lorsque la vitesse des ondes sismiques s'accroît avec la profondeur, ce qui est généralement le cas.

Cette méthode est utile pour délimiter les zones de roches fracturées ou altérées, repérer les horizons caractéristiques et déterminer la profondeur du bedrock, en particulier sous des alluvions.

3.4.3 TECHNIQUES DE FORAGE ET D'ÉCHANTILLONNAGE

Le forage peut être utilisé pour obtenir des échantillons, remaniés ou non, de roches et de sols, ou pour effectuer des essais *in situ* et placer des instruments de mesure dans le sol. Il existe plusieurs méthodes: forage léger à l'aide d'une tarière, forage par percussion et forage profond avec carottage.

Les échantillons doivent représenter le plus fidèlement possible les conditions du sol; ils ne doivent être ni contaminés par des matériaux qui se détachent de la paroi au-dessus de l'échantillon, ni modifiés par la perte de certains constituants.

Pour un examen visuel et la détermination des propriétés caractéristiques, des échantillons remaniés peuvent suffire. Mais, pour déterminer les propriétés physiques des sols et des roches, il faut des échantillons non remaniés qui soient autant que possible représentatifs des matériaux dans leurs conditions naturelles. En général, on conserve les échantillons de sols non remaniés dans des éprouvettes dont l'ouverture est scellée et protégée pour le transport jusqu'au laboratoire, afin que la teneur en eau de ces échantillons ne soit pas modifiée. Les carottes sont en général retirées avec le maximum de soin et placées dans des boîtes spécialement construites; au besoin, elles peuvent être enveloppées et scellées.

La fréquence de prélèvement des échantillons non remaniés ainsi que leur diamètre et leur longueur dépendent dans une grande mesure des caractéristiques des recherches entreprises. Il est généralement recommandé de prélever au minimum un échantillon non remanié pour chaque modification lithologique.

L'emplacement et l'espacement des forages doivent être choisis avec une certaine souplesse pour tenir compte des conditions géologiques, et il est rare qu'un réseau de forages fixés à l'avance et creusés à une profondeur prédéterminée soit entièrement satisfaisant. De même, le prélèvement des échantillons doit répondre aux conditions géologiques plutôt qu'obéir à des règles strictes.

3.4.4 ESSAIS AU LABORATOIRE ET *in situ*

3.4.4.1 Essais au laboratoire

Les propriétés fondamentales des roches et des sols doivent être déterminées au laboratoire par des essais normalisés.

Parmi les propriétés qui sont indépendantes de la teneur en eau, on note: la granulométrie; les limites de liquidité et de plasticité; le poids spécifique (à sec et saturé); le poids spécifique des grains minéraux; la porosité (indice des vides); les propriétés minéralogiques et pétrographiques.

La plupart des essais ayant pour but de déterminer les propriétés physiques exigent des échantillons non remaniés dont la teneur en eau corresponde aux conditions naturelles. Ces propriétés sont les suivantes: la consistance, la cohésion et l'angle de frottement interne, la compressibilité, la perméabilité, la résistance à la compression, la résistance à la traction, la résistance à l'attrition, le compactage.

En matière de cartes géotechniques, de 25 à 30 échantillons sont généralement nécessaires pour déterminer statistiquement les caractéristiques de chaque type géotechnique.

3.4.4.2 Essais *in situ*

Il existe des techniques instrumentales complexes pour déterminer *in situ*, dans le trou de forage, les caractéristiques de déformation des roches et des sols, la résistance des sols au cisaillement, la radio-activité naturelle, la résistivité et le potentiel spontané, la hauteur piézométrique.

Des essais de pompage et d'injection peuvent être effectués dans des trous forés au préalable, afin de recueillir des données concernant les caractéristiques hydrogéologiques des matériaux sous-jacents.

On peut observer les parois des trous et en enregistrer les détails au moyen de caméras qui peuvent être reliées à des appareils de contrôle situés à la surface.

Parmi les essais qui n'exigent pas de forage, on peut citer les essais de pénétration en profondeur. Dans ce cas, on utilise des pénétromètres statiques et dynamiques pour déterminer la résistance du sol à la pénétration d'une tige dont l'extrémité est conique. Dans l'essai de pénétration statique, le cône est enfoncé dans le sol de telle sorte que la pénétration soit régulière; dans l'essai dynamique, on utilise un marteau tombant en chute libre.

3.5 Analyse et interprétation des données

Lorsqu'on procède à une reconnaissance géotechnique d'un secteur, on recueille des informations sur tous les aspects des conditions géologiques intéressant l'ingénieur. Des résultats obtenus sur le terrain et au laboratoire, on extrait des données, par exemple sur la répartition et les propriétés des roches et des sols, sur les eaux souterraines, et sur les conditions géomorphologiques et les processus géodynamiques (2.1). Ces informations sont à porter directement sur la carte de terrain ou à inscrire dans des carnets, de même que les relevés de sondage et les résultats, groupés en tableaux, des recherches en laboratoire.

L'analyse de toutes ces données implique un choix entre les informations qui sont considérées comme importantes et absolument nécessaires pour les usages spécifiques auxquels la carte est destinée, et celles qui ne le sont pas. Ces dernières sont laissées de côté. A ce stade, on essaie d'estimer la valeur

probante des données du point de vue géologique. Cela exige une expérience considérable en géologie et une appréciation judicieuse des principes géologiques généraux qui peuvent être appliqués à la région cartographiée. Les données qui, à la suite de cette évaluation géologique, apparaissent inutilisables ne feront l'objet d'aucun traitement.

Une fois qu'on a choisi et groupé les informations, on peut ordonner ces divers groupes en classe. Cela implique l'utilisation des diverses classifications (géologiques, géotechniques et techniques) qui sont adoptées, par exemple, pour la classification des roches et des sols selon leurs diverses propriétés, pour la classification des eaux souterraines, etc. On peut utiliser les systèmes de classification qui ont été l'objet d'une convention internationale ou ceux qui sont adoptés par différents pays. Cette opération est une étape importante dans le traitement des données; elle permet d'ordonner des quantités considérables de données en séries dont chacune peut être considérée comme homogène.

Pour évaluer les caractéristiques qualitatives ou quantitatives généralisées de chaque série homogène de données, on peut adopter une approche logique ou statistique.

La phase finale du traitement des données consiste à opérer la synthèse des informations généralisées relatives aux différentes composantes individuelles des conditions géotechniques en vue de déterminer et d'identifier les unités territoriales individuelles qui sont caractérisées par un degré d'uniformité certain et spécifique de leurs conditions géotechniques.

Parallèlement à ces méthodes non normalisées qui reposent sur la compétence et l'expérience de l'ingénieur géologue, on commence maintenant à utiliser avec succès des ordinateurs pour l'élaboration de cartes géotechniques. On

peut confier aux ordinateurs trois tâches principales: stockage de données codées; analyse statistique des données et corrélation d'un grand nombre de variables; visualisation ou tracé automatique des cartes.

3.6 Références

- BONDARICK, G. K. 1971. *Osnovy teorii ismenchivosti inzhenerno-geologicheskikh svoistv gornikh porod* [Principes théoriques de la variabilité des propriétés géotechniques des roches.] Moscou, Nedra.
- ; KOMAROV, I. S.; FERRONSKII, V. 1967. *Polevie metody inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy* [Méthodes utilisées sur le terrain dans la recherche géotechnique.] Moscou, Nedra.
- KOMAROV, I. S. 1972. *Nakoplenie i obrabotka informatsii pri inzhenerno-geologicheskikh issledovaniyakh* [Acquisition et analyse de l'information dans la recherche géotechnique]. Moscou, Nedra.
- KRYNINE, D. P.; JUDD, W. R. 1957. *Principles of engineering geology and geotechnics*. McGraw-Hill Book Co. 730 p.
- LAHEE, F. H. 1961. *Field geology* (6^e éd.). New York, Harper.
- LOW, J. W. 1957. *Geological field methods*. New York, Harper.
- RENGERS, N. 1967. Terrestrial photogrammetry: a valuable tool for engineering geological purposes. *Rock mechanics and engineering geology*, vol. 5, p. 150-154.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B. 1967. *Soil mechanics in engineering practice*. (2^e éd.). New York, Wiley.

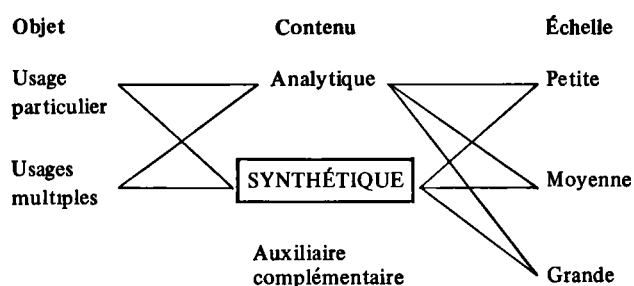
Présentation des données sur les cartes géotechniques

4

4.1 Introduction

Le contenu des cartes géotechniques (2.3.3) et le nombre des détails relatifs aux conditions géotechniques (2.1) sont fonction de l'échelle de la carte et de l'usage auquel elle est destinée. Il convient de ne pas oublier l'objectif essentiel de la cartographie géotechnique, à savoir que l'établissement des cartes géotechniques doit être fondé sur des principes généraux bien définis indépendamment du fait que les cartes de différentes échelles sont conçues pour résoudre différents types de problèmes. Le respect de cette règle permettra de comparer directement des cartes tracées à la même échelle pour des régions différentes et facilitera également la réalisation de cartes d'échelle moyenne ou petite, par exemple à partir de cartes à grande échelle, sans qu'il soit nécessaire d'y apporter des changements considérables.

Les cartes peuvent être définies par leur objet, leur contenu, leur échelle; ce qui donne lieu à des types de cartes fort nombreux :



Toutes les combinaisons sont possibles : par exemple les cartes à usages multiples peuvent être préparées pour une gamme variée de buts techniques couvrant de nombreux aspects de la géologie de l'ingénieur; elles peuvent être analytiques ou synthétiques et être établies à n'importe quelle échelle.

La carte la plus générale est la carte synthétique à usages multiples sur laquelle sont présentées et évaluées toutes les principales composantes d'un environnement géotechnique. Ce type de carte fournira des informations permettant de satisfaire un grand nombre de besoins. Les techniques utilisées pour la présentation des données sur une

carte synthétique à usages multiples sont aussi d'une application générale pour d'autres types de cartes géotechniques. Ces techniques, considérées selon l'échelle, sont examinées en détail ci-dessous.

4.2 Cartes à usages multiples

Elles peuvent être analytiques ou synthétiques.

4.2.1 CARTES ANALYTIQUES A USAGES MULTIPLES

Le contenu de ces cartes ressort à l'évidence de leur titre; par exemple, une carte analytique peut représenter l'intensité et la disposition des diaclases, ou indiquer les angles de pente, ou la stabilité des pentes, ou les glissements de terrain. Ainsi, une carte analytique à usages multiples peut en même temps donner des précisions sur une composante déterminée de l'environnement géologique et évaluer celle-ci, ce qui permet de satisfaire de nombreux besoins.

4.2.2 CARTES SYNTHÉTIQUES A USAGES MULTIPLES

Il en existe deux types principaux. Elles peuvent représenter sur une seule feuille toutes les composantes de l'environnement géotechnique ou décrire sur une seule feuille les aires qui ont été regroupées à des fins de zonage à partir de l'uniformité de leurs conditions géotechniques (cartes de zonage).

4.2.2.1 Cartes synthétiques à usages multiples, à petite échelle

Les cartes à petite échelle de régions dans lesquelles les conditions géotechniques sont bien connues peuvent être élaborées en utilisant les cartes, la littérature et les documents d'archives qui existent. Dans les régions où les investigations ont été peu nombreuses, les cartes sont préparées par une interprétation photogéologique et à l'aide de cartes de reconnaissance.

Les cartes à petite échelle doivent principalement indiquer la répartition et la nature des complexes de roches et de sols, leur genèse et leur faciès, la profondeur de la nappe phréatique, la corrosivité des eaux souterraines, et l'import-

tance des processus géologiques actifs qui intéressent l'ingénieur géologue.

La représentation des roches et des sols est la principale information contenue sur cette carte. Il est recommandé d'y faire figurer à la fois les formations superficielles et le bedrock. Le complexe supérieur des formations superficielles peut être représenté par des couleurs claires choisies selon un système normalisé¹ représentant leur nature lithogénétique. Le bedrock peut être indiqué par des couleurs plus foncées ou par des figurés colorés dans lesquels la couleur indique la genèse, et le figuré la lithologie des roches et des sols. L'âge des roches et des sols peut être représenté par des symboles géologiques conventionnels sur la carte ou dans la légende.

Les données hydrogéologiques peuvent être représentées par des lignes d'isovaleurs, ou numériquement, ou par des symboles ponctuels de forme normalisée pour chaque complexe de roches et de sols. L'emplacement des nappes, leurs réserves estimées et les détails de la composition chimique des eaux souterraines peuvent aussi être indiqués.

La topographie de la surface est représentée par des courbes de niveau, et des symboles ponctuels peuvent être utilisés pour indiquer les éléments géomorphologiques significatifs.

Les symboles ponctuels choisis peuvent être utilisés pour indiquer les surfaces où les processus géodynamiques sont actifs, et l'activité sismique est indiquée par des lignes isoséistes.

Sur les cartes à petite échelle qui indiquent le zonage, une uniformité générale des principales composantes de l'environnement géologique est le critère adopté pour distinguer les unités de zonage. Celles-ci peuvent être : des régions, d'après les éléments géotectoniques ; des aires, déterminées par la macrogéomorphologie ; et éventuellement des zones, d'après l'uniformité du caractère du lithofaciès et de la structure.

4.2.2.2 *Cartes synthétiques à usages multiples, à moyenne échelle*

Les cartes à moyenne échelle sont préparées à partir d'observations sur le terrain complétées par une documentation puisée dans les archives existantes et, au besoin, par un travail d'exploration complémentaire. Sur les cartes à moyenne échelle on doit trouver la même information que sur les cartes à petite échelle, mais avec plus de détails. Les séquences lithologiques peuvent être divisées en complexes lithologiques et même, autant que possible, en combinaisons encore plus restreintes (types lithologiques). Deux ou trois unités lithologiques et pédologiques les plus proches de la surface peuvent être indiquées avec une description lithologique des termes géotechniques. Les propriétés des roches et des sols peuvent être indiquées dans la légende.

Pour déterminer la profondeur où il convient de relever les conditions géotechniques à cartographier, il faudra tenir compte de l'objet principal de la carte et de la complexité géologique.

De même que sur les cartes à petite échelle, les roches et les sols superficiels peuvent être représentés par une couleur et les complexes sous-jacents par des figurés colorés diversifiés. S'il faut représenter plus de deux complexes lithologiques et pédologiques, on peut adopter différentes méthodes de représentation à trois dimensions (4.5). Les différences d'épaisseur peuvent être indiquées par des intensités différentes des couleurs utilisées pour distinguer divers complexes, par une variation de l'épaisseur des figurés colorés,

par des lignes d'égale épaisseur ou par des chiffres. Des variations similaires dans la couleur ou l'épaisseur des lignes dans les figurés peuvent aussi être utilisées pour indiquer différentes graduations de profondeur. On peut aussi représenter les profondeurs par des lignes d'égale profondeur ou par des chiffres.

Sur les cartes à moyenne échelle la nappe phréatique peut être représentée par des courbes de niveau, et sa zone de balancement par des chiffres. Dans les régions montagneuses, où cela est impossible, la profondeur de la nappe phréatique ainsi que d'autres particularités ne peuvent être indiquées que par des chiffres. La profondeur d'une nappe captive et les surfaces piézométriques peuvent être représentées par des courbes de niveau.

Les données relatives à la composition chimique des eaux souterraines doivent être indiquées sur la carte par des symboles ou des chiffres.

La topographie des surfaces est indiquée par des courbes de niveau, et on peut représenter les limites et les détails réels des particularités géomorphologiques. Sur les cartes à moyenne échelle, l'extension des phénomènes géodynamiques doit être précisée et délimitée partout où c'est possible.

Sur les cartes à moyenne échelle qui présentent un zonage, les zones sont distinguées d'après l'homogénéité et l'arrangement structural des unités lithologiques et pédologiques. Lorsque cela est possible, on peut indiquer des unités plus petites dans lesquelles les phénomènes hydrogéologiques ou géodynamiques sont uniformes.

4.2.2.3 *Cartes synthétiques à usages multiples, à grande échelle*

Pour préparer les cartes à grande échelle, on procède à des recherches et à des levés détaillés sur le terrain (on utilise pour cela tous les documents d'archives existants), à des prospections géophysiques systématiques des couches sous-jacentes et à des essais sur le terrain et au laboratoire. Il est nécessaire de déterminer les propriétés physiques et mécaniques de toutes les unités lithologiques et pédologiques représentées sur la carte. On disposera peut-être de données suffisantes pour faire une analyse statistique des résultats.

Les types lithologiques et géotechniques de roches et de sols ainsi que leur structure et leur disposition spatiale en profondeur peuvent être représentés par une combinaison de couleurs et de figurés colorés (ou simplement en noir et blanc). On doit faire apparaître sur la carte, avec une description lithologique en termes géotechniques, au moins deux des unités de sols ou de roches les plus proches de la surface.

Certaines propriétés des roches et des sols déterminées statistiquement peuvent être indiquées dans la légende.

En ce qui concerne la profondeur où il convient de relever les conditions géotechniques à cartographier, il faudra tenir compte de l'objet principal de la carte ainsi que de la complexité des caractéristiques géologiques.

Différentes méthodes de représentation à trois dimensions de l'épaisseur et de la profondeur sont examinées à la section 4.5.

Sur les cartes à grande échelle, les conditions hydrogéologiques peuvent être représentées à des intervalles appro-

¹ Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de normes internationales généralement admises en matière de couleurs et de symboles à utiliser pour les cartes géotechniques. Cependant, il existe une *Légende internationale des cartes hydrogéologiques* (Paris, Unesco, 1970).

priés, par exemple un mètre, par des isohypses, des isobathes et des isopièzes, les balancements connus étant indiqués par un chiffre. Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines peuvent être indiqués par un chiffre ou par des symboles. D'autres données indispensables concernant les zones de protection des eaux et d'autres aspects de l'hydrogéologie peuvent être indiquées.

La topographie des surfaces est représentée par des courbes de niveau, et les limites et les détails réels des phénomènes géomorphologiques peuvent être représentés également. Sur les cartes à grande échelle, on peut indiquer les limites réelles et, si possible, la structure interne de chaque phénomène géodynamique.

Sur ces cartes, le zonage est fondé sur l'homogénéité et l'arrangement structural des unités lithologiques et pédologiques représentées, ainsi que sur l'uniformité des conditions hydrogéologiques et des phénomènes géodynamiques.

4.3 Cartes à usage particulier

Les cartes géotechniques à usage particulier sont destinées à satisfaire un besoin spécifique ou donnent des informations sur un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur. Elles peuvent être analytiques ou synthétiques et peuvent être exécutées à n'importe quelle échelle.

Les techniques utilisées pour représenter les unités lithologiques et pédologiques, les conditions hydrogéologiques et les phénomènes géomorphologiques et géodynamiques sont les mêmes que celles utilisées pour les cartes à usages multiples (4.2.1, 4.2.2.3).

4.3.1 CARTES ANALYTIQUES A USAGE PARTICULIER

Elles représentent les diverses composantes des conditions géotechniques et elles les évaluent en fonction d'un but spécifique. Par exemple, les risques de glissement de terrain peuvent être évalués dans le cadre d'une opération d'urbanisme, la composante géotechnique étant le glissement de terrain et la destination spécifique de la carte étant l'opération d'urbanisme. On peut citer d'autres cas où les glissements de terrain doivent être pris en considération : défrichement des sols, stabilité des pentes de réservoirs. Pour ne citer que quelques exemples, les roches et les sols peuvent être considérés du point de vue d'une utilisation industrielle : carrières, caractéristiques de stabilité du sol, pertes d'eau des réservoirs naturels ou artificiels ; chacune de ces combinaisons sera représentée sur une seule carte analytique à usage particulier.

4.3.2 CARTES SYNTHÉTIQUES A USAGE PARTICULIER

Ces cartes représentent sur une seule feuille toutes les composantes fondamentales des conditions géotechniques (2.1) ; elles les classent et les évaluent en considérant un seul objectif spécifique. Cet objectif peut être une opération d'urbanisme, la construction d'un ouvrage souterrain ou de voies de communication, etc.

L'évaluation des composantes pour différents buts spécifiques pourra aussi être réalisée sur une carte de zonage géotechnique en groupant des unités territoriales d'après l'uniformité de leurs conditions géotechniques. Une telle

carte de zonage pourra être constituée par une feuille séparée ou, si elle est à petite échelle, elle pourra être combinée avec la carte des caractéristiques géotechniques.

4.4 Cartes géologiques explicatives

Les cartes géologiques d'un usage général, même si elles n'ont pas été exécutées expressément pour des ingénieurs, contiennent un grand nombre d'informations qui les intéressent. Un ingénieur géologue, ou un ingénieur ayant de solides connaissances de base en géologie, sera en mesure d'interpréter de telles cartes en termes de géotechnique, mais il ne faut pas oublier que la carte interprétative n'est pas une véritable carte géotechnique.

Les cartes géologiques explicatives peuvent être réalisées en complétant des cartes géologiques par des descriptions en termes géotechniques, ou en ajoutant des légendes à la carte publiée, ou en y joignant des notes séparées, ou encore en ajoutant des informations à des copies d'archives d'une carte géologique existante.

4.5 Représentation à trois dimensions sur les cartes

Comme les ouvrages de génie civil ont une influence sur les couches sous-jacentes et qu'ils se prolongent souvent au-dessous de la surface du sol, ou sont entièrement souterrains, une représentation à trois dimensions est souhaitable sur les cartes géotechniques. Lorsque des formations superficielles recouvrent le bedrock il est généralement souhaitable d'indiquer la profondeur et les caractéristiques de surface de celui-ci. Sur les cartes à petite échelle, des informations à trois dimensions peuvent être données uniquement en certains points par des symboles ; sur les cartes plus détaillées, la surface du bedrock et des détails sur les formations superficielles doivent autant que possible être indiqués par l'une ou l'autre des méthodes suivantes : méthode des bandes, courbes de niveau du bedrock, relevés de sondage, coupes (4.6), diagrammes isométriques ou lignes isopaques. Quelle que soit la méthode utilisée, la carte ne doit pas être surchargée, sous peine de devenir illisible. Sur les cartes à moyenne et à grande échelle, pour indiquer la profondeur et l'épaisseur des dépôts quaternaires, lorsqu'il n'existe qu'un petit nombre d'unités entre la surface du sol et la surface du bedrock, nous suggérons la méthode des bandes, car elle est très pratique.

4.6 Coupes géotechniques

Les coupes géotechniques sont le complément indispensable de tous les principaux types de cartes géotechniques. Le nombre et la direction des coupes sont choisis en tenant compte de la géomorphologie et de la structure géologique afin de montrer la relation qui existe entre les composantes des conditions géotechniques.

L'échelle horizontale des coupes doit être égale ou supérieure à l'échelle de la carte. L'échelle verticale est choisie de telle sorte qu'il soit possible d'indiquer l'étendue et les caractères des unités lithologiques et pédologiques les plus proches de la surface. La profondeur à laquelle la coupe est tracée doit avoir un rapport avec la profondeur des forages et autres sondages existants.

Toutes les informations présentées sur la carte doivent l'être également sur les coupes; par exemple les conditions hydrogéologiques, le zonage géotechnique, les résultats de processus géodynamiques et les propriétés géotechniques de toutes les unités de roches et de sols. Les détails indiqués sur la coupe correspondront aux détails portés sur la carte.

4.7 Cartes de documentation

Une carte de documentation permet de conserver la trace des sources d'information utilisées pour préparer une carte géotechnique. La carte de documentation doit être exécutée à la même échelle que la carte géotechnique qui lui est associée et, s'il n'existe aucun risque de surcharger la carte par des symboles, les deux cartes peuvent être combinées en une seule feuille.

Les informations portées sur la carte de documentation comprennent par exemple des symboles indiquant la position, la profondeur et le type de chaque forage, les affleurements, fouilles, carrières et autres excavations observées ou étudiées, les puits et les sources. Il faut indiquer les forages dans lesquels des essais au pressiomètre et des sondages géophysiques ont été effectués; ceux où ont été prélevés des échantillons pour essais de laboratoire, ceux qui ont été testés par injection et pompage d'eau, ainsi que ceux qui ont été utilisés pour observer le régime des eaux souterraines. L'emplacement des sites utilisés pour les essais géotechniques sur le terrain et les prospections géophysiques doit également être indiqué.

Les informations concernant des recherches antérieures, la photogéologie et les archives doivent également être fournies.

La légende des cartes de documentation doit expliquer tous les symboles utilisés. Le nom de l'organisation qui a entrepris chaque recherche, la date et le lieu où les archives sont conservées doivent être indiqués soit sur la carte, soit dans un mémoire qui l'accompagne.

Il convient d'utiliser des symboles normalisés, s'il en existe.

4.8 Explications et légende

Les explications ou la légende des cartes géotechniques permettent de comprendre les symboles, les couleurs et les figures utilisés pour réaliser la carte. En outre, on peut ajouter un résumé concernant par exemple les propriétés des roches et des sols, les conditions hydrogéologiques, les processus géodynamiques, et l'évaluation des différentes unités de zonage.

4.9 Références

UNESCO, 1970. *International legend for hydrogeological maps/Légende internationale des cartes hydrogéologiques*. Paris, Unesco/IASH, IAH; London, Institute of geological sciences. 101 p.

5.1 Introduction

Les cartes qui illustrent ce guide n'ont pas été dessinées spécialement en vue d'éclairer les recommandations qui y sont présentées; elles ont été choisies parmi les cartes géotech-

niques très nombreuses déjà publiées. Celles-ci reflètent des situations géologiques réelles qui ont été cartographiées en termes géotechniques de différentes façons. On a estimé qu'il valait mieux ne pas chercher à réaliser des cartes artificielles pour expliquer les principes de cartographie géotechnique exposés dans ce guide.

5.2 Exemples de cartes géotechniques à usages multiples

5.2.1 CARTES ANALYTIQUES À USAGES MULTIPLES

5.2.1.1 *Carte analytique à usages multiples, à petite échelle*

Carte de la fréquence estimée des glissements de terrain dans la région de la baie de San Francisco, Californie, à l'échelle approximative de 1/170 000 à l'origine.

Commentaire

Il s'agit d'une carte expérimentale qui donne une première approximation de la fréquence et de la probabilité des glissements de terrain dans la région.

Selon la fréquence évaluée des glissements de terrain dans différentes parties de la région, on a établi une échelle allant de 1 à 6. Le classement qualitatif repose sur la superficie couverte par les glissements de terrain, estimée d'après trois facteurs : pente de la surface, précipitations, et état de la roche et du sol. On a utilisé pour l'interprétation, d'une part, les relations que l'on a déduites entre les glissements et ces facteurs, et, d'autre part, la connaissance limitée, acquise sur le terrain, de la fréquence effective des glissements dans certaines zones.

Méthode adoptée pour établir la carte

On a divisé la région en six catégories de fréquence de glissements après avoir progressivement évalué et classé les extrêmes supérieur et inférieur. Dans la catégorie 1 figurent les zones où les glissements sont rares; à l'autre extrême, la catégorie 6 représente les zones où se produisent le maximum de glissements. Les zones de la catégorie 5 sont moins sujettes aux glissements, mais il s'en produit encore un très grand nombre, et les zones où le nombre de glissements est limité, mais néanmoins supérieur à celui de la catégorie 1, appartiennent à la catégorie 2. Les autres zones intermédiaires sont réparties selon les cas entre les catégories 3 et 4.

Les zones de la catégorie 1 sont celles où les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 254 mm (10 inches) ou dont les pentes sont inférieures à 5° (d'après

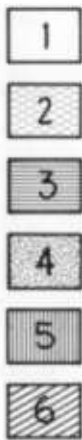
une carte topographique au 1/500 000 avec une équidistance des courbes de niveau de 150 mètres [500 pieds]). Ces critères correspondent à un très petit nombre de glissements de terrain, car ceux-ci sont rares dans les zones où les précipitations sont inférieures à 254 mm, et la consultation d'un nombre limité de rapports, ou d'autres géologues, révèle qu'il se produit peu de glissements sur les pentes inférieures à 5° (Radbruch, 1970, p. 4-6). Étant donné que les courbes de niveau de la carte à partir de laquelle les pentes ont été déterminées sont très écartées et que la carte définitive est à petite échelle, les zones de falaises maritimes et les zones de relief où les dénivellations sont inférieures à 150 mètres peuvent être localement sujettes à de fréquents glissements de terrain, bien que classées sur la carte dans la catégorie 1.

Le classement du reste de la région repose dans une grande mesure sur la répartition des matériaux terrestres. A cet effet, les unités géologiques de la région, qui apparaissent sur l'édition Jenkins au 1/250 000 de la carte géologique de la Californie, ont été groupées en 8 classes générales de matériaux terrestres. On a choisi ces classes de telle sorte que leurs caractéristiques du point de vue des glissements de terrain soient aussi semblables que possible, ou se réfèrent à la documentation facilement accessible sur les glissements de terrain de la région. On s'est servi pour le classement, lorsque l'information nécessaire était disponible, des principales différences entre les caractéristiques des glissements de terrain à l'intérieur de chaque classe de matériaux terrestres résultant des particularités de la topographie ou de type ou de la structure de la roche en place.

Cette carte a été redessinée d'après une partie de la carte de D. H. Radbruch et de Wentworth (1971), *Estimated relative abundance of landslides in the San Francisco Bay region, California*, U.S. Department of the Interior, Geological Survey. (San Francisco Bay Region Environment and Resources Planning Study, Basis Data Contribution 11.)

Légende

ÉCHELLE DE FRÉQUENCE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN



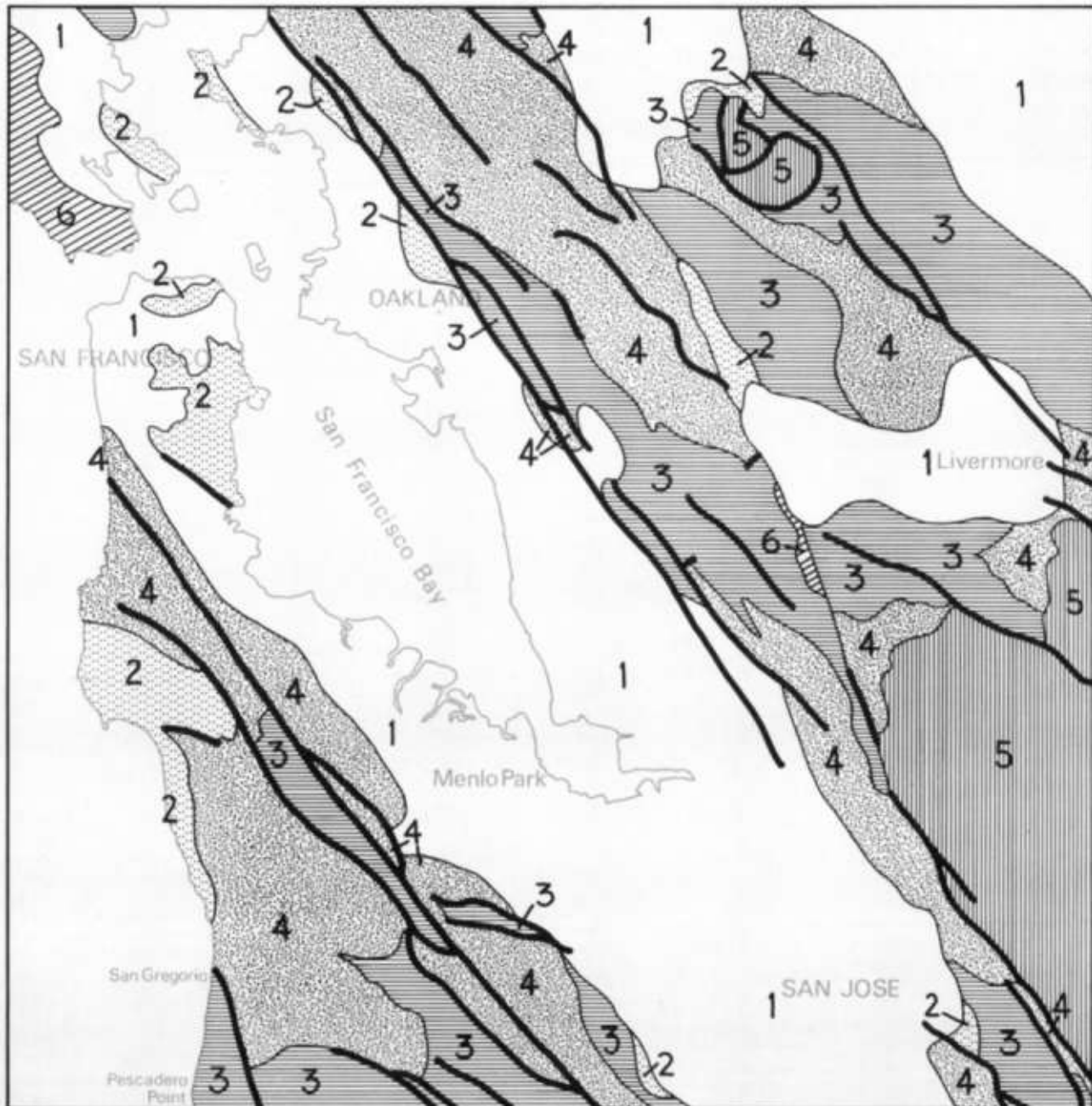
Fréquence minimale

Ce classement est qualitatif ; il est fondé sur des estimations et une extrapolation à partir des données disponibles. Aucun critère de sécurité ou de risques pour les constructions n'est indiqué. La répartition des glissements de terrain à l'intérieur d'une unité cartographique peut ne pas être uniforme : certaines parties des unités classées en haut de l'échelle ne sont pas sujettes aux glissements de terrain, et certaines parties des unités classées au bas de l'échelle le sont. Des glissements de terrain fréquents peuvent se produire dans les parties montagneuses de l'unité

Fréquence maximale

— Contact approximatif entre unités cartographiques

— Faille, localisée approximativement, indiquant une zone de roches peut-être cisailée ou fracturée non représentée dans l'échelle, mais où peuvent se produire des glissements de terrain. N'est pas indiquée lorsqu'elle est recouverte par des sédiments épais ou par de l'eau



5.2.1.2 Carte analytique à usages multiples, à moyenne échelle

Carte, au 1/54 500, des risques de glissements de terrain, comté de San Mateo, Californie.

Commentaire

Cette feuille fournit sur les risques de glissements de terrain des renseignements plus détaillés que la carte à plus petite échelle 5.2.1.1. Des explications très complètes figurent sur la feuille; elles comprennent des notes sur son mode d'emploi, une analyse des facteurs qui influent sur la répartition des glissements, et un graphique des équidistances de courbes. La présente carte a été établie à partir des cartes géologiques et des cartes de glissements existantes, ainsi que d'une carte de pentes établie spécialement. Les méthodes cartographiques sont exposées. Un tableau récapitule les glissements constatés pour les diverses unités rocheuses qui affleurent dans le comté de San Mateo.

On estime que cette carte de stabilité des pentes fournit une analyse, de lecture facile, d'un certain nombre de facteurs géologiques qui ont une incidence directe sur le problème des glissements de terrain dans ce comté.

Cette carte a été dessinée d'après une partie de la carte de E. E. Brabb, E. H. Pampeyan, et de M. G. Bonilla (1972), *Landslide susceptibility in San Mateo County, California*, U.S. Department of the Interior, Geological Survey [Miscellaneous field studies, map MT-360]. (San Francisco Bay Region Environment and Resources Planning Study, Basic Data Contribution 43.)

Explication des unités cartographiques

Minimum

I

Zones les moins sujettes aux glissements de terrain. Très peu de petits glissements s'y sont produits. La formation de grands glissements est possible, mais improbable, sauf au cours de tremblements de terre. Pentas généralement inférieures à 15%, mais il peut exister de petites zones à forte pente où le risque est plus élevé. Certaines parties ont des pentes allant de 30% à plus de 70% qui semblent recouvrir des unités rocheuses stables. Risques supplémentaires d'instabilité des pentes; certaines zones peuvent être plus sujettes aux glissements si elles sont recouvertes d'épais dépôts de sol, de matériaux de ruissellement pluvial (*slopeswash*), ou de remblaiements de ravins. Des chutes de roches peuvent également se produire sur les pentes raides. Dans cette classe figurent également des zones situées le long des rivières, fleuves, dépressions marécageuses et lacs, qui peuvent donner lieu à des glissements de terrain au cours d'un tremblement de terre. Si une zone est contiguë à une autre plus sujette aux glissements de terrain, elle peut être partiellement recouverte par un glissement, ou céder elle-même si elle se trouve minée, comme c'est le cas de la partie plane située au bord d'une falaise marine.

II

Zones peu sujettes aux glissements de terrain. Plusieurs petits glissements s'y sont produits et certains ont gravement endommagé des habitations et des routes. Quelques grands glissements peuvent s'y produire. Pentas allant de 5 à 15% pour les unités rocheuses instables, à plus de 70% pour les unités rocheuses qui paraissent stables. Les remarques concernant les risques supplémentaires d'instabilité des pentes qui ont été faites pour la catégorie I ci-dessus s'appliquent également à cette catégorie.

III

Zones moyennement sujettes aux glissements de terrain. De nombreux petits glissements s'y sont produits et plusieurs d'entre eux ont gravement endommagé des habitations et des routes. Quelques grands glissements sont probables. Pentas généralement supérieures à 30%, mais il existe des pentes de 15 à 30% dans les zones où les unités rocheuses sous-jacentes sont instables. Voir I pour les risques supplémentaires d'instabilité des pentes.

IV

Zones assez fortement sujettes aux glissements de terrain. Toutes les pentes sont supérieures à 30%. La plupart de ces zones sont situées dans les parties non aménagées du comté. Plusieurs grands glissements sont probables. Voir I pour les risques supplémentaires d'instabilité des pentes.

V

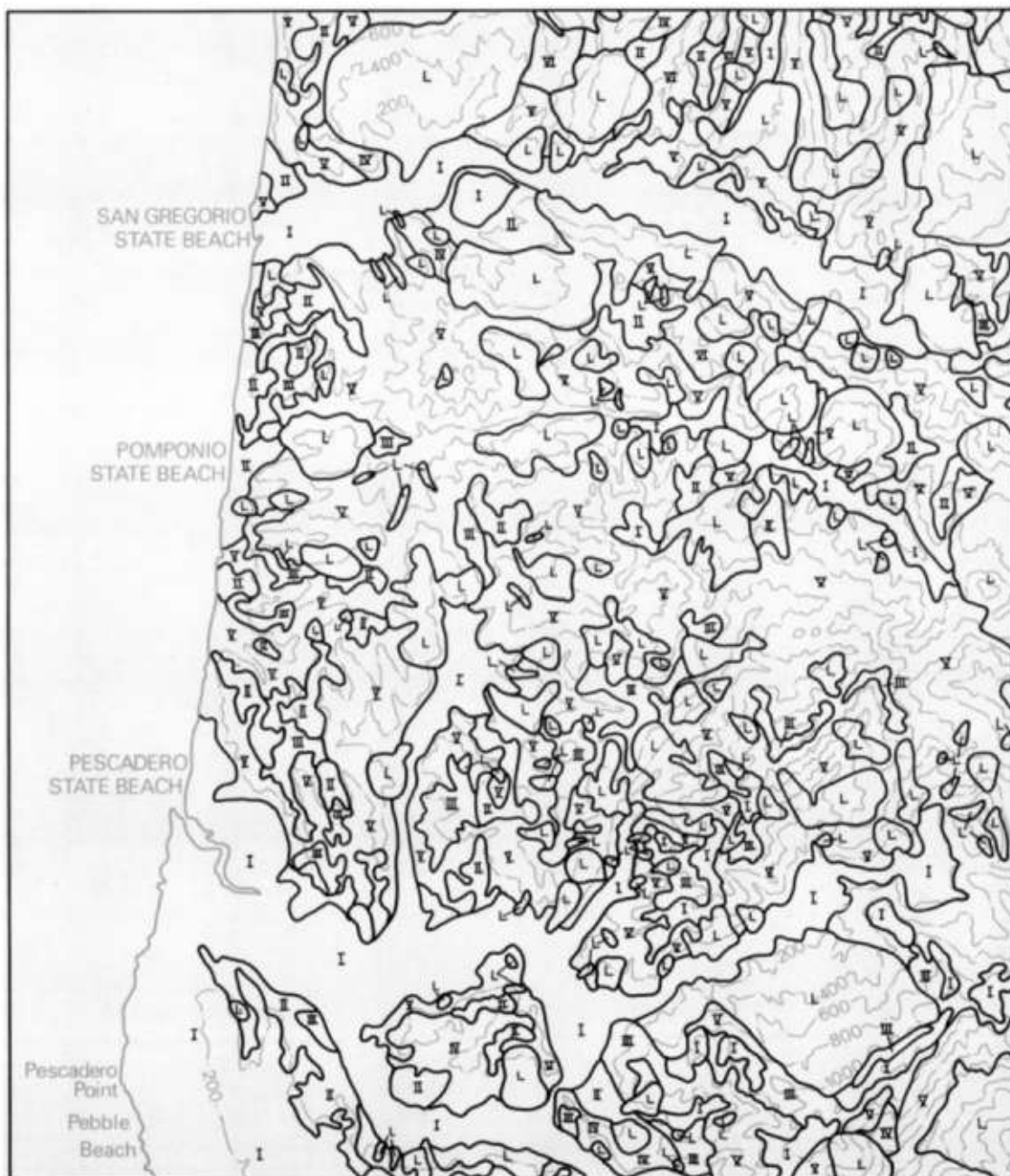
Zones fortement sujettes aux glissements de terrain. Les pentes sont toutes supérieures à 30%. De nombreux glissements, grands et petits, peuvent se produire. La plupart de ces zones sont situées dans les parties non aménagées du comté. Voir I pour les risques supplémentaires d'instabilité des pentes.

VI

Zones très fortement sujettes aux glissements de terrain. Les pentes sont toutes supérieures à 30%. De nombreux glissements, grands et petits, sont probables. Ces zones sont en général situées dans les parties non aménagées du comté. Voir I pour les problèmes complémentaires de stabilité des pentes.

Maximum L Risques maximaux de glissements de terrain. Ces zones sont constituées par des éboulis certains ou probables. Aucun petit éboulis n'y figure. Certaines zones, relativement stables, peuvent être aménagées, tandis que d'autres sont actives et provoquent des dommages aux routes, habitations, etc.

Définitions. Grands glissements: plus de 500 pieds (150 m) dans la dimension maximale. Petits glissements: de 50 à 500 pieds (15 à 150 m) dans la dimension maximale.



5.2.2 CARTES SYNTHÉTIQUES À USAGES MULTIPLES

5.2.2.1 Cartes synthétiques à usages multiples, à petite échelle

Carte géotechnique, au 1/200 000, de la zone de Zvolen (Tchécoslovaquie).

Légende



Données d'orientation sur la profondeur du niveau de la nappe (en mètres)

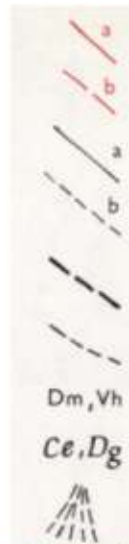
Sources (puits) importantes d'eaux minérales

Zones de protection avancée des eaux souterraines utilisées pour les stations thermales

Corrosivité des eaux souterraines

Glissements de terrain

Ravinement intense



Fautes importantes: a) observées; b) supposées

Limites des complexes lithologiques:
a) à la surface;
b) sous les dépôts quaternaires

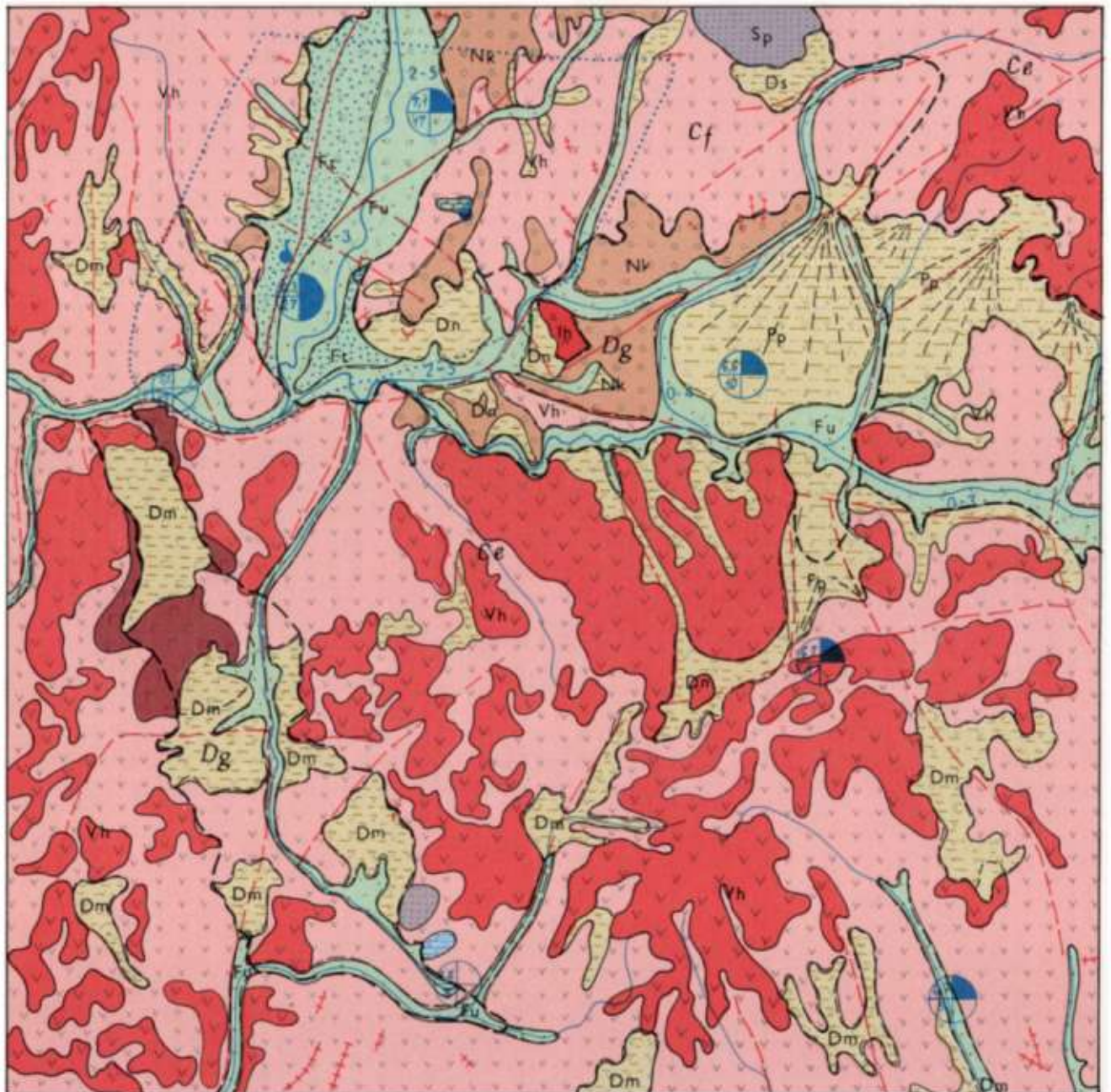
Délimitation des aires géotechniques

Délimitation des zones géotechniques

Symboles des zones

Symboles des aires

Cônes proluviaux



Commentaire

Cette carte a été établie pour les besoins de l'aménagement régional et de la planification de l'utilisation des terres.

On y a représenté les données géotechniques fondamentales relatives aux roches, aux eaux souterraines et aux phénomènes géodynamiques, et on a délimité des aires et des zones géotechniques en se fondant sur leur uniformité.

Les roches et les sols sont divisés en séries et en complexes lithologiques. Le coloris sert à représenter le caractère lithologique, et le figuré à représenter la nature de la roche superficielle quaternaire (en ocre) et du soubassement pré-quaternaire (en gris). Les dépôts quaternaires ne sont indiqués que si leur épaisseur dépasse 3 mètres. L'âge des roches n'est indiqué que dans la légende par des symboles géologiques.

Les conditions hydrogéologiques sont représentées sous une forme généralisée pour chaque complexe de roches et de sols par des symboles numériques de teinte bleue. Un pointillé rouge sert à indiquer les aires où interviennent des phénomènes géodynamiques techniquement importants (par exemple, glissements de terrain, érosion en ravines, phénomènes karstiques).

On utilise la méthode du zonage pour délimiter différentes catégories d'aires et de zones géotechniques. La distinction entre les aires est fondée sur l'uniformité d'unités géomorphologiques régionales déterminées, et on délimite les zones à partir du caractère général et de la disposition structurale des complexes lithologiques.

Cet exemple est une petite partie d'une carte établie par R. Ondrasik et M. Matula, à l'échelle de 1/200 000.

I. CLASSEMENT GÉNÉTIQUE LITHOLOGIQUE					II. CLASSEMENT TECHNIQUE
Age	Séries lithologiques	Symboles	Figurés	Complexes lithologiques	A ₁ = roches consistantes, A ₂ = roches semi-consistantes, B = sols graveleux, C = sols sableux, D = sols compacts, E = sols non constructibles (classement établi d'après le CSN Building Standard)
Quaternaire	Dépôts superficiels	dQ ₃₋₄		Dépôt de ruissellement pluvial (<i>slopewash</i>)	D = limons à limons pierreux (B = débris pierreux, éboulis)
		Q ₃₋₄		Sédiments fluviaux a) plaine inondable b) terrasses	B = graviers sableux et limoneux, C = sables limoneux, D = limons sableux (E = sols boueux)
		prQ ₂₋₃		Sédiments des cônes proluviaux	B = graviers limoneux, D = limons sableux et pierreux
		'N ₂ -Q		Sédiments chimiques	A ₂ = travertin
Néogène	Série de molasses	₁ N ₂		Complexe fluvio-lacustre et lacustre d'eau douce	B = graviers limoneux, C = sables limoneux, D = argiles sableuses et silteuses
	Néovolcanites postérogéniques	β		Basaltes néovolcaniques	A ₁ = basalte, A ₂ = tufs
		α		Andésites néovolcaniques	A ₁ = andésites, B ₂ = tufs (andésites propylitisées)
		tu _a		Tufs et tuffites andésitiques stratifiés volcanolacustres	A ₂ = tufs stratifiés, tuffites (A ₁ = andésite), B = graviers (D = argiles)
Mésozoïque	Série calcaire dolomie	ld _{T2}		Complexe calcaire néritique peu profond	A ₁ = calcaires, dolomies
	Série terrigène inférieure	q _{T1}		Complexe quartzitique littoral	A ₁ = quartzite (conglomérat), A ₂ = schistes argileux
Paléozoïque	Intrusions de granitoïdes varisques	γ		Granitoïdes	A ₁ = granodiorite à diorite quartzifère

(suite à la page suivante)

III CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

Complexes de roches et de sols en laboratoire

Symboles	Principaux types lithologiques	Densité apparente à sec (g cm^{-3})	Porosité (%)	Résistance à la compression uniaxiale ($\text{kgf cm}^{-2} 10^4$)	Indice de dureté (Šrečner kgf mm^{-2})	Module de déformation E_0 ($\text{kgf cm}^{-2} 10^5$)	Durabilité
dQ_{3-4}	Limon sableux à argileux	1,13–1,79	35–53	0,0055	—	—	Se remplit, se gonfle, gélif
rQ_{3-4}	Limon sableux	1,50–1,65	35–45	—	—	—	Gélif
	Graviers sableux	1,80–1,90		—	—	—	
prQ_{2-3}	Limons sableux et sols pierreux-limoneux						
$'N_2-Q$	Travertin	1,60–1,95	1–10	1–3	150–190	—	Légèrement soluble
iN_2	Graviers limoneux	—	—	—	—	—	Se gonfle, se ramollit
	Argiles sableuses, Argiles	1,50–1,75	30–35	—	—	—	
β	Basaltes	2,85–2,95	1,5–3,0	19–25	700–900	6–8	Très stable Se délite légèrement
	Tufs basaltiques	—	—	—	—	—	
α	Andésites	2,67–2,71	1,5–4,5	15–23	500–700	5–7	Stable Stable
	Tufs en blocs ou en agglomérats	1,83–2,12	18–33	1,6–3	—	—	
tu_α	Tufs	1,30–1,70	30–40	1–2,5	50–80	0,4–0,8	Inégal, gélif, se délite
	Tuffites	1,68–1,85	29–37	1–1,15	—	—	
ld_{T2}	Calcaires	2,70–2,73	0,23–1,35	7–14	200–300	0,03–56	Stable
	Dolomies	2,71–2,82	0,68–3,75	6–15	130–400	3–6	
q_{T1}	Quartzites	2,53–2,58	3,0–4,0	10–14	380–420	3–3,4	Stable
γ	Granodiorites et diorites quartzifères	2,62–2,70	1,1–2,7	12–17	270–600	0,4–0,6	Stable

Complexes de roches et de sols <i>in situ</i>	
Facilité d'excavation	
2-4	Épaisseur 1 à 9 mètres, débris fragmentaires à la base, très faible perméabilité, sans nappe permanente, importante érosion par ravinement et nombreux glissements de terrain. Utilisation : fabrication des briques et comme matériaux imperméables pour les barrages.
1-3	a) Épaisseur 3 m au maximum ; perméable avec nappe continue permanente.
3-4	b) Épaisseur 11 m au maximum ; légèrement perméables (10^{-4} à 10^{-3} m/s), sans nappe permanente. Utilisation : matériaux de remblais.
4	Formes coniques ; matériaux à grains grossiers et fins en alternance.
5	Formes en dôme, structure stratifiée, fissures ouvertes, légèrement perméable le long des fissures et des cavités, légèrement soluble dans l'eau. Utilisation : construction.
4 - 2-3	Graviers sableux et sables à stratification entrecroisée avec argiles silteuses et argiles alternantes ; transitions latérales et amincissement en coin. Les sables et graviers sont denses et perméables faiblement à moyennement. Utilisation : remblais ; peuvent localement convenir pour la fabrication du béton. Des lentilles de sols cohérents sont bien consolidées, faiblement perméables à imperméables. Utilisation : fabrication des briques.
7 3-5	Avant-buttes et restes de coulées de laves de plusieurs mètres à des dizaines de mètres d'épaisseur, avec fissuration généralement prismatique. Homogènes sauf sur les bords. Altération intense jusqu'à plusieurs mètres de profondeur, moyennement perméables le long des fissures. Utilisation : pierre à bâtir et agrégats concassés. Masses irrégulières de tufs cendreaux à clastiques grossiers, très hétérogènes, perméables le long des fissures et par les pores. Utilisation : matériaux de construction légers.
6-7 5-7	a) Masses andésitiques irrégulières de quelques mètres à 100 mètres d'épaisseur, homogènes sauf sur les bords, avec fissuration généralement prismatique, fréquentes perturbations tectoniques, parfois propylitisées. Perméabilité le long des fissures. Utilisation : matériaux de construction. b) Tufs de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, tufs et agglomérats très hétérogènes, diversement cimentés, perméables par les pores et le long des joints. Assez peu utilisables comme matériaux de construction.
5-6 —	Horizons irréguliers de tufs chaotiques ou stratifiés alternant avec des tuffites différentes par la granulométrie et le degré d'hétérogénéité, de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Fissuration irrégulière et altération superficielle sélective fréquente. Perméable par les pores et les fissures. Utilisation limitée comme matériaux de construction.
5-6 4-6	Calcaires et dolomies relativement homogènes en lits épais à massifs. Les calcaires sont fortement karstifiés et très perméables. Utilisation : matériaux de construction ; les horizons les plus purs servent à la fabrication de la chaux. Les dolomies massives avec intercalations de schiste argileux et de calcaire sont tectoniquement perturbées. Altération superficielle jusqu'à des profondeurs variables, jusqu'à un sable dolomitique contenant des fragments de dolomite. Utilisation locale comme matériaux de remblais.
4-6	Quartzites en lits épais à massifs avec horizons de schistes argileux sériciteux et chloriteux, dynamométamorphisés à divers degrés. Réduites à l'état de pierraille par altération. Perméables dans les zones tectoniquement perturbées. Utilisation : matériaux pour la fabrication d'agrégats concassés.
—	Massifs homogènes, localement perturbés au point de vue tectonique et dynamométamorphisés. Fissuration polyédrique. Perméables le long des fissures et des zones perturbées. Utilisation : bons matériaux de construction.

(suite à la page suivante)

AIRES	ZONES			
	Type	Conditions géologiques du terrain	Conditions hydrogéologiques	Processus géodynamiques actuels
Ce Aire de relief volcanique: Paysage de montagne jeune et varié; formé par la destruction de formes strato-volcaniques initiales sous l'effet d'une érosion et de mouvements néotectoniques différentiels	Dm Zone de dépôts de ruissellement pluvial sur roches magmatiques et métamorphiques	Sols constitués de limons de ruissellement pluvial de 2 à 7 mètres d'épaisseur; dans le substratum, il y a des roches volcaniques et pyroclastiques consistantes à semi-consistantes légèrement compressibles	Très faiblement aquifère à pratiquement sec	Érosion de pente intense par sillons et ravins d'érosion
Dg Aires de bassins intramontagneux: Dépressions régionales d'origine tectonique, où une érosion sélective et une accumulation de sédiments quaternaires et pliocènes tendres ont déterminé des formes de paysage peu accidentées à plates: vastes plaines inondables et terrasses fluviales dominantes	Fu Zone de dépôts alluviaux de plaine inondable	Graviers à grains grossiers, graviers sableux, sables et limons sableux à argileux; dans les bras morts et les dépressions des grands réseaux fluviaux, on peut également trouver des remblaiements sapropéliques; épaisseur de l'alluvion: 5 à 11 mètres	Les dépôts de graviers sont fortement saturés; le niveau de la nappe est à une profondeur de 5 mètres; quand il s'élève il est fréquent que de grandes surfaces soient inondées	L'érosion des berges provoque par endroits de petites ruptures de talus
	Nk Zone de sédiments préquaternaires alternativement cohérents et non cohérents	Graviers pliocènes moyennement tassés, avec ciment silteux-argileux et argiles pliocènes faiblement consolidées et de plus grande plasticité	Sur le complexe graveleux du Pliocène, il peut y avoir à flanc de coteau de nombreuses petites sources	Érosion de pente intense sous forme de sillons profonds; fréquents petits glissements de terrain au contact des tuffites

Note Ce tableau ne présente, à titre d'exemples, que les caractéristiques de deux types d'aires et de trois types de zones.

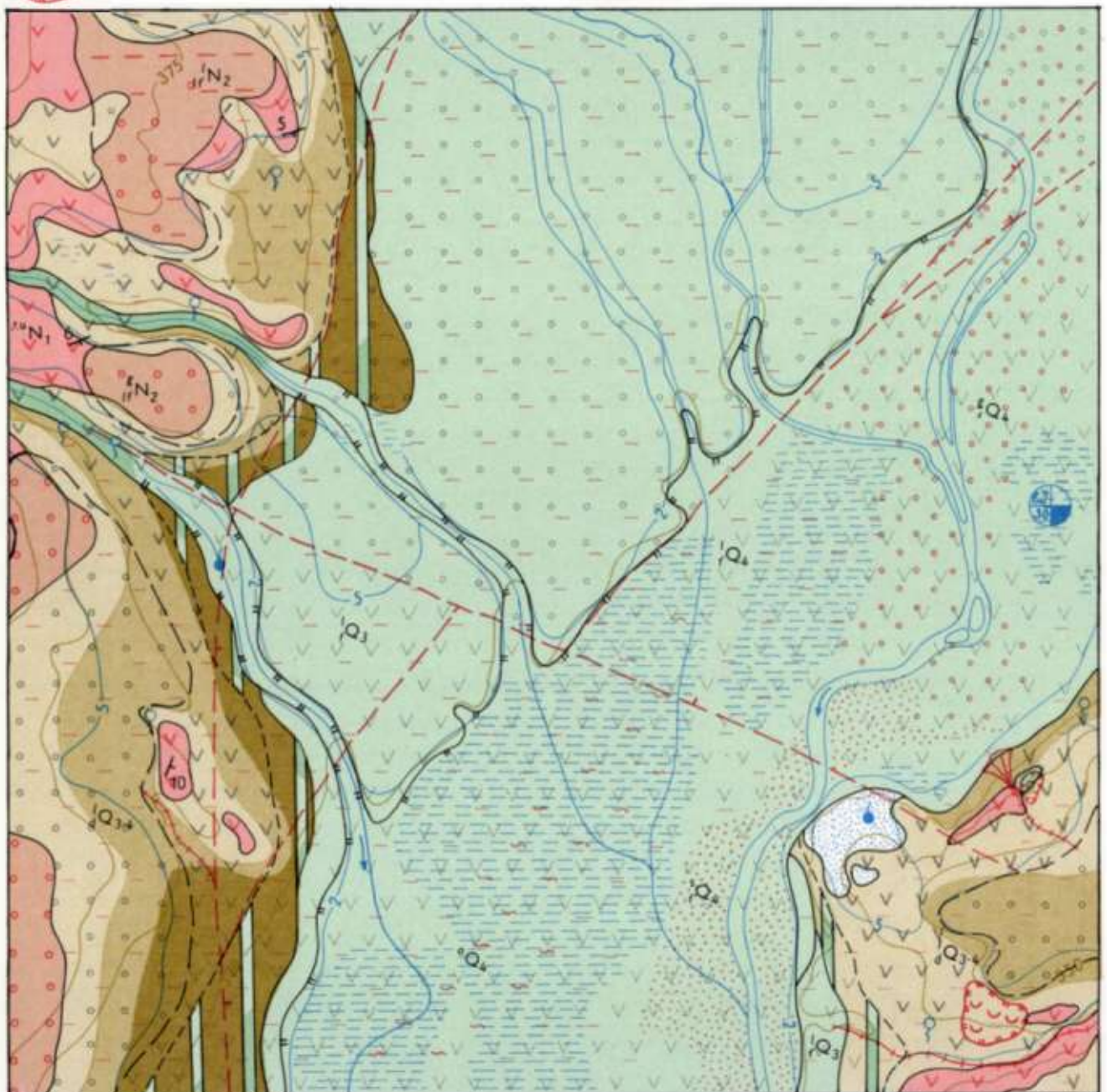
CONDITIONS GÉOTECHNIQUES POUR LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION				
Excavations et tranchées	Construction de remblais	Fondations	Routes	Matériaux de construction
Les tranchées et fouilles à flanc de coteau sont généralement creusées dans des dépôts de ruissellement pluvial et dans la roche sous-jacente altérée; l'eau souterraine qui sort de la pente est facilement captée et évacuée du chantier	La construction de remblais relativement importants peut entraîner une rupture de talus; il y aurait intérêt à établir le chantier moitié en remblai et moitié en tranchée	Les fondations se présentent dans de très bonnes conditions; le seul gros problème consiste à stabiliser la pente pendant la construction	Pour fixer le tracé des routes et des voies ferrées on se heurte à certaines difficultés: ravinement et nécessité d'assurer un bon drainage pour maintenir la stabilité	Argiles à briques
En règle générale, les fouilles de fondation doivent être faites au-dessous du niveau de la nappe; dans les fouilles plus profondes en terrain graveleux, fortes venues d'eaux	Ne présente pas de difficulté; mais les accumulations de vase et de boue putréfiée fortement compressible — et ne supportant aucune charge — dans les bras morts de rivière et les franges de cônes d'alluvions doivent retenir l'attention	Dans les fondations d'immeubles comprenant des caves, le niveau élevé de la nappe provoque des difficultés; il est nécessaire d'étancher (pression de soulèvement); dans certains cas, il faut prendre des précautions contre la corrosivité de l'eau; les variations du niveau de la nappe et les inondations fréquentes détériorent les matériaux des fondations	Étant donné son très faible relief, cette zone est commode; des difficultés se présentent dans les secteurs à marécages et à lacs de méandres abandonnés	Ressources abondantes en graviers et sables d'excellente qualité pour la fabrication du béton; matériaux de remblaiement abondants
Les fouilles sont creusées généralement sur des pentes moyennes; les venues d'eaux souterraines qui se produisent sur la pente sont faciles à capter et à évacuer du chantier	La construction de remblais importants peut provoquer une rupture de talus; il y aurait intérêt à en réduire les dimensions en établissant le chantier moitié en remblai et moitié en tranchée	Cette zone est moins propre à la construction de grands ensembles et de bâtiments industriels; elle convient surtout à la construction de bâtiments plus simples	Du fait d'affouillements en profondeur et de la présence de matériaux argileux, cette zone n'est propre à la construction de routes que sous certaines conditions	Possibilité d'exploiter avantageusement à grande échelle les graviers et les argiles; mais les graviers pliocènes sont de qualité inférieure

5.2.2.2 Carte synthétique à usages multiples, à moyenne échelle

Carte des conditions géotechniques d'une partie du bassin de Zvolen (Tchécoslovaquie), à l'origine à l'échelle de 1/25000 (Matula, 1969).

Légende

	Hydro-isobathe du niveau maximal de la nappe		Glissements de terrain anciens (possibles)
	Sources d'eau douce et d'eau minérale		Bord des terrasses fluviales
	Terrains saturés d'eau		Limite des complexes lithologiques à la surface du sol
	Corrosivité de l'eau souterraine: pH, dureté (en degrés allemands); le secteur en teinte plate indique l'agressivité de CO2 et/ou de SO4 selon les normes tchécoslovaques		Limite des complexes sous-jacents: a) entre les dépôts quaternaires; b) entre les dépôts quaternaires et le soubassement préquaternaire; entre les complexes préquaternaires
	Érosion par ravinement		Direction et pendage des strates
	Formation de cônes d'alluvions		Failles tectoniques importantes et pendage de ces failles
	Glissements de terrain actifs		



Commentaire

Cette carte a été établie pour la planification de l'utilisation des sols et la conception des ouvrages ordinaires et des ouvrages de génie civil. Elle se compose de deux feuilles parallèles; la carte des conditions géotechniques (5.2.2.2) et la carte du zonage géotechnique (5.2.2.3).

Sur la carte des conditions géotechniques, les roches et les sols sont divisés en complexes lithologiques, que différencient des caractéristiques physiques et techniques analogues. Les roches et les sols de la surface sont représentés par un coloris correspondant à un complexe lithogénétique particulier et par un figuré orangé qui indique le caractère lithologique.

La représentation tridimensionnelle utilisant la méthode des bandes permet de montrer le caractère de deux unités lithologiques superposées de dépôts quaternaires. L'épaisseur

de ces dépôts (<2 mètres; 2–5 mètres; >10 mètres) est indiquée par trois nuances du coloris. Le caractère lithologique des unités du bedrock préquaternaire, lorsqu'elles sont recouvertes de dépôts superficiels, est indiqué par des figurés gris. Les figurés denses représentent la surface du bedrock jusqu'à 5 mètres de profondeur, les figurés plus clairs indiquent une profondeur de 5 à 10 mètres.

Les conditions hydrogéologiques sont représentées en bleu par les hydro-isobathes du niveau saisonnier maximal de la nappe, à des intervalles de 2, 5 et 10 mètres. Des symboles spécifiques indiquent la corrosivité de l'eau souterraine.

La répartition, la nature et l'intensité des processus géodynamiques, les glissements de terrain, l'érosion par ravinement, la formation des cônes d'alluvions sont indiqués en rouge.

I. CLASSEMENT GÉNÉTIQUE LITHOLOGIQUE

Age	Groupe génétique	Symbole	Identification des roches		Complexe lithologique
			A la surface (épaisseur en mètres)	Complexes sous-jacents	
Quaternaire	Fluvial	l_{Q_3-4}			Limons alluviaux, de sableux-lössiques à lössiques-argileux
		$l^*_{Q_3-4}$			Sables alluviaux surtout à grains moyens, avec intercalations limoneuses
		$l^*_{Q_3-4}$			Graviers sableux à grains fins ou moyens limoneux dans les terrasses anciennes
		o_{Q_3-4}			Boues sapropéliques dans les bras morts de rivières; de sableuses-lössiques à argileuses
	Dépôt de ruissellement (Deluvial)	l_{Q_3-4}			Limons de pente, de sableux-lössiques à argileux
	Chimique	$^{u}N_2 - Q_4$			Travertin, buttes et nappes de pente
Pliocène	Lacustre fluvial	$l^*_{l^f}N_2$			Limons lacustres et alluviaux, argileux-lössiques, sableux-lössiques, rarement argileux
	Lacustre fluvial	$l^*_{l^f}N_2$			Graviers lacustres et alluviaux, de sableux à limoneux, avec lits de sable
Miocène	Volcanique Lacustre	$^{u}N_1$			Tufs et tuffites andésitiques stratifiés

a. Classement selon CSN (normes tchécoslovaques de construction): A_2 = roches tendres; B_1 = graviers avec galets en contact; C_2 = sable moyen à fin; D_2 = argile de plasticité moyenne; E_3 = argile organique limoneuse; VV = très bon, V = bon, MV = médiocre; N = mauvais.

b. Valeurs moyennes statistiques.

c. Valeurs moyennes et minimales-maximales.

d. Valeurs minimales-maximales

e. Valeurs analogues dans la zone voisine.

f. K_z = coefficient de ramollissement (rapport entre résistance à l'état saturé et résistance à l'état sec)

(suite à la page suivante)

II CLASSEMENTS TECHNIQUES ^a

Symbole	Aptitude aux fondations	Construction de routes		Classement des sols	Facilité d'excavation	Types lithologiques
		Fondations	Matériau de remblais			
jQ ₃₋₄	D ₂	MV	MV	ML	1-3	Limons sableux-lœssiques (dans la plaine inondable du Hron)
	D ₃		.	CL	1-3	Limons argileux-lœssiques dans les terrasses anciennes
iQ ₃₋₄	C ₂	V	VV	SM	2	Sables limoneux
lQ ₃₋₄	B ₁	VV	VV	GW GM	4	Graviers sableux (terrasses de la vallée du Hron)
oQ ₃₋₄	E ₃	N	N	OH	2-3	Silts boueux sapropéliques des bras morts de rivières dans la plaine inondable ^e
dQ ₃₋₄	D ₂ D ₃	MY	MV	CL	2-3	Limons sableux-lœssiques
trN ₂ -Q ₄	A ₂	N	MV	—	5	Travertin plus compact Travertin à forte porosité
lfN ₂	D ₂	MV	MV	CL	2-3	Sol lœssique-argileux
	D ₃			ML		Sol sableux-lœssique
gN ₂	B ₁	VV	V	GV GM	3	Graviers sableux altérés Graviers limoneux
tuN ₁	A ₂	V	MV	—	5-6	Tufs psammitiques andésiques Tuffites psammitiques Tuffites pséphitiques

III CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES							
Pour le matériel rocheux des principaux types lithologiques sur échantillons non remaniés							
Densité à 15,5 °C $\rho_s(\text{g cm}^{-3})$	Densité apparente à sec $\rho_d(\text{g cm}^{-3})$	Porosité %	Consistance I_c Dureté (rebondissement) [R Schmidt]	Teneur en eau %	w_p %	w_l %	w_p % Dureté à l'échelle SPT (kgf mm^{-2})
2,69 ^b	<u>1,51</u>	<u>43</u>	<u>0,6</u>	<u>30</u>	<u>24</u>	<u>37</u>	<u>14</u>
	1,42–1,62 ^c	39–47	0,1–0,9	25–32	21–30	32–44	10–22
2,61	<u>1,57</u>	<u>40</u>	<u>0,8</u>	<u>29</u>	<u>29</u>	<u>41</u>	<u>16</u>
	1,30–1,78	36–51	0,4–1,3	15–35	18–35	30–54	7–24
2,65	1,30–1,70 ^d	36–47		9–10	—		
2,65–2,68	1,80–1,90						
2,60	1,37	48	0,13	33	21	35	14
2,76	<u>1,62</u>	<u>40</u>	<u>0,7</u>	<u>26</u>	<u>23</u>	<u>39</u>	<u>14</u>
	1,13–1,77	32–58	0,5–1,3	18–43	17–40	23–52	6–20
2,66	<u>8</u>						<u>150</u>
2,68	<u>6</u>						—
2,63	<u>1,76</u>	<u>45</u>	<u>0,8</u>	<u>29</u>	<u>25</u>	<u>40</u>	<u>16</u>
	1,15–1,60	40–55	0,3–1,0	23–46	19–40	29–60	12–23
	<u>1,67</u>	<u>37</u>	<u>0,9</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>36</u>	<u>15</u>
	1,30–1,70	30–50	0,7–1,1	14–39	15–24	22–48	6–24
2,68	1,68	36	16		—		48
2,71	1,69	37	26		—		70
2,61	1,85	29	—		—		—

(suite à la page suivante)

III. CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES (suite)

Symbole	Résistance au cisaillement (φ en degrés)	Cohésion (c en kgf cm^{-2})	Résistance à la compression uni-axiale σ_1 (kgf cm^{-2})	Module de compressibilité (kgf cm^{-2})			Autres
				Module d'élasticité E ($10^{-4} \text{ kp cm}^{-2}$)	Module de déformation E_s	Module d'élasticité dynamique E_{dyn}	
lQ_{3-4}	25	0,5	—	—	85	—	
	11	0,8	—	—	—	—	
fQ_{3-4}	27	0,1					
fQ_{3-4}	30-36	—					
oQ_{3-4}							
lQ_{3-4}	21	0,8	—	—	102-140	—	
$uN_2 - Q_4$			302			84	$k_z = 1,87^f$
			118			—	$k_z = 0,60$
lN_2	9	1,0			80		
	14	0,7			147-105		
fN_2							
uN_1			115-171	4	2,8	5	$k_z = 0,61-0,71$
			225	10,9	4,3	15	$k_z = 0,78$
			115	—	—	—	$k_z = 0,38$

Pour les complexes de roches (*in situ*)

Épaisseur: 0 à 2 mètres. Stratification horizontale mince à laminaire. Anisotropie verticale. Se délite très facilement. Consistance faible à forte. Intercalations de sols organiques. Faible perméabilité.

Épaisseur: 0 à 1,5 mètre. Sables moyens, intercalations de silts, stratification croisée. Une proportion considérable de limons diminue la perméabilité et augmente la cohésion. Grande diversité de faciès. Fortement altérés dans les terrasses anciennes.

Graviers moyens sableux avec intercalations de sable de 3 à 9 mètres d'épaisseur. Stratification irrégulière. Anisotropie verticale. Perméabilité moyenne ($5 \cdot 10^{-4}$ m/s). Présence d'eau localement corrosive. Blocs à la base. Dans les terrasses anciennes fortement altérées, limoneux; perméabilité $3 \cdot 10^{-6}$. Dans les vallées latérales, grossiers, hétérogènes avec blocs.

Les dépôts occupent de nombreux bras de rivière abandonnés, irréguliers, et des dépressions en bordure des cônes alluviaux. Boues sapropéliques sableuses et lœssiques, consistance très faible à faible; saturées d'eau. Très faible perméabilité, se délitant facilement. Aucune force portante, très fortement compressibles.

Stratification irrégulière à cryptostratification, en général 1,5 à 3 mètres d'épaisseur; à la base des pentes, plus de 10 mètres d'épaisseur. Limons bruns sableux-lœssiques avec débris de roches volcaniques. Sur les dépôts pliocènes plus argileux, brun-rouille, avec graviers. Débris prismatiques à altérés, cohérents à très cohérents. Localement, se délitent facilement. Très faiblement perméables; servent à la fabrication de briques.

Masses irrégulières; accumulations et nappes adaptées au relief. Épaisseur variable. Roches semi-consistantes, fortement fissurées, à macropores et perméables. Soluble, karstifié. Très peu apte à la construction ou à la décoration (parements).

Sols à faciès très homogènes, cryptostratifiés, argileux à sableux-lœssiques; épaisseur maximale: 10 à 15 mètres. Brun à brun-rouille, tacheté. Consistance: rigide à très rigide. Consolidé, diagénétique et désagrégation prismatique. Pratiquement imperméable.

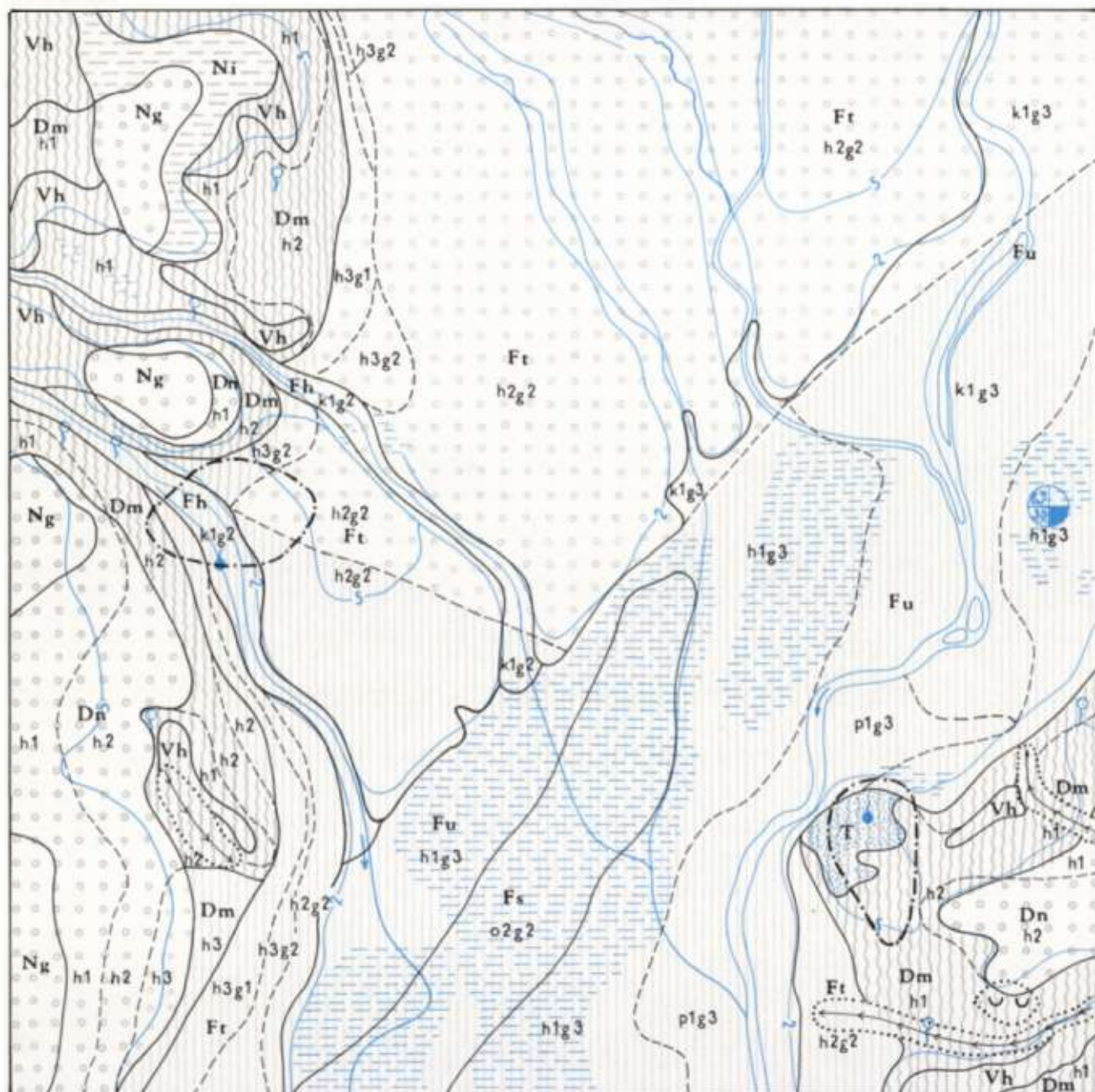
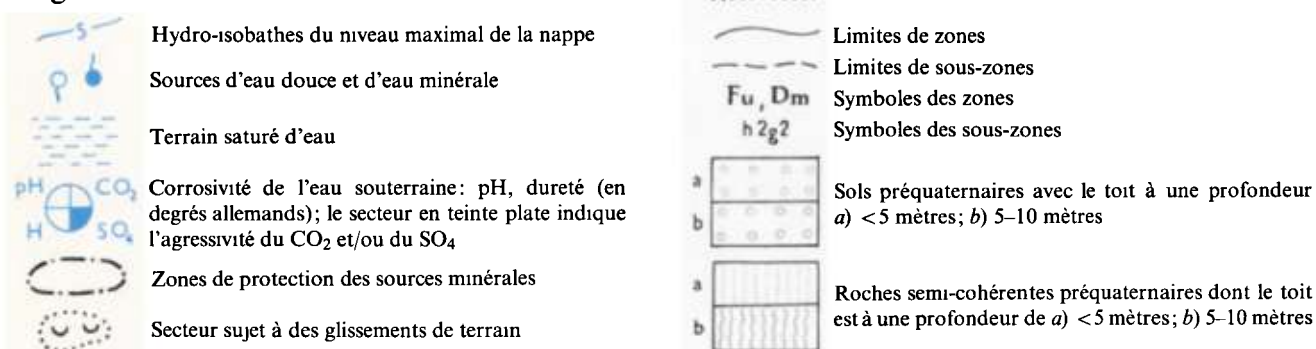
Graviers moyens, sableux-limoneux; épaisseur: 5 à 10 mètres. Intercalations lenticulaires de sables; fortement altérés, par places, faiblement cimentés. Perméabilité moyenne.

Tufs pséphitiques-psammitiques grossièrement stratifiés déposés en milieu aquatique. Alternent avec des tuffites pséphitiques à pélitiques. Couleur variable; diversité de faciès, en hétérogénéité physique. Roches faibles semi-consistantes; facilement altérées; se désagrègent dans l'eau. Faible fissuration et faible perméabilité.

5.2.2.3 Carte synthétique à usages multiples, à moyenne échelle

Carte de zonage géotechnique, bassin de Zvolen, 1/25000.

Légende



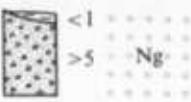
Commentaire

Alors que la carte précédente présente des informations sur la répartition et le caractère des principaux éléments de l'environnement géotechnique (roches et sols, eaux souterraines, processus géodynamique), la carte de zonage géotechnique fournit une évaluation synthétique de ces éléments interdépendants, en différents lieux de la zone cartographiée.

On a adopté la méthode de zonage typologique pour délimiter différents types de zones et de sous-zones. La distinction entre les zones géotechniques est fondée sur l'uniformité du caractère lithologique général et sur l'arrangement structural des complexes lithologiques dans les parties du sol les plus proches de la surface. Les sous-zones géotechniques sont délimitées à l'intérieur des zones d'après l'homogénéité de l'arrangement spatial (superposition) et proportionnel (épaisseur) des différentes sortes de sols et de roches dans des coupes types schématisées des sols de fondations.

Les différentes zones sont indiquées par des symboles exprimant le caractère lithogénétique des roches (par exemple, Fu=zone de dépôt de vallée fluviale; Ft=zone de dépôts de terrasses fluviales; Dm=zone de dépôts de ruissellement pluvial sur roches magmatiques ou métamorphiques; Ep=zone de sable éoliens, etc.; en Tchécoslovaquie, il existe quarante sortes de zones dans la classification par zones). Si l'on estime nécessaire de prendre en considération deux complexes superposés d'épaisseur moindre, il est possible d'indiquer également ces complexes au moyen de symboles combinés (par exemple, EsFt=zone de dépôts de terrasses fluviales recouverts de less éolien).

Les sous-zones sont des modèles quasi homogènes de structure qualitative et quantitative verticale de terrains de zonage et leur délimitation est faite selon les critères suivants (en abrégé):

ZONES				SOUS-ZONES		
Type	Caractéristiques géologiques et géomorphologiques	Conditions hydrogéologiques	Conditions géodynamiques	Type	Figuré (sur la carte)	Caractéristiques lithologiques Composition lithologique verticale
Ng	Graviers pliocènes alternant avec les horizons sableux et formant une plaine faiblement ondulée avec pentes moyennes. Limons et sables déposés par le ruissellement avec quelques graviers < 1 mètre d'épaisseur	Eaux souterraines généralement à plus de 5 mètres de profondeur. Petites sources d'horizons de graviers	Large érosion par ravinement, glissement de faible extension	G3		Graviers, graviers sableux, graviers moins limoneux avec horizons sableux et argilo-sableux
Dm	Limons de ruissellement de 5 à 8 mètres d'épaisseur sur agglomérats et tufs andésitiques. Pentes moyennes, localement fortement découpées par l'érosion	Limons de ruissellement très faiblement aquifères. Sur bedrock relativement perméable	Large érosion en nappe ou par ravinement. Glissements de terrain sur faible épaisseur et solifluxion	h2B ¹		Limons de ruissellement, argileux, moins sableux, 2 à 5 mètres d'épaisseur, sur tufs à agglomérats, interstratifiés avec des tufs à lapilli
Fu	Alluvions de plaine inondable constituées par des lits de graviers de 5 à 9 mètres d'épaisseur, recouverts de sable ou de limons de 0,5 à 2 mètres d'épaisseur	Territoire régulièrement recouvert par de grandes inondations. Nappe phréatique en général < 2 mètres de profondeur. Eau localement corrosive (forte teneur en SO ₄)	Localement affouillements des berges des cours d'eau	k1g3B ²		Limons et sable de 0,5 à 2 mètres d'épaisseur sur graviers sableux de 6 à 9 mètres d'épaisseur. Entre 5 et 9 mètres de profondeur le substratum est identique à celui de la zone Dm (tufs)

Note Ce tableau ne présente, à titre d'exemples, que les caractéristiques de trois types sélectionnés de sous-zones de trois zones typiques.

Dépôts quaternaires

g = Sols graveleux
 p = Sols sableux
 n = Alternance de sols graveleux et sableux
 h = Sols cohérents
 k = Combinaison de sols cohérents et non cohérents
 s = Sols lâssiques
 o = Sols organiques
 b = Sols à gros blocs

Soubassement préquaternaire

S = Roches consistantes (dures)
 B = Roches semi-consistantes (faibles)
 F = Alternance de roches dures et de roches faibles (flyschoides)
 Z = Roches fortement altérées
 G = Sols graveleux
 P = Sols sableux
 N = Alternance de graviers et de sables
 I = Sols cohérents
 K = Combinaison de sols cohérents et non cohérents

Épaisseur des strates

1 = < 2 mètres
 2 = de 2 à 5 mètres
 3 = > 5 mètres

Profondeur de la surface préquaternaire

1 = < 5 mètres
 2 = de 5 à 10 mètres
 3 = > 10 mètres

Les sous-zones sont indiquées par des symboles, qui sont formés en groupant les signes correspondant au sol et à la roche (type, épaisseur, ou profondeur du soubassement préquaternaire) selon la succession verticale des strates délimitées. Par exemple, le symbole h1g2S¹ représente le modèle du sol de fondation où les sols cohérents (épaisseur < 2 mètres) reposent sur des graviers (épaisseur de 2 à 5 mètres), avec une profondeur < 5 mètres des roches dures du soubassement préquaternaire.

SOUS-ZONES (suite)			CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES DES SOUS-ZONES						
Force portante estimée q_e , kgf/cm ⁻² à une profondeur de 2 à 6 m pour des fondations de 1 m Profondeur de la nappe sous les fondations		Force portante de pieux de 1000 cm ² de section Longueur 6 m	Évaluation des fondations selon la norme applicable aux fondations	Aptitude aux fondations de routes selon la norme applicable à la construction de routes carrossables		Capillarité	Géivité	Évaluation des conditions de construction des routes	
> 1 m	< 1 m	Mp		Route sur sous-sol naturel	Remblai sur sous-sol naturel				
$\frac{7}{9}$	$\frac{4,7}{6}$	60	Conditions simples de fondations. Site apte aux fondations, sous condition seulement dans les graviers limoneux. Graviers et graviers sableux. Classes 8 et 10. Graviers limoneux, classes 10 et 11	Très bonne	Très bonne	Nulle (moyenne)	Nulle (moyenne)	Terrain apte à la construction de routes en tranchée et remblai	
$\frac{1,2}{6}$	$\frac{12}{6}$	60	Conditions simples de fondations. Limons, classes 20 et 21; sub- stratum, classes 2 à 5. Sites aptes aux fondations sous conditions	Très médiocre	Très médiocre	Élevée	Élevée	La nature des sols et le carac- tère très découpé du terrain ne per- mettent guère la construction de routes	
$\frac{6}{8}$	$\frac{4}{5}$	40	Conditions de fondations simples. Les sites peuvent être inaptes aux fonda- tions à cause du niveau élevé de la nappe phréa- tique ou parce qu'ils sont inondables	Strate I (sable limo- neux): médio- cre. Strate II (graviers): très bonne	Strate I (sable limoneux): médiocre. Strate II (graviers): très bonne	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée	En raison des conditions hydrologiques, les routes doivent être construites en remblai	

Pour abréger les symboles de la carte (surtout dans les petites sous-zones), on omet les signes correspondant au soubassement préquaternaire. Mais le caractère et la profondeur du soubassement sont indiqués sur la carte par des figurés gris de différentes tonalités.

Outre la division du territoire cartographié en unités de zonage dont les conditions géotechniques sont à peu près semblables, les informations destinées à l'utilisateur sont complétées par des données relatives aux conditions hydro-géologiques. Les parties du territoire soumises à certains processus géodynamiques sont délimitées en secteurs particuliers. On a indiqué également diverses zones protégées.

Angle de talus maximal dans les excavations temporaires Profondeur $\frac{3m}{4m}$		Débit maximal estimé, en l mn à travers 1 m de la circonférence de l'excavation pour abaisser le niveau de la nappe			Facilité d'excavation	Utilisation possible de la roche	Recommandations relatives à des recherches complémentaires
A sec	Sous l'eau	2 m	4 m	6 m			
$\frac{1:1,4}{1:1,8}$	$\frac{1:2,2}{1:2,5}$	5	15	50	2-3	Extraction de graviers et limons; graviers de qualité médiocre	La répartition des intercalations de sable et de sable argileux étant irrégulière, un réseau dense de forages est indispensable
$\frac{1:0,7}{1:0,9}$	$\frac{1:1,3}{1:1,2}$	—	<1	<1	2-3	—	Composition pétrographique et consistance des limons très diverses
$\frac{1:1,4}{1:1,8}$	$\frac{1:2,2}{1:2,5}$	40	180	400	$\frac{1-2}{2-3}$	Quantités considérables de graviers fluviaux de bonne qualité pour la fabrication du béton	Les propriétés corrosives de l'eau souterraine varient

5.3 Exemples de cartes géotechniques à usage particulier

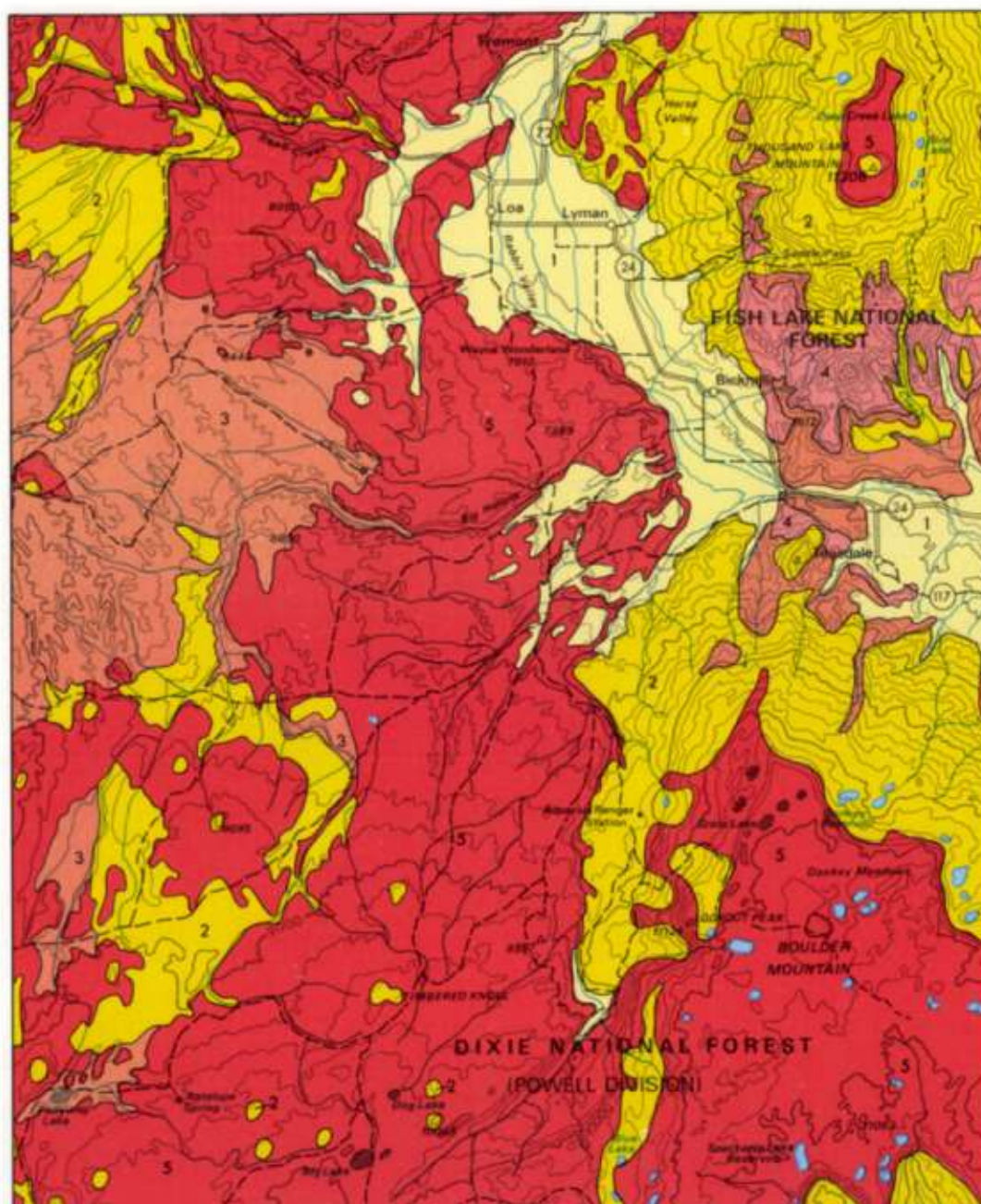
5.3.1 CARTES ANALYTIQUES À USAGE PARTICULIER

5.3.1.1 *Carte analytique à usage particulier, à petite échelle*

Carte de la facilité relative avec laquelle on peut faire des excavations, Utah (États-Unis), à l'échelle d'environ 1/200000.

Légende

1	Excavation très facile
2	Excavation facile
3	Excavation facile ou difficile, en raison de l'alternance de roches résistantes et de roches tendres
4	Excavation difficile
5	Excavation très difficile



Cette carte indique la facilité (ou la difficulté) relative avec laquelle on peut faire des excavations dans les roches et les dépôts de surface. Par suite des changements technologiques rapides et de la variabilité locale considérable de nombreuses unités de roches, il n'est pas possible de classer les unités de roches en catégories précises selon le type d'outillage nécessaire pour les creuser. Mais on peut indiquer d'une manière générale que les unités de roches classées comme «très faciles et faciles» peuvent dans la plupart des cas être creusées par des outils à main et un matériel léger tel que rétrocasseuses et petits bulldozers; les unités de roches classées de «faciles à difficiles» exigent des explosifs et/ou un matériel lourd tel que défonceurs et gros bulldozers pour les roches résistantes, et des outils à main ou un matériel léger pour les roches tendres; les unités classées comme «difficiles et très difficiles» exigent probablement l'emploi d'explosifs et d'un matériel lourd.

Les unités d'excavation représentées sur cette carte sont fondées sur les unités cartographiques de la feuille géologique Salina (Utah). Lorsque le bedrock est recouvert de dépôts superficiels minces non représentés sur la carte, la facilité d'excavation qui est indiquée est celle du bedrock et non celle du dépôt superficiel mince; lorsque les dépôts superficiels sont représentés sur la carte, la facilité d'excavation indiquée est celle de ces dépôts.

Commentaire

Cette carte, choisie comme exemple d'une carte analytique spéciale à petite échelle, appartient à une série de cartes établies pour la même région à l'échelle de 1/250 000. La carte I-591 (feuille 1 de deux feuilles) est un type standard de carte géologique avec une légende descriptive détaillée concernant les formations de surface et les formations consistantes. Elle sert à souligner les rapports étroits qui existent entre la structure, la stratigraphie et la carte dérivée relative à la «facilité d'excavation» dont on donne un exemple ici.

D'autres cartes complémentaires de la série montrent comment on peut utiliser des courbes de niveau structurales (carte I-591, feuille 2 de deux feuilles). Des cartes hydrologiques et hydrogéologiques comprennent: la carte I-591-D, qui représente les précipitations moyennes annuelles et mensuelles dans la feuille Salina; la carte I-591-F, eaux de surface; la carte I-591-G, sources; la carte I-591-K, qualité chimique générale des eaux souterraines; la carte I-591-M, disponibilité générale des eaux souterraines; et la carte I-591-N, bassin de drainage et crues d'orage attestées historiquement. D'autres cartes spécialisées comprennent: la carte I-591-E, qui indique la durée de la saison où il ne gèle pas, et la carte I-591-H, qui montre la répartition des différents types de bedrock et de dépôts superficiels. Cette dernière est une carte lithologique indiquant 21 groupements lithologiques avec de brèves descriptions, alors que la carte géologique décrit 83 formations et autres types lithostratigraphiques. Dans l'ensemble, la carte H est une version simplifiée de la carte géologique principale et elle montre la différence qui existe entre les cartes lithologiques et les cartes lithostratigraphiques.

Cette carte choisie comme exemple a été redessinée d'après une partie de la carte de P. L. Williams (1972), *Map showing relative ease of excavation in the Salina Quadrangle, Utah*, U.S. Geological Survey. (Folio of the Salina Quadrangle, Utah, map I-591-J.)

5.3.1.2 *Carte analytique à usage particulier, à moyenne échelle*

Carte, au 1/35 500, de l'aptitude des sols aux fondations (près de Marseille, France).

Commentaire

La carte complète, couvrant une surface d'environ 1 000 kilomètres carrés, indique l'aptitude générale des sols aux fondations (force portante) pour des profondeurs de 0-3 mètres, 3-6 mètres et 6-9 mètres. Les sols des trois couches ont été classés en bons ou très bons (BTB) en vert, bons dans l'ensemble (B) en jaune, mauvais localement médiocres (M) en rouge, et très mauvais et remblai (TM) en violet.

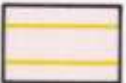
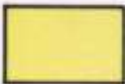
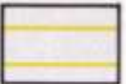
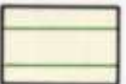
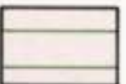
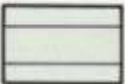
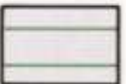
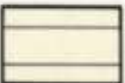
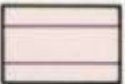
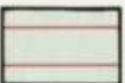
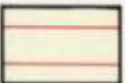
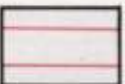
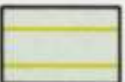
Aucune précision documentaire n'est fournie et on ignore si cette carte repose sur des essais physiques et mécaniques ou sur une description lithologique des roches. Les isopièzes de la nappe de la Crau sont reportées sur la carte complète; ce sont les seules données hydrogéologiques qui sont indiquées (Sanejouand, 1972, p. 32).

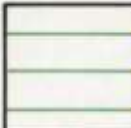
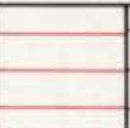
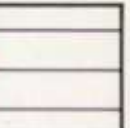


La distinction de quatre qualités de sol et de trois couches de terrain rend théoriquement possible la représentation sur la carte de soixante-quatre types de zones différents. Bien que le système cartographique adopté soit très souple, on peut se demander s'il est réaliste de porter un jugement global sur des couches d'épaisseur constante et si la petite échelle de la carte justifie la distinction entre trois couches de terrain. En outre, la carte imprimée n'est pas particulièrement lisible. Toutefois, la méthode adoptée pour résoudre le problème cartographique n'est pas sans intérêt dans la mesure où elle pourrait généralement s'appliquer dans des situations appropriées.

Reproduction d'une partie de la carte au 1/50000 du Bassin de la Crau et étang de Berre: carte d'aptitude des sols aux fondations, établie en 1969 par le Laboratoire régional des ponts et chaussées de Marseille pour l'Organisation régionale d'étude d'aire métropolitaine (Bouches-du-Rhône).

Légende

	Bon ou très bon : BTB de 0 à 9 m		B jusqu'à 3 m et M de 3 à 9 m		B jusqu'à 6 m et BTB de 6 à 9 m
	Bon dans l'en- semble: B de 0 à 9 m		B jusqu'à 3 m et TM de 3 à 9 m		B jusqu'à 6 m et M de 6 à 9 m
	Mauvais, locale- ment médiocre: M de 0 à 9 m		BTB jusqu'à 3 m et B de 3 à 9 m		B jusqu'à 6 m et TM de 6 à 9 m
	Très mauvais et remblai: TM de 0 à 9 m		BTB jusqu'à 3 m et M de 3 à 9 m		BTB jusqu'à 6 m et B de 6 à 9 m
	TM jusqu'à 3 m et BTB de 3 à 9 m		BTB jusqu'à 3 m et TM de 3 à 9 m		BTB jusqu'à 6 m et M de 6 à 9 m
	TM jusqu'à 3 m et B de 3 à 9 m		TM jusqu'à 6 m et BTB de 6 à 9 m		BTB jusqu'à 6 m et TM de 6 à 9 m
	TM jusqu'à 3 m et M de 3 à 9 m		TM jusqu'à 6 m et B de 6 à 9 m		
	M jusqu'à 3 m et BTB de 3 à 9 m		TM jusqu'à 6 m et M de 6 à 9 m		
	M jusqu'à 3 m et B de 3 à 9 m		M jusqu'à 6 m et BTB de 6 à 9 m		
	M jusqu'à 3 m et M de 3 à 9 m		M jusqu'à 6 m et B de 6 à 9 m		
	B jusqu'à 3 m et BTB de 3 à 9 m		M jusqu'à 6 m et TM de 6 à 9 m		

	BTB	B	M	TM
0,00 m à 3,00 m				
3,00 m à 6,00 m				
6,00 m à 9,00 m				

5.3.2 CARTES SYNTHÉTIQUES À USAGE PARTICULIER

5.3.2.1 Carte synthétique à usage particulier, à petite échelle

Carte, à l'origine au 1/265 000 environ, du «corridor du Nord-Est» entre Washington, D.C., et Boston (États-Unis), établie pour la planification des transports.



Légende

Les unités cartographiques sont basées sur la lithologie et n'impliquent aucune succession stratigraphique. Voir p. 55 et 56 pour les descriptions détaillées et les propriétés mécaniques.

-  Coulees basaltiques, diabases en dykes, et sills
-  Surtout grès rouge et schiste argileux à conglomérat
-  Surtout schiste argileux rouge
-  Roche verte
-  Micaschiste à grains fins, chloritoschiste, phyllade avec passées interstratifiées de quartzite micacé
-  Micaschiste et gneiss micacé, moyennement à grossièrement cristallin



Quartzite, avec conglomérat, schiste et gneiss interstratifiés

Roches massives granitiques ou gneissiques. Composition comprise entre diorite quartzifère et granite

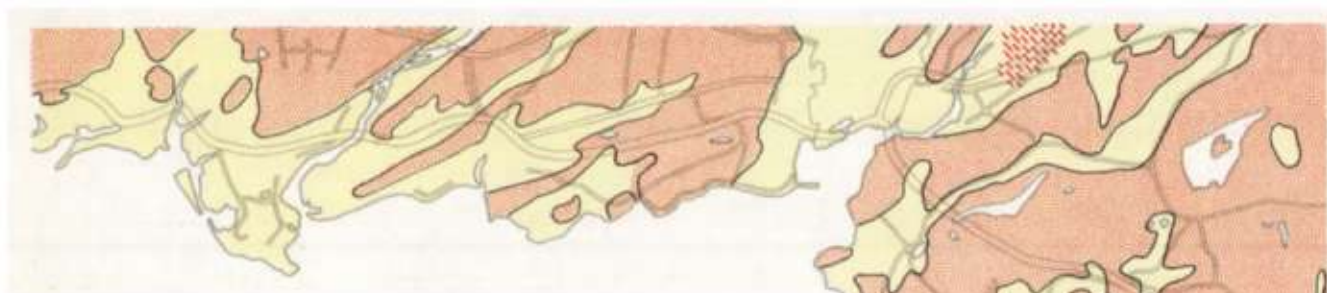
Gneiss feuilleté. Fortement lité; les lits ont une composition très diversifiée. La minéralogie dépend du degré de métamorphisme. On peut y trouver les roches suivantes: amphibolite interstratifiée, granulite à hypersthène, gneiss à quartz-plagioclase, gneiss à biotite-quartz-feldspath, micaschiste, roche verte et felsite schisteuse

Amphibolite, amphibolite à épidote, et métagabbro régulièrement feuilleté

Contact

Faillle

Traits interrompus lorsque la localisation est approximative



Légende

-  Argile à blocs sur bedrock. Moraine de fond relativement jeune
-  Sable et gravier. Dépôts glaciaires stratifiés et alluvions dans les vallées
-  Silt ou argile dans les dépôts de surface ou sous les dépôts de surface
-  Contact

Commentaire

L'illustration reproduit une petite partie de la feuille 4 d'une carte à cinq coupures du «corridor du Nord-Est» entre Washington (D.C.) et Boston (Mass.), établie en 1967 par le United States Geological Survey à la demande du United States Department of Transportation. La carte est publiée à l'échelle de 1/250 000.

La section supérieure de la carte représente la géologie du bedrock; la partie inférieure, la plaine côtière et la géologie de la surface. Un document divisé en trois parties (carte I-514) comprend une carte de la géologie du bedrock avec coupes géologiques (carte I-514-A, feuilles 1 à 5), un tableau

des descriptions géologiques et des caractéristiques techniques de chaque unité géologique cartographiée (feuille 6), une carte indiquant l'origine des données (feuille 7) et une liste des références bibliographiques supplémentaires. La carte I-514-B contient des renseignements sur la plaine côtière et les dépôts superficiels, et la carte I-514-C des données sur les épicentres de séismes, les gradients géothermiques et les excavations et sondages principaux qui ont permis de recueillir des données techniques (carte de documentation) dans le «corridor du Nord-Est».

On a reproduit ci-après des exemples de présentation synoptique des caractéristiques géologiques et mécaniques d'une unité cartographique du bedrock et d'une unité cartographique des dépôts superficiels.

UNITÉ CARTOGRAPHIQUE DU BEDROCK

Description géologique

Unité cartographique. Amphibolite, amphibolite à épidote et gabbro métamorphisé.

Unité géologique équivalente¹. Gneiss de Baltimore (partiellement); formation de Brimfield (partiellement); gneiss de Glastonbury (partiellement); roches volcaniques de Maltby Lakes (partiellement); formation de Marlboro (partiellement); formation de Middleton (partiellement); gneiss de Putnam (partiellement); formation de Tatnic Hill (partiellement); unités non désignées.

Lithologie. Amphibolite, schiste amphibolique, gneiss amphibolique, gneiss à hornblende, massif ou lité, dur, résistant; localement métagabbroïque. Formant de vastes et épaisses strates, lentilles ou lentilles allongées. Présence fréquente d'épidote; abondance de gneiss amphibolique riche en épidote, et lentilles allongées d'épidote; comprend de vastes et épaisses strates riches en grenats rouge clair à rose. Par endroits, schisteuse vers les marges; localement intrusion de dykes de diorite quartzifère.

Structure. Structure variable; de massive à gneissique. Les grands massifs sont rarement plissés, alors que les petits ou les massifs lités présentent généralement des plis complexes. Présence constante de diaclases, mais avec un espacement très variable.

Altération due aux agents atmosphériques. Se désagrége en donnant une argile rouge collante au sud-ouest de la zone soumise aux glaciations; presque sans altération dans la zone soumise aux glaciations.

Topographie. Collines ou basses montagnes; accidentées par endroits, en particulier à proximité des cours d'eau.

Propriétés physiques²

Densité sèche (tonne par mètre cube). 3–3,2.

Résistance à la compression³. Bonne à très bonne.

*Caractéristiques techniques**Évaluation de la roche pour la construction⁴*

Module d'élasticité de Young⁵. Bon à très bon.

Facilité de forage⁶. 2.

Caractéristiques des excavations. Éboulements moyens à importants selon la direction de la fouille par rapport aux principaux systèmes de diaclases. Charge utile de la roche le plus souvent faible. Possibilité de gonflement dans les zones de cisaillement humides. Contient des minéraux fibreux qui peuvent ralentir le travail d'une sondeuse.

Conditions hydrologiques

Caractéristiques hydrologiques importantes. Présence d'eau dans la zone d'altération à faible profondeur, probablement peu au-delà de 45 mètres. Débit maximal dans les zones faillées.

Perméabilité. Secondaire. Fracturation primaire; altération chimique.

Profondeur des puits. Chiffres extrêmes: 10–230 mètres; moyenne: 47 mètres.

Débit des puits⁷. Valeurs extrêmes: 0,03–10 litres; moyenne: 0,75 litre.

1 La nomenclature stratigraphique utilisée dans le présent rapport est celle qui figure dans les différentes sources de données et elle ne correspond pas nécessairement à celle du Service géologique (Geological Survey) des États-Unis d'Amérique.

2 Les données physiques ne sont disponibles que pour quelques unités de roches; lorsqu'elles font défaut, les propriétés physiques sont déduites par comparaison avec celles des roches situées ailleurs qui présentent une composition, une structure et une histoire géologique analogues.

3 La classification s'applique à la résistance à la compression uniaxiale de la roche intacte. La résistance est réduite par des défauts physiques ou par une altération chimique de la roche; elle peut varier en fonction de la stratification, de la foliation ou de la direction de la contrainte résiduelle principale.

Classe de résistance	Échelle des valeurs de résistance à la compression (kgf/cm ²)
Très bonne	> 2200
Bonne	1100–2200
Moyenne	550–1100
Faible	280–550
Très faible	< 280

4 Les caractéristiques de construction signalées sont en nombre limité. Les évaluations des unités de roches sont, pour la plupart, déduites d'après les conditions généralisées de la structure, de l'altération, de l'hydrologie et de l'état des contraintes. Certaines conditions peuvent changer sur de courtes distances. Les évaluations techniques plus élaborées doivent se fonder sur une connaissance plus détaillée des conditions géologiques.

5 Déduit pour la roche intacte. Le module est réduit par les défauts physiques et l'altération chimique de la roche; il varie en fonction de la stratification, de la foliation ou de la direction de la principale contrainte résiduelle.

Classe du module	Échelle des valeurs du module statique d'élasticité (kgf/cm ²)
Très bon	> 8,4 × 10 ⁵
Bon	5,6 × 10 ⁵ –8,4 × 10 ⁵
Moyen	2,8 × 10 ⁵ –5,6 × 10 ⁵
Faible	7 × 10 ⁴ –2,8 × 10 ⁵
Très faible	< 7 × 10 ⁴

6 Le nombre 1 indique la roche la plus difficile à forer. Les nombres augmentent avec la facilité du forage.

7 Les données relatives au débit des puits qu'on a utilisées ici correspondent aux puits qui exploitent à des usages domestiques ou industriels le potentiel maximal de l'aquifère.

UNITÉ CARTOGRAPHIQUE DES DÉPÔTS SUPERFICIELS

Description géologique

Symbole et désignation. Qt. Moraine de fond relativement récente.

Lithologie. Argile à blocs (Till – GM, GC, SM)¹: principalement mélange non trié d'argile, de silt, de sable, de gravier et de blocs. Variantes depuis un matériau moyennement argileux, cohérent, enrobant des cailloux des galets et des blocs (argile à blocs) jusqu'à un sable d'une granulométrie continue avec gravier, galets, blocs et petit silt provenant essentiellement du bedrock voisin. Stratification généralement absente, faible à grossière lorsqu'elle existe. Généralement très compacte, ferme et friable; les premiers mètres peuvent être relativement meubles. La couleur varie selon l'altération (oxydation) et selon la couleur de la roche mère dominante. Généralement grise lorsqu'il n'y a pas d'altération; jaune clair à brune lorsqu'il y a oxydation; brun rougeâtre dans les zones où le bedrock est de cette couleur. Par places contient de minces lentilles de sable et de gravier, ou en est recouverte. Recouverte de nombreux petits marécages sans profondeur, fangeux ou tourbeux, et de cours d'eau à alluvions postglaciaires qui ne sont pas indiqués sur la carte. Localement discontinue; de nombreux affleurements du bedrock à l'intérieur de l'unité ne sont pas représentés.

Épaisseur. Très irrégulière, généralement inférieure à 7 mètres. Unité ordinairement mince ou absente sur les crêtes des collines et le long des principaux escarpements, sur les versants l'épaisseur atteint 15 mètres ou davantage sur les pentes inférieures. Dans les drumlins, elle peut atteindre 45 mètres ou davantage.

Altération. L'oxydation affecte la partie supérieure (1 à 18 mètres), mais la plupart des pierres ne sont pratiquement pas altérées.

Topographie. Pratiquement partout un manteau recouvre la surface du bedrock. Une argile à blocs exceptionnellement épaisse forme le soubassement de collines modelées, appelées drumlins, qui peuvent atteindre 45 mètres de hauteur; quelques drumlins contiennent un noyau rocheux.

Caractéristiques techniques

Évaluation de la roche pour la construction

Aptitudes aux fondations². La capacité portante est généralement bonne en raison de la densité élevée et du triage grossier. Dilatation négligeable.

Caractéristiques des excavations. Fouilles généralement faciles à moyennement difficiles avec un outillage mécanique. Les excavations dans une moraine de fond très compactée (cuisse), ou très résistante et caillouteuse, peuvent présenter des difficultés sans outillage spécial.

Stabilité des talus³. Les talus dépassant 12 mètres de hauteur nécessitent généralement une analyse particulière de la stabilité. Pour les pentes plus faibles, de 1,5 pour 1 jusqu'à 2 pour 1, la stabilité est particulièrement considérée comme sûre. Parois verticales jusqu'à 4,5 mètres courantes, en particulier dans une moraine de fond argileuse plus cohérente.

Conditions hydrologiques générales ^{4,5}

Caractéristiques hydrologiques importantes. Les puits creusés peuvent fournir de petites quantités d'eau à usage domestique.

L'unité joue le rôle de toit imperméable pour certains aquifères du bedrock.

Débit des puits. Valeurs extrêmes: 0,05–1 litre par seconde; moyenne: 0,4 litre par seconde.

Coefficient de perméabilité. Valeurs extrêmes: 0,8–160 litres par mètre carré par jour; moyenne: —.

Capacité spécifique⁶ (litres par minute par mètre). Valeurs extrêmes: —; moyenne: —.

Conditions de la nappe ⁴

Porosité efficace⁷. 5–17%.

Volume d'eau libre⁸. 60–210 litres par mètre cube.

Perméabilité de la fouille⁹. 5,5–190 litres par mètre carré par jour.

1. Unified Soil Classification System adopté par le Corps of Engineers, U S Army, *The Unified Soil Classification System*, Waterways Experimental Station, Vicksburg, Miss., 1953, vol 1, 30 p, 9 pl, vol 2, 11 p, 1 pl (Tech memo. 3-357.) D'après la granulométrie, la gradation, la plasticité et la compressibilité du sol. Les symboles affectés sont approximatifs et reposent sur des données expérimentales limitées.

2. Capacité portante (valeurs numériques en bars) et qualification correspondante: très faible, moins de 1, faible, 1–4, passable, 4–8, bonne, 8–31, excellente, supérieure à 31. Compressibilité diminution de volume d'une masse du sol sous l'effet d'une charge extérieure. Dilatation: augmentation de volume en fonction de la charge, du temps, de la densité, de la teneur en eau et du type des minéraux argileux.

3. Pentes des fouilles (en degrés) et qualification correspondante verticale, 90, presque verticale, 80–89, raide, 45–80, modérée, 30–45, faible, 0–30.

4. Les données relatives au débit des puits qu'on a utilisées ici correspondent aux puits qui exploitent au maximum l'aquifère à des usages domestiques ou industriels.

5. Les données figurant sous la rubrique des conditions générales doivent servir aux calculs concernant les aquifères artésiens dans les travaux en souterrain ou les fouilles profondes où il ne sera pas toujours possible d'éliminer la charge hydrostatique.

6. La capacité spécifique est le débit exprimé en fonction de l'unité de rabattement. Les données utilisées sont choisies de manière à représenter les conditions d'une exploitation optimale des puits, elles reflètent donc les caractéristiques de l'aquifère.

7. Rapport entre le volume d'eau qu'une roche ou un sol saturé libère par gravité et le volume de cette roche ou ce sol, il est exprimé en pourcentage. Les valeurs figurant dans ce tableau ont été déterminées ou estimées en laboratoire à partir de données acquises sur le terrain.

8. Litres par mètres cubes libérés par drainage par gravité.

9. Débit de l'eau en mètres cubes par seconde à travers une section transversale d'un mètre carré sous l'unité de charge hydraulique à la température de l'eau.

5.3.2.2 Carte synthétique à usage particulier, à moyenne échelle

Cartes au 1/2 300 environ de Herceg Novi (Tchécoslovaquie) montrant la lithologie (carte supérieure) et le microzonage sismique et la stabilité (carte inférieure) en vue de la planification urbaine.



Légende

Phénomènes géodynamiques:

- Escarpement en éboulis
- Limite supérieure des falaises littorales et limite de l'attaque des vagues

Phénomènes structuraux et tectoniques:

- Limite du complexe géotechnique
- Stratification, pendage et direction des couches
- Diacrise, pendage et direction des couches
- Faille, en tireté lorsqu'elle est présumée
- Faille mineure, en tireté lorsqu'elle est présumée
- Failles inverses, majeures et mineures, en tireté lorsqu'elles sont présumées



Légende

Terrain classé d'après la stabilité:

- Instable
- Instable, en partie stabilisé
- Risque d'instabilité
- Stable, sous réserve (la surface doit être à peu près horizontale)
- Stable

Autres symboles:

- Sondage d'exploration
- Échantillon pour analyse géomécanique
- Trace du transecte de la résistivité électrique
- Trace du profil de réfraction sismique

Composition lithologique et quelques propriétés importantes des complexes géotechniques (carte supérieure):

 Calcaire et chert. Calcaire avec couches et lentilles de chert, de roche silico-marneuse silicifiée et d'argile indurée. Le calcaire se présente en couches minces ou épaisses, tectoniquement plus fracturées; karstification assez faible, porosité allant de «fissuré» à «caverneux», perméabilité irrégulière.

 Roches carbonatées — sans subdivision. Calcaire avec dolomie sous-jacente, calcaire dolomitique, calcaire sableux et marneux. Assez résistant du point de vue mécanique, karstification considérable, caverneux à fracturé, le plus souvent facilement perméable. Chutes de pierres et éboulis sur les pentes raides.

 Flysch et roches flyschoides. Calcaire marneux, conglomérat, grès, roche silico-marneuse, argile indurée et types de transition, qui apparaissent assez irrégulièrement. Altération de la structure en plaquettes, finement litée qui devient feuilletée, rarement dans le sens d'un épaississement des strates. Plissé et fracturé. En surface, altération due aux agents atmosphériques et à l'érosion; les fractures entraînent une porosité et une perméabilité irrégulières.

 Éboulis. Débris pierreux carbonatés, sable et argile avec fragments et blocs de calcaire. Les éboulis ont des propriétés physiques diverses et sont sujets à l'érosion et à la dénudation, aux glissements de terrain, etc.; inégalement consolidés, médiocrement régularisés et compactés, porosité et perméabilité irrégulières.

 Dépôts des cours d'eau torrentiels. Gravier, sables et argiles, surtout matériaux carbonatés. Matériaux de granulométrie diverse, médiocrement lités et consolidés, à perméabilité irrégulière. Épaisseur variable; contiennent des matières organiques.

 Dépôts littoraux. Blocs, graviers et sables, localement avec argile; près de la côte, l'argile prédomine. Les dépôts ont une granulométrie diverse, ils sont mal compactés, en grande partie saturés d'eau.

 Dépôts alluviaux des plages. Silts et argiles, rarement sableux et graveleux; quelques débris de flysch altéré. Dépôts de granulométrie diverse, médiocrement lités, le plus souvent compressibles, sédiments saturés présentant des propriétés physiques diverses.

 Dépôts colluviaux. Très hétérogènes, surtout débris grossiers avec blocs. Médiocrement régularisés, saturés d'eau souterraine saisonnièrement, irrégulièrement perméables et sujets à de continus glissements de terrain.

Carte de microzonage sismique (carte inférieure):

 Partie des complexes de roches carbonatées et de calcaires à chert, modérément perturbée tectoniquement ou dans une zone de fortes pentes ($K = 0,05$).

 Parties des complexes de roches carbonatées et de calcaires à chert plus fracturées et plus perturbées tectoniquement, où il risque d'y avoir des chutes de grands blocs ($K = 0,06$).

 Complexe de flysch et de roches flyschoides, de petites masses isolées de roches carbonatées sur flysch, ainsi que de matériaux semi-cohérents à incohérents fortement consolidés dans la zone d'altération superficielle ($K = 0,08$).

 Parties bien consolidées des dépôts de pente, bien régularisés et perméables, et dépôts proluviaux et alluviaux où la nappe se trouve à plus de 2 mètres de profondeur ($K = 0,10$).

 Parties médiocrement régularisées et le plus souvent imperméables d'éboulis sur des pentes de plus de 12° , et parties de dépôts torrentiels et fluviaux de composition très hétérogène, la nappe se trouvant à moins de 2 mètres de profondeur ($K = 0,12$).

 Dépôts littoraux très compressibles et saturés et dépôts colluviaux de perméabilité diverse ($K = 0,12$).

Note: K = coefficient de sismicité.

Commentaire

Sur une seule feuille en couleur, qui mesure 970×675 mm, sont juxtaposées deux cartes de la région à l'échelle de 1/25000. La première, dont une partie constitue ici l'illustration du haut, est une carte lithologique comprenant onze coupes transversales horizontales. La seconde, présentée en partie dans l'illustration du bas, est une carte de microzonage sismique sur laquelle les unités cartographiques sont définies en fonction du coefficient de sismicité. En surcharge, le terrain est classé selon sa stabilité.

La feuille comprend en outre une carte à petite échelle, au 1/100000, de classement sismique selon l'intensité maximale indiquant les épicentres pour la période 1853–1970. Des isolignes délimitent les zones d'intensité sismique différente pour la période 1667–1970.

Une section transversale à grande échelle montre une interprétation de la structure d'une zone déterminée soumise à de multiples glissements de terrain et les éléments à considérer dans les calculs de stabilité.

• La feuille des cartes constitue un exemple excellent de l'utilisation d'une légende descriptive détaillée, dont quelques extraits sont reproduits ici. Des signes conventionnels servent en outre sur la feuille publiée à représenter les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques.

Extrait de la *Carte géotechnique de la zone urbaine de Herceg Novy, Yougoslavie*, établie à l'échelle de 1/25000 par D. Gojic et M. Lazic, de l'Institut de recherches géologiques et géophysiques de Belgrade, 1971.

5.3.2.3 Carte synthétique à usage particulier, à grande échelle

Carte d'une aire de mine, à l'origine au 1/10000 et reproduite ici au 1/100000.

Commentaire

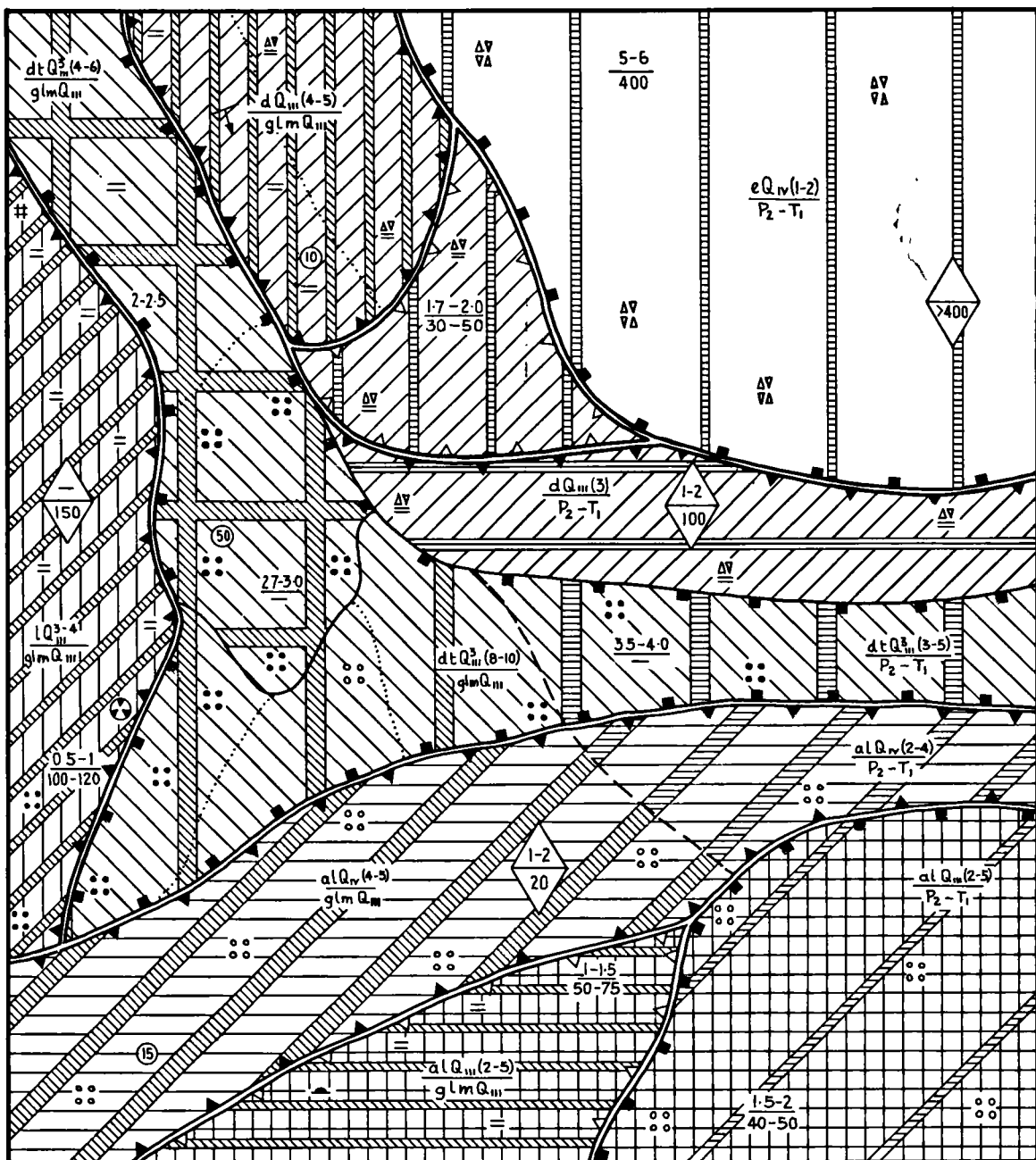
La carte reproduite ici indique les conditions géotechniques des strates de surface; elle est associée à une autre carte (Golodkovskaja et Demidyuk, 1970, fig. 2) qui renseigne sur les caractéristiques géotechniques du bedrock.

Cette carte d'une zone recouvrant un gisement minéral dans une région de pergélisol a servi pour la conception et la réalisation d'installations minières et industrielles, de villes, de routes, etc., liées à la mise en valeur du gisement. Elle indique l'âge et la genèse des gisements superficiels et sous-jacents, leur lithologie, leurs caractéristiques thermiques, la teneur en eau gelée (glace), les écarts de la température moyenne annuelle des roches, la profondeur du sous-sol gelé saisonnièrement ou en permanence, l'épaisseur de l'eau complètement ou partiellement gelée, l'épaisseur des dépôts qua-

ternaires et les processus et phénomènes géologiques contemporains. Elle présente aussi une évaluation de la région du point de vue de la construction.

Malgré l'abondance des symboles, la carte se comprend facilement dans cette version en noir et blanc; sa lisibilité pourrait être améliorée par l'utilisation de la couleur.

Du point de vue de la cartographie géotechnique, la carte illustre une application intéressante de la «méthode des bandes» (section 4.5) pour indiquer la nature des dépôts sur lesquels reposent les couches supérieures en association avec d'autres informations. La plus grande densité des bandes (symboles 7 et 8) illustre la répartition des roches du Quaternaire supérieur marin et du Permo-triasique; la direction et la largeur des bandes (symboles 9 à 12) indiquent les écarts annuels moyens de température des roches; et les trois espacements différents des bandes (symbole 13, appliqué ici à titre d'exemple au symbole 11a, mais applicable à toute la série des symboles de 9 à 12 comme on le voit sur la carte) indiquent la teneur en eau gelée (glace) des roches.



Une carte de ce genre présente le degré limite de complexité et devrait être accompagnée de cartes hydrogéologiques et topographiques complémentaires (2.3.2.4) et de cartes auxiliaires indiquant par exemple la composition et l'épaisseur des dépôts superficiels (2.3.2.3).

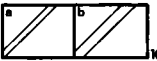
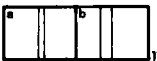
La version originale de cette carte constitue la figure 1: «Montage of engineering and geological map of Quaternary deposits with elements of territorial engineering and geological evaluation for ground construction» (Montage de la carte géotechnique des dépôts quaternaires avec des éléments d'évaluation géotechnique du territoire à des fins de construction), qui accompagne la communication de G. A. Golodkovskaja et de L. M. Demidyuk, «Problèmes de la cartographie géotechnique des gîtes minéraux dans la zone de pergélisol», *Comptes rendus du premier Congrès international de l'Association internationale de géologie de l'ingénieur, Paris, 1970*, vol. 2, p. 1049–1068. La version publiée ici a été remaniée et légèrement modifiée.

Légende ¹

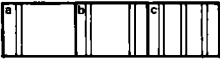
Types génétiques et âge des dépôts:

- | | |
|--|--|
|  | Éluvial, contemporain (eQ _{IV}) |
|  | Alluvions récentes (alQ _{IV}) |
|  | Deltaïque, Quaternaire supérieur (dtQ _{III}) |
|  | Alluvial, Quaternaire supérieur (alQ _{III}) |
|  | Diluvial, Quaternaire supérieur (dQ _{III}) |
|  | Lacustre, Quaternaire supérieur (lQ _{III}) |
|  | Glaciaire, Quaternaire supérieur marin (glmQ _{III}) |
|  | Volcanogénique Permien-Triasique (F ₂ -T ₁) |

Écart annuel moyen de la température des roches:

- | | |
|--|------------------------------|
|  | 0° à -1° |
|  | a) -1° à -2°
b) +1° à +2° |
|  | a) -3° à -4°
b) +3° à +5° |
|  | +5° à +7° |

Teneur des roches en eau gelée (glace):

- | | |
|--|---|
|  | a) Faible b) Moyenne c) Forte |
|--|---|

Lithologie:

- | | |
|---|--------------------------------------|
|  | Débris rocheux avec matrice de limon |
|  | Argile, limon avec débris rocheux |
|  | Sable à grains inégaux |
|  | Cailloux et matrice de sable |
|  | Argile |

Phénomènes géologiques récents:

- | | |
|---|---|
|  | Formation de fissures sous l'effet du gel |
|  | Gonflement |
|  | Fusion des intrusions de glace |
|  | Solifluxion |

Autres symboles:

- | | |
|---|---|
|  | Profondeur de la fusion saisonnière, en mètres (numérateur)
Profondeur du sol gelé en permanence, en mètres (dénominateur) |
|  | Profondeur jusqu'où l'eau est gelée (numérateur) |
|  | Épaisseur des dépôts quaternaires |
|  | Limites des températures |
|  | Limites des roches sous-jacentes |
|  | Limites lithologiques |

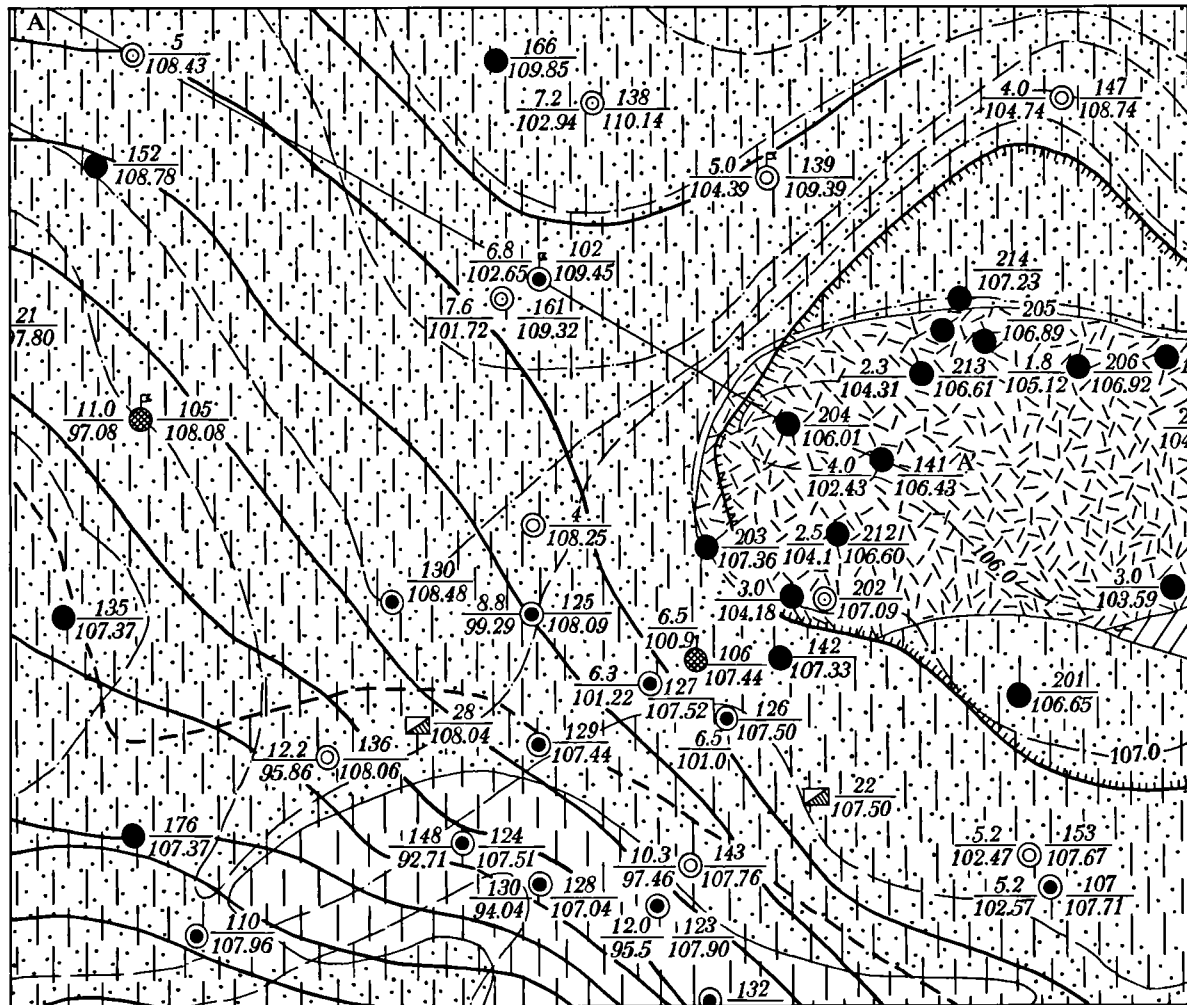
Limites des zones géotechniques:

- | | |
|---|--|
|  | Ne nécessitant aucune préparation technique spéciale |
|  | Nécessitant une préparation technique |
|  | Nécessitant une préparation technique très complexe |

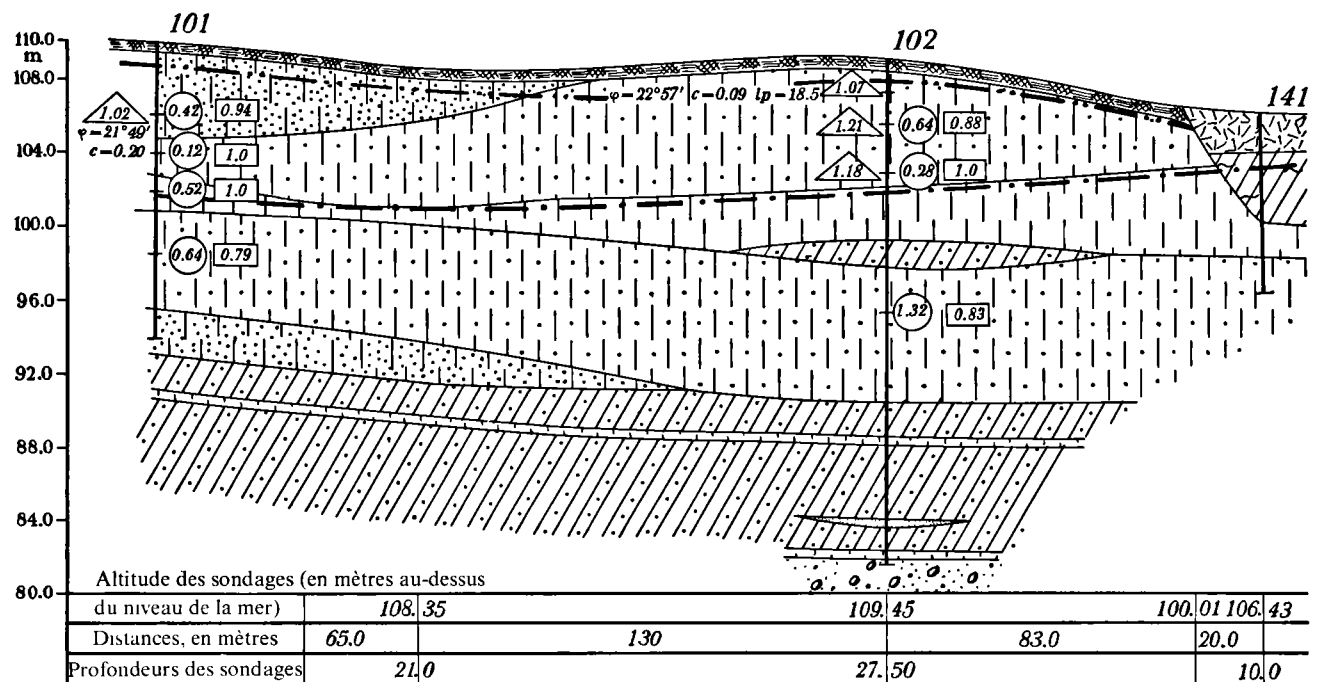
¹ Les symboles de la légende ont été réduits plus que les symboles équivalents de la carte.

5.3.2.4 Carte synthétique à usage particulier, à grande échelle

Échelle de la carte, environ 1/1550.



Coupe transversale géotechnique (avec indices de saturation, de consistance, de stabilité du loess, de résistance et de déformabilité)



Légende

	Sondages, 5-10 mètres de profondeur
	Sondages, 10-20 mètres de profondeur
	Sondages, 20-50 mètres de profondeur
	Sondages, plus de 50 mètres de profondeur
	Sondage avec observations à longue échéance de la nappe phréatique
	Sondage en vue d'essais de pompage
	Doline karstique ancienne
	Indice de consistance (d'après Makeev)
	Degré de saturation
	Coefficient «K» de macroporosité (dans les lèss)
	Angle de frottement interne
	Cohésion, kg.cm^{-1}
	Module de compressibilité en mm.m^{-1} (charge à 2 kg.cm^{-2})
	Isolignes de surface de la zone où les matériaux argileux ont une consistance plastique
	Niveau de la nappe phréatique
	Profil de sondages avec prélèvement d'échantillons pour essais de laboratoire
	Limite méridionale du Néogène
	Hydro-isolignes le 25 septembre 197, à des intervalles de 1 mètre
	Lignes indiquant les coupes géologiques
	Profondeur des eaux souterraines peu profondes (en mètres à partir de la surface)
	Altitude (au-dessus du niveau de la mer)
	Numéro du puits
	Altitude (au-dessus du niveau de la mer)
	Courbes de niveau de la surface (intervalles de 0,5 mètre)
	Sol superficiel
	Tourbe, brun grisâtre
	eQ ₃ Silt argileux, tourbeux, gris verdâtre
	Silt sableux, lèsssoide, brun jaunâtre
	Silt lèsssoide, brun jaune
	alQ ₂ Silt argileux, lèsssoide, brun jaunâtre
	Silt argileux, lèsssoide, gris
	Argile sableuse, gris verdâtre
	Conglomérat de base

Commentaire

La carte est accompagnée d'un modèle axonométrique à trois dimensions, et de tableaux des caractéristiques des unités rocheuses de la carte et des caractéristiques des secteurs géotechniques délimités.

Dans le tableau des caractéristiques des roches, chaque type géotechnique distinctif, représenté sur la carte et dans la coupe transversale, est décrit en détail du point de vue des propriétés lithologiques et de la classification technique (selon les normes de construction), des propriétés physiques (granulométrie, poids spécifique, densité apparente, porosité, teneur en eau naturelle, degré de saturation, limites de la plasticité, consistance, stabilité) et des propriétés mécaniques (angle de frottement interne, cohésion, module de compressibilité sous une charge de 2 et 4 kg.cm^{-2}).

Le tableau des caractéristiques des différents secteurs géotechniques présente les données suivantes: description du profil lithologique des sols de fondation, conditions hydro-géologiques, phénomènes géodynamiques, stabilité des matériaux, autres caractéristiques locales spéciales, ainsi que des recommandations techniques.

Il s'agit de l'une des premières cartes géotechniques qui aient été publiées et d'un premier essai qui est très proche, du point de vue des principes de base de la cartographie et de la présentation des données, des propositions formulées dans le présent guide. Établie en vue de l'étude technique d'une installation industrielle, la carte a été publiée à titre d'exemple de cartographie par I. V. Popov, R. S. Kats, A. K. Korikovskaya et V. P. Lazareva en 1950 dans leur ouvrage *Les techniques d'établissement des cartes géotechniques*.

Leur carte des conditions géotechniques, reproduite ici en noir et blanc, présente, sur l'original, une division territoriale en secteurs géotechniques que distinguait leur couleur.

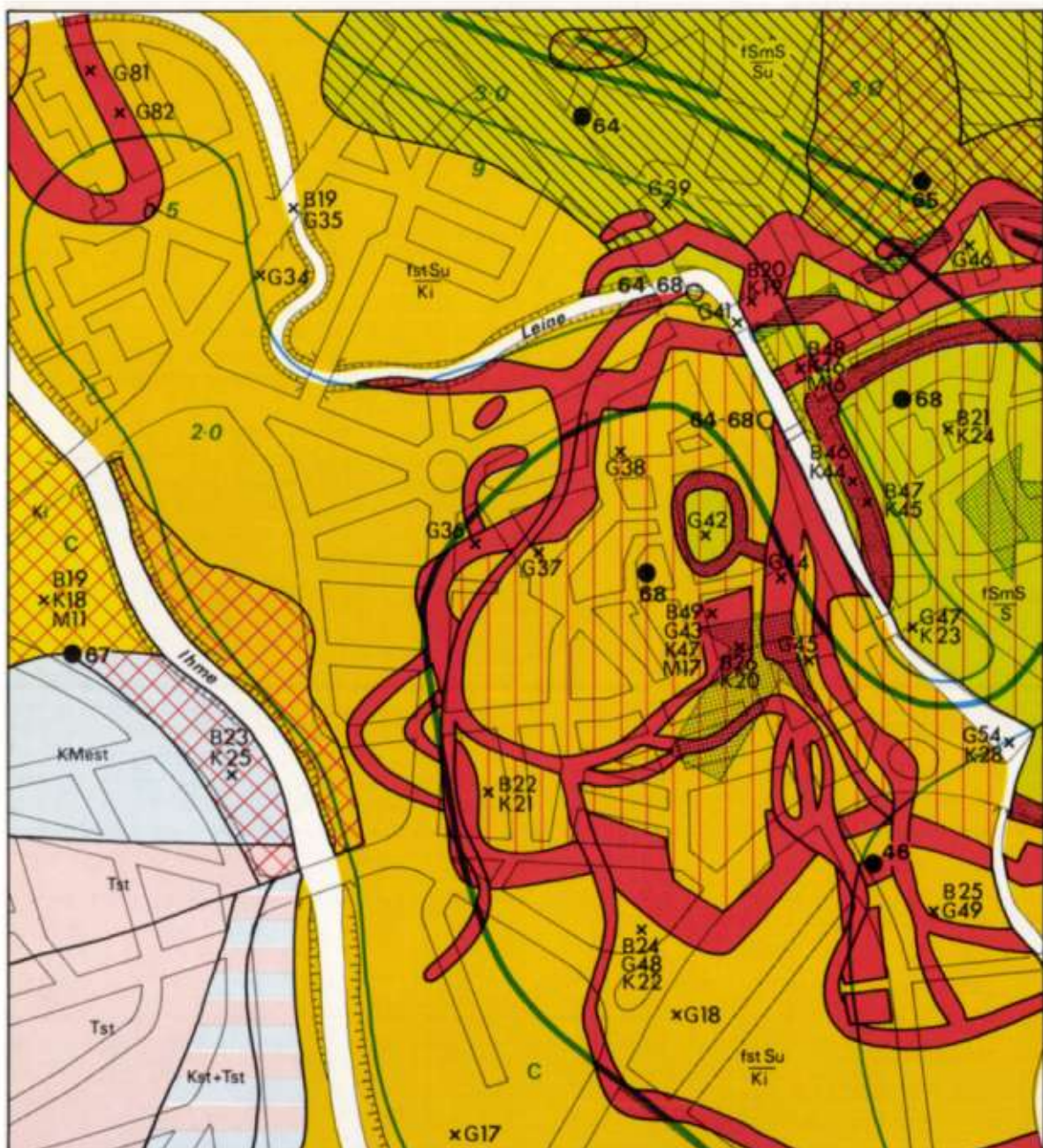
5.3.2.5 Carte synthétique à usage particulier, à grande échelle

Carte géotechnique de Hanovre, au 1/6 350.

Commentaire

Exemple typique d'une carte géotechnique urbaine établie à partir de nombreux sondages d'exploration et autres observations faites près de la surface. Une attention particulière est accordée aux zones de remblai artificiel et aux dépôts superficiels naturels qui présentent de l'importance pour les techniques de fondation. Les conditions géologiques et hydrogéologiques, tant naturelles que dues à l'action de l'homme, sont également indiquées.

Parties des feuilles géotechniques (1/10000) et hydrogéologiques (1/20000) de la nouvelle carte géotechnique de Hanovre, 1970, combinées ici dans une feuille unique simplifiée à l'échelle du 1/6 350.



Légende



Remblayage de l'ancien fossé entourant la ville (environ 1550–1580)



Méandre abandonné de la Leine, étangs et fossés des fortifications, envasés en partie remblayés



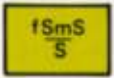
Berge, sol de décharge mal compacté



Mince couche de remblai dans l'ensemble de la vieille ville



Graviers (de 2 m à 3 m d'épaisseur), avec lentilles plus ou moins nombreuses à nombreuses de sable fin ou grossier avec graviers fins ou moyens (sable fluvio-glaciaire), secs ou humides, ronds ou anguleux, de lithologie diverse



Sable fin avec un peu de sable moyen (jusqu'à 2 m d'épaisseur, rond et de granulométrie uniforme: sable de dune) recouvrant généralement un sable alluvial, le plus souvent sec



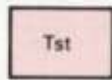
Limon alluvial, sable fin avec argile (jusqu'à 5,5 m d'épaisseur), le premier mètre à partir de la surface étant généralement argileux avec dépôts de tourbe (jusqu'à environ 1 m) et de boue sapropélique (jusqu'à 1,2 m d'épaisseur) sur graviers



Sable fin avec un peu de sable moyen sur limon alluvial



Calcaire marneux, compact, largement diaclasé, diaclases en partie aquifères; formant localement des dalles, Kca 1+2 (Campanien, Crétacé supérieur) sur la carte géologique



Siltite compacte (en couches uniformes de plus de 100 m d'épaisseur), avec une couverture de sol non consolidé, la partie supérieure (1 à 2 m) étant constituée essentiellement d'argile plastique raide, amollie, généralement largement diaclasée



Point d'échantillonnage pour analyse granulométrique (K), analyse minéralogique (M) et étude de mécanique des sols (B)



Étude du site



Courbe isopièze la plus haute connue, avec hauteur en mètres au-dessus du niveau de référence, sur la base de nombreuses années d'observation dans de bonnes couches aquifères, généralement dans des sables et des graviers en partie interstratifiés avec du limon et des argiles



Isopièzes approximatives



Ancien canal principal de drainage, utilisé seulement occasionnellement pour le drainage



Épaisseur, ou somme des épaisseurs, des strates aquifères



Puits d'observation (depuis 1941)



Puits d'observation (1943–1964)



Sens d'écoulement de la nappe



Site d'échantillonnage pour l'analyse des eaux souterraines

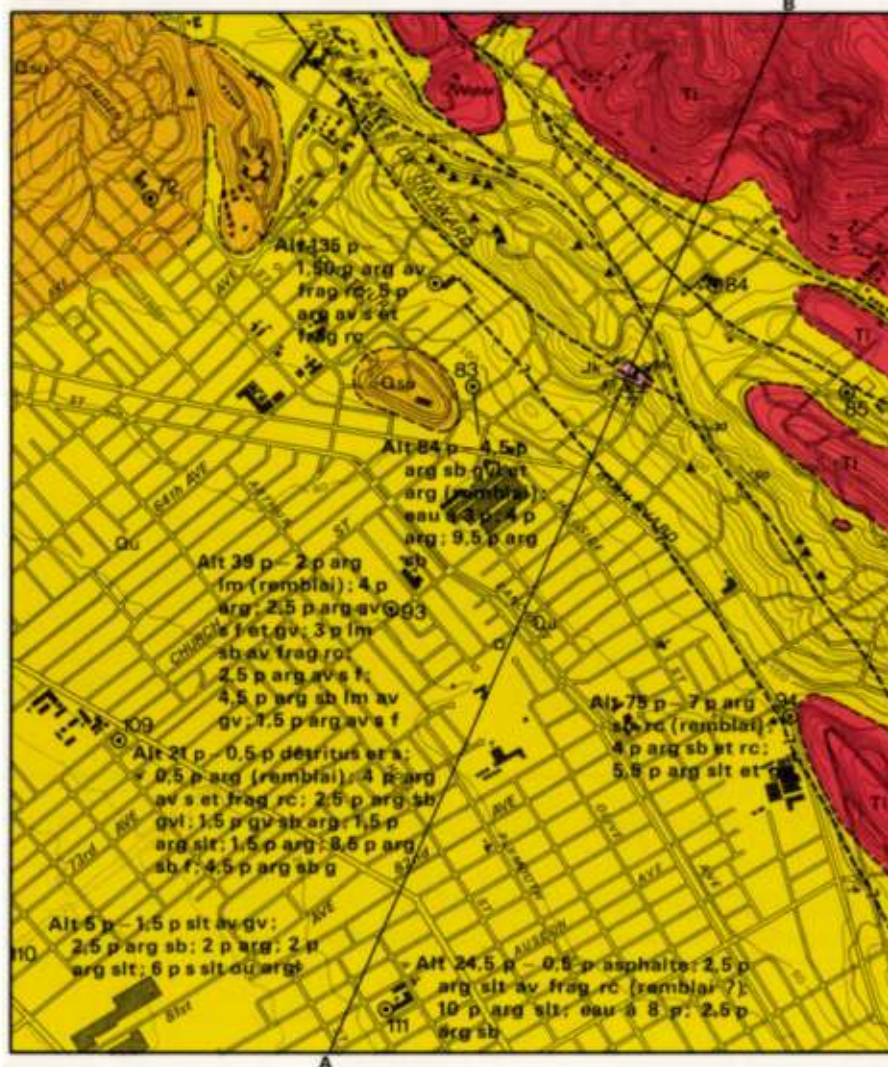
5.4 Cartes géologiques explicatives

5.4.1 CARTE GÉOLOGIQUE EXPLICATIVE À MOYENNE ÉCHELLE

Légende

	Pléistocène	Qu	Dépôts quaternaires non différenciés
		Qsu	Formation de San Antonio. Partie supérieure; argile, silt, sable et graviers
	Pliocène(?)	Tl	Rhyolite de Leona
	Jurassique supérieur	Jk	Formation de Knoxville. Schiste argileux, grès et conglomérat mineur

La carte a été redessinée et légèrement simplifiée d'après la carte GQ-769, *Carte géotechnique et superficielle de la feuille Oakland East (Californie)*, par Dorothy H. Radbruch, 1969, U.S. Geological Survey, Washington, D. C. Une notice explicative accompagne la carte. La carte est reproduite ici au 1/20000.



Explications

	Contact. En tireté lorsque la localisation est approximative; limite des couleurs sans ligne de contact lorsqu'elle est hypothétique
	Faïlle avec indication du pendage. En tireté lorsque la localisation est approximative; avec points d'interrogation lorsqu'elle est probable
	Direction et pendage des couches
	Disposition approximative des couches déterminées d'après des photographies aériennes

▲ Glissement de terrain

Ce symbole marque le lieu approximatif du glissement. Il n'y a pas de rapport entre la taille du symbole et l'étendue du glissement. Les glissements indiqués sur la carte témoignent des anciennes ruptures de pente et ne constituent pas en soi la preuve d'une instabilité actuelle ou future des pentes.

Chaque glissement indiqué sur la carte était bien déterminé et facilement observable au moment de l'étude; mais tous les glissements de la région ne figurent pas sur la carte. Par conséquent, bien qu'il existe un glissement de terrain (sauf s'il a été supprimé depuis à la suite de travaux de construction) à chaque point où la carte en indique un, il ne s'ensuit pas qu'il n'y en ait pas ailleurs.

83 ⊙ Site de forage

Les relevés de forage sont indiqués sur la carte lorsque cela a été possible; dans le cas contraire, lorsque la place a manqué, ils sont donnés ci-dessous. Les abréviations utilisées dans les relevés sont expliquées ci-dessous.

Le numéro du point ci-dessous renvoie au numéro du site sur la carte :

85. Alt, 116,7 m — 2,75 m arg sb et sg à f (remblai); 2,75 m mélange gv-s argl; 1,80 m arg; 3,35 m arg sb av tr gv f et sl; 6,40 m arg av s; 2,15 m arg slt av gv f; 4,30 m mélange gv-s-arg

□ Emplacement de l'essai de consolidation

Abréviations

Les altitudes (alt) données dans la carte sont au pied (p) le plus proche (1 p = 0,30 m). Les chiffres indiquant l'épaisseur dans les relevés sont au demi-pied le plus proche. Seul le type de matériau rencontré est précisé; les détails descriptifs ont été omis pour gagner de la place. Les abréviations suivantes sont employées dans les relevés: alt, altitude; arg, argile; argl, argileux; av, avec; f, fin; frag, fragment(s); g, grossier; gv, gravier; gvl, graveleux; lm, limon; p, pied(s); rc, roche(s); s, sable; sb, sableux; slt, silteux.

Description généralisée des propriétés techniques des unités de la carte¹

Unité de la carte	Description lithologique générale	Forme topographique
Dépôts quaternaires non différenciés (Qu)	La composition et les propriétés physiques sont diverses. Essentiellement composés de la formation de Temescal. Comprennent probablement la formation de San Antonio recouverte ou non reconnue et des graviers, du sable et de l'argile (Qg), ainsi que des alluvions et des colluvions récentes et un remblai artificiel. Les symboles pour Qtc, Qts et Qtb figurent entre parenthèses lorsque ces unités peuvent être identifiées avec certitude (voir formation de Temescal)	Surtout dans les vallées et sur les pentes douces entre la baie de San Francisco et les Berkeley Hills
Formation de San Antonio, partie supérieure (Qsu)	Argile, silt, sable et graviers. Quelques cailloux tendres; la plupart fermes. La plupart des lits contiennent des paillettes et des cailloux de chert blanc de Claremont, un peu de graviers presque entièrement de chert. Contient de l'argile à montmorillonite. Brun jaunâtre pâle à orange grisâtre. Consolidation irrégulière, quelques couches incohérentes, meubles. Trois essais de consolidation sur les couches d'argile ont révélé une compression de 4 à 6%. Épaisseur maximale inconnue. Peut comprendre certains éléments de la formation de Temescal et de la partie inférieure où les affleurements médiocres ne permettent pas de différencier les unités	Surtout dans les zones de hauteur découpées et assez escarpées entre la baie de San Francisco et le front escarpé des Berkeley Hills
Rhyolite de Leona (Tl)	Rhyolite. La roche fraîche gris clair à gris verdâtre ou gris bleuâtre clair s'altère en devenant blanche ou orange jaunâtre foncé; peut être orange rougeâtre avec taches de rouille. La roche fraîche contient beaucoup de pyrites en de nombreux endroits. Contient une petite quantité de verre. Cisaillée et fracturée. Peut comprendre de petites quantités de grès et de schiste argileux de San Francisco et de Knoxville trop faibles pour figurer sur la carte; une grande partie de la rhyolite est manifestement intrusive (Case, 1963); par endroits cette intrusion recouvre le schiste argileux de Knoxville sus-jacent, maintenant cuit et déformé au contact	Forme des hauteurs découpées, bosselées, à pente raide
Formation de Knoxville (Jk)	Schiste argileux, gris olivâtre, fissile; grès, à grain fin à moyen, gris olivâtre; comprend aussi un conglomérat de cailloux dans une matrice de grès ou de schiste argileux sombre, du calcaire concrétionné à un degré moindre et du lignite. Du schiste argileux en partie massif, en partie interstratifié avec du grès. Le schiste argileux contient d'abondantes <i>Buchia piochii</i> . Comprend des roches sédimentaires marines plus jeunes, avec <i>Buchia</i> , décrites par Case (1968). Épaisseur et relations stratigraphiques inconnues	Forme généralement des vallées, parce que les schistes argileux tendres de la formation sont facilement érodés

Failles

[Les roches de la plupart des unités ci-dessus ont été plissées]¹ suivant une direction nord-ouest et [disloquées par de nombreuses failles].

[Les roches fracturées le long des failles mentionnées ci-dessus pourront livrer passage aux eaux souterraines; un drainage peut alors être nécessaire en cours de travaux; les roches tendres cisaillées sont en outre sujettes à des glissements.]

[Plusieurs séismes ont été causés par des failles qui ont rejoué dans la zone faillée de Hayward en 1836 et 1868. En conséquence, on peut admettre que toute la longueur de la zone faillée de Hayward située dans cette coupure est active.]

[Un lent mouvement tectonique, ou fluage, se produit actuellement en plusieurs endroits de la zone faillée de Hayward et endommage les ouvrages d'art situés transversalement par rapport à son axe.] L'aqueduc souterrain de Claremont et l'ouvrage de drainage situé sous le stade de l'université de Californie ont été endommagés par ce lent mouvement qui se produit le long d'un plan de faille ou d'une bande de cisaillement dans la zone faillée de Hayward. On ignore si ce fluage se produit le long de la zone faillée en d'autres endroits de la présente coupure, quoique des écarts constatés récemment à l'occasion de révisions de lignes topographiques traversant cette zone sur la 98^e avenue et l'avenue Lincoln paraissent indiquer un mouvement latéral droit dans la zone faillée d'environ 3 cm à 4,5 cm en dix ans.

[Les ouvrages d'art situés à l'intérieur de la zone faillée de Hayward ou transversalement par rapport à elle risquent non seulement d'être endommagés par un mouvement, un départ horizontal ou une rupture se produisant brusquement le long d'une faille à l'occasion d'un séisme provenant de la zone faillée, mais aussi d'être soumis à des efforts constants et de subir des dégâts du fait que les lèvres des failles de la zone se déplacent sans cesse très lentement dans des directions opposées.]

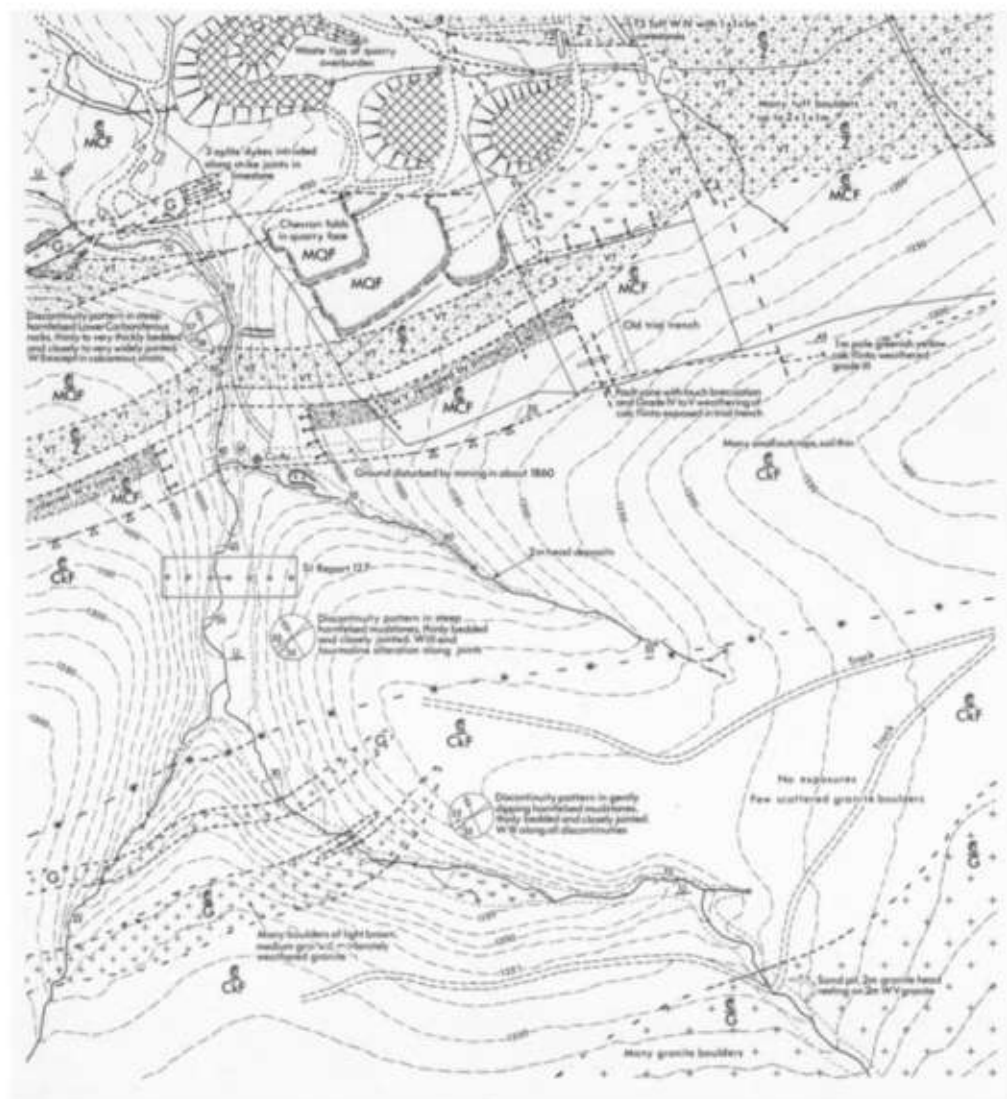
Altération et développement du sol	Terrassements	Stabilité des pentes et conditions de fondation	Densité sèche ² , teneur en eau et Unified soil classification ³	Observations (y compris utilisation et stabilité en cas de séisme)
Le sol peut atteindre 1 m d'épaisseur. [Localement le sol argileux se contracte ou se gonfle; risque d'endommager les constructions] ¹	Peuvent se faire avec un outillage manuel ou mécanique	Selon la composition, généralement bonnes. [Des glissements se sont produits lorsque des colluvions proviennent manifestement du gabbro]	Variables	Représentés avec la formation de Temescal dans la coupure Oakland West (Radbruch, 1957)
Le sol atteint 1 m d'épaisseur par endroits. [Il se gonfle ou se contracte suivant les variations d'humidité saisonnières et risque d'endommager les constructions; risque de fluier]	Peuvent se faire avec un outillage manuel	[Des glissements importants se sont produits dans cette unité.] Les causes en sont probablement la présence d'argile à montmorillonite et l'alternance de sable et d'argile mal consolidés; pentes fortes et présence d'eaux souterraines. Matériau de fondations convenant généralement pour des ouvrages légers lorsque la pente n'est pas forte	1,68; 18% (77: 1,45-1,97; 8-30%); GM-CH	—
Altération sur une profondeur pouvant atteindre 9 m; la roche très altérée se présente sous forme de fragments meubles dans une matrice d'argile. Sol généralement absent ou de moins de 50 cm d'épaisseur; dans les ravins, son épaisseur peut dépasser 4 m	Peuvent généralement se faire avec un outillage mécanique; par endroits, il faut recourir aux explosifs	Stabilité des pentes et conditions de fondations bonnes. [Rares éboulis là où la roche est excessivement fracturée et altérée]	2,59 (s); 0,1% (99: altéré); 20% (3: 1,57-1,63. 9-27%)	La rhyolite de Leona broyée constitue un bon matériau de remblayage et de fondations; autrefois la pyrite était exploitée pour le soufre. [Les eaux de ruissellement des collines de rhyolite sont très acides et corrodent le béton des canalisations des égouts. Certaines pentes sont si fortes qu'il pourra être difficile de les aménager]
Profondeur de l'altération irrégulière; peut atteindre localement 6 m ou davantage. Quelques roches altérées sont fermes, la plupart tendres, argileuses. Le sol a généralement de 30 cm à 1 m d'épaisseur	Peuvent se faire avec un outillage mécanique	Stabilité des pentes et conditions de fondations généralement assez bonnes; légère tendance à la formation d'un borbier en fond de fouille	2,56 (s) (gr); 1,4%; 1,86 (sc altéré); 15% (3: 1,81-1,92; 13-19%)	Risque d'écrasement en souterrain sous contrainte de cisaillement

¹ Les conditions géologiques qui peuvent être défavorables en ce qui concerne la planification, la conception et la construction des ouvrages d'art sont entre crochets

² Densité sèche (italique) exprimée en tonnes par mètre cube, à partir d'un échantillon de roche fraîche, sauf indication contraire. Le nombre d'échantillons et les valeurs extrêmes de la densité sèche et de la teneur en eau sont donnés entre parenthèses (12 1,69-1,74, 17-20%) (s) indique un échantillon prélevé à la surface. La teneur en eau (en pourcentage) est généralement plus grande pour les échantillons de roche du sous-sol que pour ceux qui sont prélevés à la surface

³ Unified soil classification (symbole littéral) indiquée s'il y a lieu (U.S. Army, Corps of Engineers, 1953, *The unified soil classification system*, U.S. Army, Corps of Engineers Tech Memo 3-357, vol 1-3)

5.4.2 CARTE GÉOLOGIQUE EXPLICATIVE, À GRANDE ÉCHELLE



	Tuf rhyolitique		Alluvions le long d'un cours d'eau		Limite certaine, dépôt superficiel
	Granite à grain fin		Puits de mine abandonné		Limite certaine, terrain ferme
	Granite à gros grain		Pente le long d'une décharge		Limite approximative, terrain ferme
	Zone d'altération classe V		Lobe de solifluxion		Tracé axial du synclinal
	Décharge		Couches inclinées, pendage en degrés, succession normale		Faille, position approximative
	Carrière		Couches inclinées, pendage en degrés, succession inversée		Fouille d'exploration
	Cours d'eau, avec sens de l'écoulement		Couches verticales		Reconnaissance du site
	Source		Diaclase inclinée, pendage en degrés		Sondage
	Ligne de filtration		Diaclase verticale		Sondage incliné
			Discontinuité, déterminée statistiquement		

Commentaire

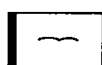
La carte, reproduite ici à l'échelle du 1/10000, est un exemple de carte géologique et de légende que complètent des renseignements descriptifs de caractère géotechnique. Elle est établie à partir d'une partie d'une carte typique de l'Institut of Geological Sciences à l'échelle du 1/10560; des cartes géologiques de ce genre existent pour plus de 85% du territoire du Royaume-Uni et sont utiles au stade préliminaire de la

préparation d'un projet technique; agrandies par des procédés mécaniques, elles pourraient constituer la base de cartes prévisionnelles de constructibilité ou de reconnaissance du site. Les études supplémentaires n'ont pas été entreprises officiellement.

Cet exemple a été légèrement modifié par rapport à 2.9.1. Partie d'une carte au 1/10560 complétée comme prévu. Dearman *et al.*, «Working party report on the preparation of maps and plans in terms of engineering geology», *Q. Jl. Engng. Geol.*, vol. 5, 1972, p. 293–381.

Légende

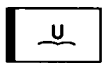
DÉPÔTS SUPERFICIELS (TERRAINS DE TRANSPORT) RÉCENTS ET PLÉISTOCÈNES



Alluvions. Sur le granite, les alluvions sont constituées d'un sable graveleux grossier, subanguleux, meuble, jaune brunâtre avec de la tourbe et des blocs arrondis pouvant atteindre 1 m, de granite modérément altéré, et de cailloux de quartz. En aval, les alluvions sont composées d'un sable graveleux, silteux avec des blocs de granite arrondis pouvant atteindre 1 m, et des galets subanguleux et des blocs de roches vives. Les dépôts sont moyennement ou fortement perméables. Localement très perturbés par la recherche de l'étain par lavage.

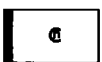
Épaisseur
(en m)

3 (max.)



Terrasses fluviales (indifférenciées). Gravier sableux subanguleux à arrondi, brun jaunâtre foncé, meuble mais par place faiblement à fortement cimenté en couches horizontales par des matériaux manganésifères ou ferrugineux, avec galets arrondis à subanguleux et blocs de roches locales pouvant atteindre 1 m. Les dépôts sont fortement perméables, sauf lorsqu'ils sont cimentés. Localement très perturbés par la recherche de l'étain par lavage.

12 (max.)



Dépôt de pente (head). Presque partout présent et masque en grande partie les formations solides. Représente des débris de solifluxion; on passe progressivement vers le bas des pentes à des alluvions et à des dépôts de terrasse.

2–3,
localement > 12

Dans la zone d'affleurement du granite, le dépôt se compose de gravier sableux, lité, meuble, brun jaunâtre, avec un peu d'argile, et du sable limoneux graveleux, avec des galets et des blocs de granite moyennement altéré; vers le bas il passe par transition progressive à un granite moyennement à fortement altéré *in situ*. Sur l'affleurement du Carbonifère supérieur voisin du granite, le dépôt est typiquement composé de sable graveleux argileux, homogène, meuble à compact, brun rougeâtre, avec de nombreux galets subanguleux; sur les pentes raides, les fractions fines peuvent manquer et le dépôt de pente est alors meuble, il n'y a plus que des galets des roches locales sous 15–30 cm de sol humique.

Sur les roches du Carbonifère inférieur, le dépôt est constitué de sable argileux limoneux homogène, meuble à

compact, brun rougeâtre avec quelques galets et blocs des roches locales; il peut être lité avec un horizon supérieur gris surmontant une couche cimentée de 8 cm d'épaisseur environ recouvrant un dépôt brun rougeâtre qui s'étend jusqu'au bedrock.

Épaisseur
(en m)

FORMATIONS SOLIDES. CARBONIFÈRE

Carbonifère supérieur (Namurien)

Ckf

Formation de Crackington. Schiste argileux gris foncé à très foncé, à grain très fin, finement stratifié à finement laminé, avec diaclases très rapprochées, légèrement à moyennement altéré, faiblement clivé, sans consistance, imperméable sauf le long des diaclases ouvertes. Interstratifié avec de rares silts fins, gris à gris verdâtre foncé, à grain fin, très finement stratifiés, finement laminés avec stratification entrecroisée, à diaclases rapprochées, légèrement à moyennement altérés, moyennement résistants, et avec du grès gris verdâtre foncé, à grain moyen, en couches très minces à moyennes, avec diaclases rapprochées à largement espacées, légèrement à moyennement altéré, résistant.

Le schiste argileux se délite lorsqu'il affleure; il convient à la fabrication de briques.

S

Grès. Il a été possible de dresser la carte de groupes de couches dans lesquelles le grès prédomine. Les couches ont généralement moins de 30 cm d'épaisseur et elles sont séparées par des couches très minces de silts et de schiste argileux.

Les silts conviennent à la production d'agrégats. A l'intérieur de l'auréole métamorphique de contact du granite, schiste argileux et grès gris foncé, à texture cornéenne, orange très pâle à brun jaunâtre foncé, grain fin à moyen, finement lités, à diaclases rapprochées, légèrement à moyennement altérés, résistants, imperméables sauf le long des diaclases ouvertes. Localement avec de la tourmaline noire à grain fin en forme de salbandes atteignant 2,5 cm de large le long des discontinuités et avec des filons de quartz irréguliers ayant jusqu'à 5 cm d'épaisseur.

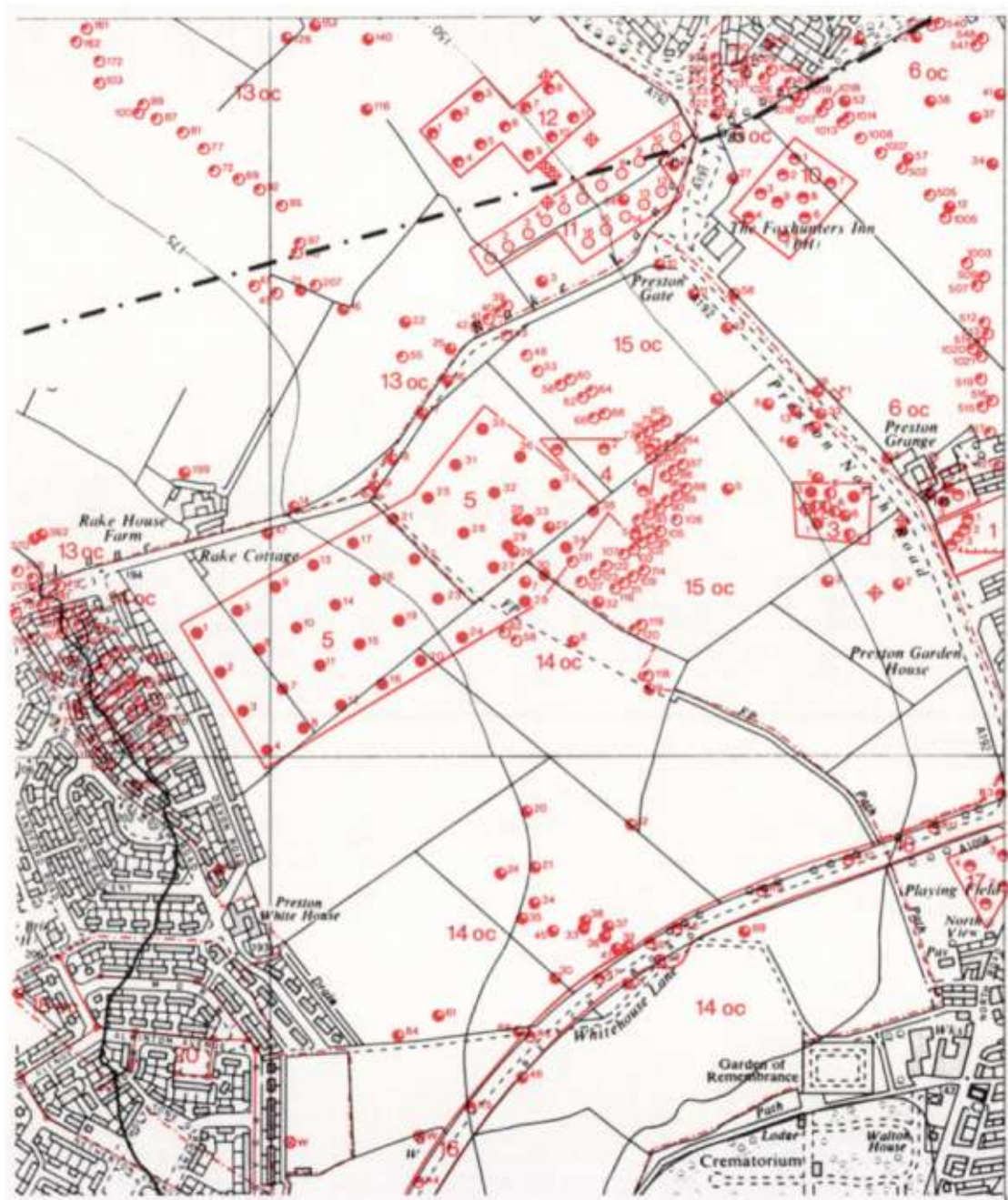
Carbonifère inférieur (Dinantien)

Formation de chert de Meldon

75

69

5.5 Cartes de documentation



Légende

<i>Sondages d'exploration à ciel ouvert</i>	
	Prélèvement de carottes de roches par forage au diamant
	Injection d'eau — échantillons d'éclats
	Tarière à main dans le sol
<i>Sondages de reconnaissance géotechnique du site</i>	
	Cuiller et tarière
	Cuiller et tarière avec carottage par forage rotary dans la roche
	Cuiller et tarière avec forage rotary destructif
	Rotary — trépan à molettes pour la roche
<i>Sondages de recherche</i>	
	Tarière mécanique — échantillons perturbés
	Puits remblayé ou inaccessible
	Puits de mine abandonné
	Puits de recherche
	Tranche d'égout
	Géophysique — diagraphie de résistivité à séparation constante
	Zone de reconnaissance du site, avec numéro de référence
	Zone de prospection à ciel ouvert, avec numéro de référence

Commentaire

Carte typique indiquant où sont conservés et en quoi consistent les documents d'archives qui ont servi à établir les cartes géotechniques et autres de la région. La carte complète, avec les coordonnées de quadrillage national (*national grid*), est reliée à un dispositif de récupération des données sur cartes perforées; certaines données ont été codées à titre expérimental pour être stockées et recherchées sur ordinateur.

Partie de la carte de documentation au 1/10000 qu'on est en train d'établir pour le levé géotechnique du Tyne and Wear Metropolitan County, dans le nord de l'Angleterre. L'exemple présenté ici est extrait de l'article de Dearman *et al.*, «Techniques of engineering-geological mapping with examples from Tyneside», in: *The engineering geology of reclamation and redevelopment. Regional meeting, Durham, Engineering Group, Geological Society*, vol. 31, n° 4.

Une carte géotechnique synthétique doit de préférence être accompagnée d'un mémoire descriptif contenant les renseignements ci-après :

Sommaire

Introduction

Objet de la carte géotechnique

Emplacement géographique de la région cartographiée

Données topographiques

Routes, voies ferrées et autres voies de communication

Évaluation économique et perspectives de développement

Recherches antérieures

Méthodes utilisées pour les levés géotechniques de la région

Étendue des recherches

Organismes qui ont effectué les levés

Géographie physique

Facteurs climatiques influençant l'évaluation des conditions géotechniques

Description physiographique

Hydrographie

Structure et évolution géologique

Préquaternaire

Quaternaire

Processus géodynamiques actuels

Caractéristiques géologiques et propriétés géotechniques des roches et des sols

Roches

Sols

Conditions hydrogéologiques

Caractéristiques des différents aquifères

Composition chimique des eaux souterraines

Zonage géotechnique

Principes appliqués à la région cartographiée

Caractéristiques des différentes unités de zonage

Matériaux de construction et divers

Conclusions

Recommandations

Annexes

Références

Sources de documentation (archives et autres)

Tableaux des propriétés géotechniques

Index

Le mémoire sera complété par des diagrammes, graphiques, tableaux et photographies.

Son contenu sera évidemment fonction de l'objet, du contenu et de l'échelle de la carte, et le plan suggéré ci-dessus n'a qu'une valeur indicative; il permet de choisir certains chapitres qui correspondent au sujet du mémoire.

7.1 Introduction

Pour la réalisation de ce glossaire, référence a été faite à des dictionnaires géologiques écrits en anglais (*Anon.*, 1962; Challinor, 1967; Gary *et al.*, 1972; Whitten et Brooks, 1972), en français (Plaisance et Cailleux, 1958), en plusieurs langues (Baulig, 1956; Schieferdecker, 1959; Visser, 1965) et à la version anglaise du rapport de la Commission de terminologie, symboles et représentation graphique (*Anon.*, 1970) de la Société internationale de mécanique des roches.

A la différence des termes de géologie de l'ingénieur, les termes purement géologiques utilisés dans le texte ne sont pas définis ici lorsqu'il existe une définition satisfaisante dans un dictionnaire courant des termes géologiques.

Dans le paragraphe 7.3, sont données les références de dictionnaires géologiques en diverses langues.

7.2 Définition des termes utilisés dans le manuel

Aire: en zonage géotechnique, unité taxonomique délimitée sur la base des caractéristiques des unités géomorphologiques régionales.

Altération: processus de dégradation des roches et des sols dû à l'influence directe de l'hydrosphère et de l'atmosphère.

Angle de frottement interne: angle de résistance au cisaillement; c'est l'angle ϕ que fait l'axe de la contrainte avec la tangente à l'enveloppe de Mohr en un point représentant une condition donnée de rupture pour un matériau solide.

Attribut: qualité ou propriété qui appartient à une chose quelconque.

Attrition: voir Valeur d'attrition.

Captive: voir Nappe captive.

Carte: représentation sur une surface plane, à une échelle déterminée, des caractéristiques physiques d'une partie de la surface terrestre ou d'un certain nombre de données relatives à la surface ou aux couches sous-jacentes, au moyen de signes et de symboles.

Carte explicative: carte géologique générale interprétée du point de vue géotechnique.

Carte géotechnique: type de carte géologique fournissant des renseignements généraux sur toutes les composantes d'un environnement géologique ayant une importance pour

l'aménagement du sol et pour le calcul, la construction et l'entretien des travaux de génie civil.

Carte géotechnique analytique: carte évaluant une composante particulière de l'environnement géologique.

Carte géotechnique auxiliaire: carte présentant des données de fait, par exemple carte de documentation.

Carte géotechnique complémentaire: carte fournissant des données de base géologiques et d'autres données géologiques de caractère non technique.

Carte géotechnique synthétique: carte des conditions géotechniques décrivant toutes les principales composantes de l'environnement géotechnique, ou carte d'une zone géotechnique.

Carte géotechnique à usage particulier: carte donnant des informations sur un aspect spécifique de la géotechnique ou pour un but spécifique.

Carte géotechnique à usages multiples: carte donnant des informations sur de nombreux aspects de géotechnique pour une variété d'utilisations dans le domaine de l'aménagement et des travaux de construction.

Carte à grande échelle: carte dessinée à une échelle de 1/10000 ou au-dessus.

Carte à moyenne échelle: carte dessinée à une échelle inférieure à 1/10000 et supérieure à 1/100000.

Carte à petite échelle: carte dessinée à une échelle égale ou inférieure à 1/100000.

Classification: répartition systématique en diverses catégories suivant des critères précis.

Coefficient d'emménagement: volume d'eau libérée de chaque colonne verticale de l'aquifère ayant comme base un mètre carré lorsque la nappe phréatique ou toute autre surface piézométrique baisse d'un mètre.

Coefficient de perméabilité: quantité d'eau (en mètres cubes) qui en un jour s'écoule à travers une surface d'un mètre carré sous un gradient hydraulique égal à l'unité.

Cohésion: résistance au cisaillement d'un sol lorsqu'il n'est sollicité par aucune contrainte de compression.

Compactage: amélioration de l'engrènement des particules du sol les unes sur les autres, l'air seul étant expulsé. S'opère par cylindrage, battage ou vibration; se traduit par une diminution des vides remplis d'air et une augmentation de la densité du sol.

Complexe lithologique: unité cartographique comprenant une série de types lithologiques génétiquement liés.

Composante de l'environnement géotechnique: caractères géotechniques et géographiques fondamentaux qui ont une

- importance décisive pour l'exécution de cartes géotechniques, à savoir la répartition et les propriétés des roches et des sols, les eaux souterraines, les caractéristiques du relief et les processus géodynamiques actuels.
- Compressibilité**: diminution de volume par unité d'augmentation de pression.
- Conditions géotechniques**: système géologique dynamique des roches et des sols, de l'eau, des conditions géomorphologiques et des processus géodynamiques en un lieu ou sur un périmètre déterminé.
- Déformation**: changement de forme ou de dimensions d'un corps solide.
- Densité**; poids spécifique: poids d'un matériau, y compris les vides remplis d'air ou d'eau, par unité de volume.
- Discontinuité**: plan structural ouvert, ou ayant la possibilité de s'ouvrir, tel que lit, diaclase, clivage, faille.
- District**: en zonage géotechnique, unité taxonomique dans laquelle les conditions hydrogéologiques et les phénomènes géodynamiques sont uniformes.
- Durabilité**: pouvoir de résister à la désagrégation; résistance d'une roche à la perte de consistance et à la désintégration lorsqu'elle est soumise à des processus d'altération de courte durée. **Durabilité au délitage**: résistance à l'humidité et au séchage.
- Eau souterraine**: eau sous-jacente dans la zone de saturation de la lithosphère.
- Éboulement** (s'applique au mouvement de masse [voir cette expression]): mouvement vers le bas et vers l'extérieur de matériaux constitutifs d'une pente dans lequel la masse en mouvement se déplace généralement dans l'air en chute libre, en bondissant ou en roulant sans qu'il y ait pratiquement d'interaction entre un élément en mouvement et un autre.
- Échantillon**: fraction représentative d'une roche, d'un sol ou d'une masse.
- Échantillon remanié**: échantillon de roche ou de sol qui ne conserve pas les caractéristiques du matériau *in situ*.
- Échantillon non remanié**: échantillon de roche ou de sol qui conserve au maximum les caractéristiques du matériau *in situ*.
- Emmagasinement**: voir Coefficient d'emmagasinement.
- Essai *in situ***: essai géotechnique exécuté dans une excavation ou un sondage dans lequel la roche ou le sol soumis à l'essai se trouve dans sa position ou dans son état naturel.
- Fluage**: déformation en fonction du temps; aptitude qu'ont les roches et d'autres matériaux que l'on trouve dans la nature à se déformer lentement, continuellement et de façon permanente lorsqu'ils sont soumis pendant longtemps à des charges.
- Formation**: unité formelle fondamentale de la classification lithostratigraphique (voir ce mot); c'est la seule unité formelle utilisée pour subdiviser complètement toute la colonne stratigraphique dans le monde entier en unités désignées sur la base de leur caractère lithostratigraphique.
- Force d'écoulement**: résistance (par frottement visqueux) opposée par les grains du sol à l'écoulement de l'eau par les vides ou les interstices de la roche ou du sol, ce qui provoque une augmentation de la pression interne granulaire, c'est-à-dire de la force hydraulique par unité de volume de roche ou de sol qui résulte de l'écoulement de l'eau et qui agit dans la direction de cet écoulement.
- Géodynamique**: qui se rapporte aux phénomènes géologiques de l'environnement résultant de processus géologiques actifs à l'époque actuelle.
- Géohydrologie**: voir Hydrogéologie.
- Géomorphologie**: branche de la géographie et de la géologie qui étudie la forme de la Terre, la configuration générale de sa surface et les modifications qui se produisent dans l'évolution des formes de terrain.
- Géophysique**; méthode géophysique: prospection géologique au moyen d'instruments et en utilisant les méthodes de la physique; prospection, par observation des phénomènes sismiques ou électriques, du champ gravitationnel ou magnétique de la Terre ou de la répartition thermique.
- Glissement de terrain**: phénomène de descente d'une partie de pente ou d'une masse en pente qui s'est détachée et a glissé.
- Groupe**: séquence stratigraphique de plusieurs formations contiguës ayant en commun des caractéristiques lithologiques significatives leur conférant une unité.
- Homogène**: qui présente en tous points la même propriété.
- Hydrochimique**: qui se rapporte à la composition chimique des eaux naturelles.
- Hydrogéologie**: partie de l'hydrologie qui étudie l'eau contenue dans la lithosphère.
- Infiltration**: écoulement ou mouvement de l'eau à travers la surface du sol vers la profondeur.
- In situ***: dans son emplacement, ou dans son lieu naturel.
- Essai *in situ***: voir Essai.
- Iso (égal)**: préfixe qui entre dans la composition de nombreux mots pour désigner des lignes tracées sur une carte et passant par des points d'égale valeur de l'élément représenté.
- Isobathe**: ligne joignant des points d'égale profondeur; par exemple une ligne à la surface du sol dont tous les points sont à la même distance verticale au-dessus de la surface supérieure ou inférieure d'un aquifère peut être appelée un isobathe de cette surface.
- Isohypse**: courbe de niveau des eaux souterraines ou de la nappe phréatique.
- Isoligne**; carte d'isolignes: carte sur laquelle un phénomène variable est représenté par des courbes de niveau.
- Isopaque**; ligne isopaque: sur une carte, ligne passant par les points d'égale épaisseur d'une unité désignée.
- Isopièze**; ligne isopièze: courbe de niveau de la surface piézométrique d'un aquifère.
- Isoséiste**; ligne isoséiste: ligne imaginaire reliant tous les points de la surface de la Terre où une onde sismique a la même intensité.
- Isotrope**: qui a les mêmes propriétés dans toutes les directions.
- Légende**: brève description des symboles et des figurés indiqués sur une carte ou un diagramme.
- Lithogenèse**: origine et formation des roches.
- Lithostratigraphie**: stratigraphie basée uniquement sur les caractéristiques physiques et pétrographiques des roches.
- Masse rocheuse**: roche telle qu'elle se trouve *in situ*: elle comporte des discontinuités structurales et a subi les effets de l'altération.
- Matériau rocheux**: échantillon de roche; en général ne comporte pas les discontinuités structurales de la masse rocheuse; le matériau rocheux peut être altéré et peut contenir des microdiscontinuités, par exemple des débuts de fissure.
- Méthode de résistivité**: méthode géophysique de prospection dans laquelle la résistivité du sol est mesurée et analysée.
- Méthode sismique**: méthode géophysique de prospection dans laquelle on mesure et on analyse les temps de déplacement des ondes élastiques réfractées et réfléchies à travers le sol.

- Module de déformation**: rapport entre l'effort et la déformation correspondante lorsqu'une masse rocheuse est soumise à une charge comprenant un comportement élastique et non élastique.
- Mouvement de masse**: terme général exprimant le déplacement et la descente d'une masse de roche ou de sol sous l'action directe des contraintes de gravité.
- Mouvement de pente**: mouvement de masse sur une surface topographique inclinée.
- Nappe captive**: eau souterraine qui est soumise à une pression suffisante pour pouvoir s'élever au-dessus du niveau auquel elle a été atteinte par le puits ou le sondage.
- Nappe phréatique**: surface des eaux souterraines, niveau des eaux souterraines; niveau au-dessous duquel les roches et le sol sous-jacent jusqu'à une profondeur inconnue sont saturés.
- Perméabilité**: capacité d'une roche ou d'un sol à se laisser traverser par un liquide ou un gaz. Elle est mesurée par la constante de proportionnalité K entre la vitesse d'écoulement v et le gradient hydraulique I ; $v = KI$. L'unité de perméabilité est le darcy.
- pH**: cologarithme de la concentration en ions hydrogène.
- Photogrammétrie**: technique permettant d'obtenir des mesures fiables à partir de photographies multiples.
- Piezométrie**; surface piézométrique: surface imaginaire qui en tous points coïncide avec le niveau statique de l'eau dans un aquifère; niveau qu'atteindra l'eau d'un aquifère déterminé en pleine charge.
- Ponctuel**; symbole ponctuel: voir Symbole.
- Poussée de gel**: soulèvement d'une surface sous l'action interne du gel.
- Pression**: force par unité de surface appliquée à l'extérieur d'un corps.
- Pression de soulèvement**: force hydrostatique de l'eau exercée sur ou sous un ouvrage et tendant à provoquer son déplacement.
- Région**: en zonage géotechnique, unité taxonomique basée sur l'uniformité des différents éléments géotechniques structuraux.
- Résistance**: effort maximal auquel un matériau peut résister sans rupture pour n'importe quel type de charge.
- Résistance à la compression**: effort maximal de compression auquel un matériau peut résister sans rupture.
- Résistance au cisaillement**: effort maximal auquel un matériau peut résister sans se rompre par cisaillement.
- Résistance à la traction**: effort maximal auquel un matériau peut résister sans se rompre par traction.
- Roche**: au sens strict, tout agrégat ou masse de matières minérales qui s'est formé naturellement, cohérent ou non, constituant une partie essentielle et appréciable de la croûte terrestre. Au sens technique, dépôt dur, solide et rigide formant des parties de la croûte terrestre. Il existe dans la nature certains matériaux dont les propriétés sont intermédiaires entre celles des roches et celles des sols, tels qu'ils sont définis ici; ils peuvent être désignés par la dénomination de roche semi-solide ou roche meuble. Voir Sol.
- Salinité**: quantité mesurée des solides totalement dissous dans l'eau.
- Séquence lithologique**: unité cartographique comprenant de nombreux complexes lithologiques liés du point de vue paragénétique.
- Sol**: agrégat de grains minéraux qu'on peut séparer par certaines méthodes telles que l'agitation dans l'eau. Ces grains peuvent être non cimentés ou très faiblement cimentés (c'est le cas des sables ou des graviers) ou ils peuvent être liés par des forces faibles telles que les forces de Van de Waals (c'est le cas des limons et des argiles).
- Solifluxion**: (s'applique au mouvement de masse [voir cette expression]): mouvement dirigé vers le bas et vers l'extérieur de matériaux constitutifs d'une pente dans lequel le mouvement à l'intérieur de la masse déplacée est tel que la forme prise par le matériau ou la répartition apparente des vitesses et des déplacements ressemblent à ceux de fluides visqueux.
- Soulèvement**: voir Pression de soulèvement.
- Source de suffosion**: jaillissement naturel d'une eau qui contient des particules fines provenant de matériaux non consolidés. Voir Suffosion.
- Structure (pétrologie)**: relations à grande échelle de caractéristiques de texture, généralement observées ou étudiées de façon optimale dans un affleurement plutôt que dans l'échantillon ou la section mince. La structure représente une discontinuité ou une hétérogénéité importante, ou l'une des plus grandes caractéristiques morphologiques d'une masse rocheuse (voir cette expression) telles que fissuration, litage, clivage, foliation. N'est pas synonyme de texture (voir ce mot).
- Structure (géologie structurale)**: disposition générale, arrangement ou positions relatives des masses rocheuses d'une région ou d'une aire; l'ensemble des caractéristiques structurales d'une aire résultant de certains processus de déformation, tels que failles, plis et intrusions de roches ignées.
- Subsidence**: mouvement au cours duquel le matériau de surface est déplacé verticalement vers le bas, la composante horizontale étant ou faible ou nulle.
- Suffosion**: arrachement, par percolation, de fines particules de matériaux non consolidés, en particulier sables et graviers.
- Superficiel**: ce qui caractérise la surface de la Terre, lui appartient, est formé, situé ou se produit sur cette surface; spécialement dépôts résiduels, alluviaux, ou glaciaires non consolidés surmontant le bedrock.
- Symbole ponctuel**: signe de petite dimension employé sur les cartes pour indiquer la nature et l'emplacement d'un phénomène naturel.
- Taxonomie**: lois et principes d'une classification ordonnée.
- Teneur en eau (teneur en humidité)**: rapport entre le poids de l'eau contenue dans les pores d'une roche ou d'un sol et celui du poids du matériau solide (s'exprime en pourcentage).
- Texture**: apparence ou caractère physique général d'une roche, et notamment aspect géométrique des particules ou cristaux qui la composent et relations mutuelles entre celles-ci; par exemple: dimension, forme et arrangement des éléments constitutifs d'une roche sédimentaire ou cristalline.
- Type géotechnique**: unité cartographique ayant le degré maximal d'homogénéité physique. Elle doit être uniforme au point de vue du caractère lithologique et de l'état physique.
- Type lithologique**: unité cartographique qui est partout homogène du point de vue de sa composition, de sa texture et de sa structure, mais dont l'état physique n'est généralement pas uniforme.
- Utilisation du sol**: usage que l'homme fait du sol.
- Valeur d'attrition**: valeur obtenue dans des conditions d'essai normalisées exprimant la résistance d'un échantillon d'agrégat à l'usure.
- Zone**: en zonage géotechnique, unité taxonomique basée sur l'homogénéité lithologique et l'arrangement structural des complexes lithofaciaux de roches et de sols.

7.3 Références

- ANON. 1962. *Dictionary of geological terms*. 2^e éd. New York, Dolphin Books.
- . 1970. *Terminology, symbols and graphic representation*. Commission of International Society of Rock Mechanics. 32 p. (Multigraphié.)
- BAULIG, H. 1956. *Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie*. Paris, Les belles lettres.
- CHALLINOR, J. 1967. *A dictionary of geology*. 3^e éd. Cardiff, University of Wales Press.
- COMECON. 1968. *Terminological glossary on engineering geology*. Moscou. 2 vol. 400 et 226 p. (En russe, avec glossaire en huit langues.)
- GARY, M.; MCAFEE, R. Jr; WOLF, C. L. (éd.). 1972. *Glossary of geology*. Washington, D. C., American Geological Institute.
- MAKHAVEEV, A. A. 1971. *Glossary on hydrogeology and engineering geology*. Moscou, Nedra. (En russe.)
- PLAISANCE, G.; CAILLEUX A. 1958. *Dictionnaire des sols*. Paris, La maison rustique.
- SCHIEFERDECKER, A. A. G. 1959. *Geological nomenclature*. Royal Geological and Mining Society of the Netherlands.
- VISSER, A. D. 1965. *Dictionary of soil mechanics in four languages: english/american, french, dutch and german*. Amsterdam, Elsevier; Paris, Dunod.
- WHITTEN, D. G. A.; BROOKS, J. R. V. 1972. *The Penguin dictionary of geology*. Harmondsworth, Penguin Books. (Penguin reference books.)

8.1 Introduction

On trouvera ci-dessous une sélection de documents relatifs aux cartes géotechniques et à leur préparation, ainsi que quelques exemples de cartes géotechniques déjà publiées. Certains de ces documents contiennent des exemples de cartes géotechniques, mais ces exemples, de même que les cartes publiées, n'ont pas été exécutés selon toutes les recommandations données dans ce manuel.

8.2 Cartographie géotechnique

- ARNOULD, M.; VANTROYS, M. 1970. Essai de cartographie géotechnique automatique sur la ville nouvelle d'Évry (région parisienne). *Association internationale de géologie de l'ingénieur. Premier congrès international*, vol. 2, p. 1069–1080.
- BACHMANN, G.; GRÖWE, H.; HELMERICH, K.; REUTER, F.; THOMAS, A. 1967. Instruktion für die Anfertigung einheitlicher ingenieurgeologischer Grundkarten. *Zentr. Geol. Inst. Abh.*, vol. 9.
- BLANC, R. P.; CLEVELAND, G. B. 1968. *Natural slope stability as related to geology, San Clemente area, Orange and San Diego counties, California*. 19 p. (Calif. Div. Mines and Geology Special Report, 98.)
- BREDDIN, H.; VOIGHT, R. 1967. Eine Baugrundplanungskarte für Landkreis Kempen-Krefeld/Niederrhein [Carte d'un terrain à bâtir dans le district de Kempen-Krefeld/Niederrhein]. *Geologische Mitteilungen*, vol. 7, p. 239–250.
- BURTON, A. N. 1970. The influence of tectonics on the geotechnical properties of Calabrian rocks and the mapping of slope instability using aerial photographs. *Q. Jl. Engng. Geol.*, vol. 2, p. 237–254.
- CHURINOV, M. V.; TSYPIA, I. M.; LAZAREVA, V. P. 1962. Principes et méthodes de compilation des cartes régionales universelles de l'URSS, échelles 1/1 500 000 à 1/2 500 000. *Soviet geology*, n° 11, p. 112–124. (En russe.)
- . 1970. The principles of compiling the engineering-geological map of the USSR territory on the scale of 1/2 500 000. *Association internationale de géologie de l'ingénieur. Premier congrès international*, Paris, vol. 2, p. 850–860.
- DAGNEUX, J. P.; LEMOINE, Y. 1970. Cartographie géotechnique en milieu côtier vaseux par réfraction sismique et pénétromètre. *Association internationale de géologie de l'ingénieur. Premier congrès international*, Paris, vol. 2, p. 895–903.
- DEARMAN, W. R.; *et al.* 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Q. Jl. Engng. Geol.*, vol. 5, p. 293–381.
- DEARMAN, W. R.; MONEY, M. S.; COFFEY, J. R.; SCOTT, P.; WHEELER, M. 1973. Techniques of engineering-geological mapping with examples from Tyneside. In: *The engineering geology of reclamation and redevelopment. Regional meeting, Durham, Engineering Group, Geological Society*, vol. 31, n° 4.
- FOOKES, P. G. 1969. Geotechnical mapping of soils and sedimentary rocks for engineering purposes with examples of practice from the Mangla dam project. *Géotechnique*, vol. 19, p. 52–74.
- GAZEL J.; PETER, A. 1969. Essais de cartographie géotechnique. *Annales des mines. Décembre*, p. 41–60.
- GOLODOVSKAYA, G. A.; DEMIDYUK, L. M. 1970. The problem of the engineering and geological mapping of deposits of mineral resources in the area of eternal frost. *Association internationale de géologie de l'ingénieur. Premier congrès international*, Paris, vol. 2, p. 1049–1068.
- GRABAU, W. E. 1968. An integrated system for exploiting quantitative terrain data for engineering purposes. In: STEWART, G. A. (ed.). *Land evaluation CSIRO symposium*, p. 211–220. Canberra, Australia, Macmillan.
- GRANT, K. 1968a. A terrain evaluation system for engineering. *Commonwealth Sci. Indus. Research Organization Australia, Div. Soil Mech. Tech. Paper 2*, p. 27.
- . 1968b. Terrain classification for engineering purposes of the Rolling Downs Province. *Commonwealth Sci. Indus. Research Organization Australia, Div. Soil Mech. Tech. Paper 3*, p. 385.
- HUMBERT, M.; *et al.* 1971. Mémoire explicatif de la carte géotechnique de Tanger au 1/25 000. Contribution à la connaissance du Tangérois. *Notes et M. Serv. géol. Maroc*, 222, p. 190.
- JANJIĆ, M. 1962. Engineering-geological maps. *Vesnik Zavod za Geološka i Geofizička Istraživanja [Bull. Inst. Geophys. Res.]*, série B, n° 2, p. 17–31.
- LOZINSKA-STEPIEN, H.; STOCKLAK, J. 1970. Metodyka sporządzania map inżyniersko-geologicznych w skali 1/5000 i większych [Mapping methods for geological engineering 1/5000 and larger scale maps]. *Geological and engineering investigation in Poland*, 5, Instytut Geolo-

- giczny, Bull. 231, p. 75–112. (En polonais avec des résumés en anglais et en russe.)
- LUNG, R.; PROCTOR, R. (ed.). 1966. *Engineering geology in southern California*, 389 p. (Assoc. Engineering Geologists Los Angeles Section, special pub.).
- MATULA, M. 1969. *Regional engineering geology of Czechoslovak Carpathians*. Bratislava, Publishing House Slovak Academy of Sciences. (En anglais.)
- . 1971. Engineering geologic mapping and evaluation in urban planning. In: NICHOLS, D. R., CAMPBELL, C. C. (ed.). *Environmental planning and geology*, p. 144–153. (Geological Survey, U.S. Dept. of the Interior and the Office of Research and Technology, U.S. Dept. of Housing and Urban Development.)
- NICHOLS, D. R.; CAMPBELL, C. C. (ed.). 1971. *Environmental planning and geology*. 204 p. (Geological Survey, U.S. Dept. of the Interior and the Office of Research and Technology, U.S. Dept. of Housing and Urban Development.)
- NILSEN, T. H. 1971. *Preliminary photointerpretation map of landslide and other surficial deposits of the Mount Diablo area, Contra Costa and Alameda counties, California*. (U.S. Geol. Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-310.)
- POPOV, I. V.; KATS, R. S.; KORIKOVSKAIA, A. K.; LAZAREVA, V. P. 1950. Metodika sostavleniya inzhenerno-geologicheskikh kart [Techniques de compilation des cartes géotechniques]. Moscou, Gosgeolizdat.
- SANEJOUAND, R. 1972. *La cartographie géotechnique en France*. Ministère de l'équipement et du logement. 96 p.
- ### 8.3 Cartes géotechniques publiées
- BRABB, E. E.; PAMPEYAN, E. H.; BONILLA, M. G. 1972. *Landslide susceptibility in San Mateo county, California*. (U.S. Geol. Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-310.)
- BROWN, R. D. Jr. 1972. *Active faults, probable active faults, and associated fracture zones, San Mateo county, California*. (U.S. Geol. Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-355.)
- BRYANT, B. 1972. *Folio of the Aspen Quadrangle, Colorado*. (U.S. Geol. Survey Miscellaneous Geologic Investigations Map I-785-A through G.)
- CHRISTIANSEN, E. A. (ed.). 1970. *Physical environment of Saskatchewan, Canada*, p. 68. (Saskatchewan Research Council, Natl. Research Council Canada Pub. 11378.)
- DEBAILLE, G.; GHISTE, S. 1969. *Carte géotechnique de la région de Mons*. Mons, Institut Reine Astrid. 44 p. et 4 cartes.
- FISHER, W. L.; MCGOWEN, J. H.; BROWN, L. F. Jr.; GROAT, C. G. 1972. *Environmental geologic atlas of the Texas coastal zone – Galveston – Houston area*. Bureau of Economic Geology, The University of Texas, Austin. 91 p.
- FÜLÖP, J. (ed.). 1969. *Engineering-geological map series (scale 1/10000) of the environs of Lake Balaton [A. Balaton Környekének 1/10000 – Es Epitesföldtani Terkepszorozata]*. Tihany. Budapest, Hungarian Geological Institute. (Magyar Allami Földtani Intézet.)
- RADBRUCH, D. H. 1969. *Areal and engineering geology of the Oakland East Quadrangle*. (U.S. Geol. Survey Geol. Quad, Map GQ-769.)
- RONAI, A. 1969. *The geological atlas of the Great Hungarian plain [Az Alföld Földtani Atlaza]*. Scale 1/100000. Budapest, Hungarian Geological Institute. (Magyar Allami Földtani Intézet.)
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 1967. *Engineering geology of the North-east Corridor, Washington, D.C., to Boston, Massachusetts [scale: 1/250000]*. (U.S. Geol. Survey Miscellaneous Geologic Investigations Map I-514-A through C.)
- WILLIAMS, P. L.; et al. 1971–1973. *Folio of the Salina Quadrangle, Utah*. (U.S. Geol. Survey Miscellaneous Geologic Investigations Map I-591-A through N.)

Les membres de la Commission des cartes de géologie de l'ingénieur de l'AIGI souhaitent exprimer leur gratitude à ceux qui ont mis à leur disposition les cartes originales à partir desquelles ont été établies les illustrations du chapitre 5. Un grand nombre de dessins originaux ont dû être effectués pour aboutir aux exemples de cartes en couleur. Les dessins des cartes 5.2.2.1, 5.2.2.2 et 5.2.2.3 ont été établis par le Département de la géologie de l'ingénieur et de l'hydrogéologie de l'Université Comenius à Bratislava (Tchécoslova-

quie); les légendes de ces cartes et les dessins de toutes les autres sont dus à M. Eric Lawson, Département de géologie de l'Université de Newcastle-upon-Tyne (Royaume-Uni). M^{lle} A. Thwaites et M^{me} S. Gaynor, de ce même département, ont dactylographié les nombreux avant-projets du texte ainsi que le manuscrit définitif. Sans cette aide extrêmement précieuse, que la commission apprécie vivement, le présent guide, premier fruit important de ses travaux, n'aurait pu être mené à terme.

