

Chapitre 5

ELEMENTS DE CARTOGRAPHIE

5.1. INTRODUCTION

Les nombreuses informations accumulées lors des reconnaissances doivent être mises à la disposition de l'utilisateur (ingénieur, urbaniste, fonctionnaire, etc.) sous une forme synthétisé, aisément compréhensible et exploitable. L'origine de la cartographie est cependant diverse et leur qualité souvent inégale :

- Observation de surfaces présentées sous forme de cartes géologiques, dont la précision varie en fonction de l'échelle, de la qualité du fond topographique initial, des conditions d'affleurement.
- Grandeurs mesurées sur le terrain lors d'essais par procédés géophysiques
- Observations réalisées au sein même du massif grâce à des galeries, puits, tranchées, sondages mécaniques.
- Grandeurs mesurées au laboratoire sur les échantillons.

La collecte, la coordination, l'interprétation de ces données parfois assez disparates et, finalement, la présentation intelligible de l'ensemble ne sont pas toujours aisées. Cela constitue cependant une part très importante du travail du géologue

5.2. LE RAPPORT GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

C'est la forme de présentation synthétique la plus fréquente. Le géologue et le géotechnicien (qui peuvent être une seule et même personne) y rendent compte, en fonction du projet technique à l'étude duquel ils concourent, et l'ensemble des données relevant de leurs spécialités, et dégagent clairement l'essentiel de ce qui est nécessaire au bureau d'études ou à la surveillance des travaux.

Les levés de terrain sont traduits par des cartes géologiques adaptées aux ouvrages prévus ; les coupes indispensables sont sélectionnées et présentées clairement sans détails superflus. Ces divers documents, qui restent par ailleurs très classique dans leurs conception (si ce n'est pas leurs échelle, qui peu être très grande), sont renseignés en fonction des qualités géotechniques des terrains présents à l'aide des données obtenues in situ ou au laboratoire. L'attention du projeteur est attirée sur toutes les particularités du sous-sol susceptibles d'influer sur la conception, la sécurité, ou le prix de revient de l'ouvrage. Dans certain cas même, si l'expérience du géologue ou du géotechnicien sont suffisantes, certaines particularités de construction ou bien certains modes d'exécution peuvent être recommandés.

Ce moyen d'expression est le seul qui, par sa souplesse et sa précision (fonction des moyens mis en œuvre), puisse s'adapter aux diverses phases de l'étude et de la réalisation d'un projet de génie civil en fournissant, au moment voulu, les données nécessaires sous une forme immédiatement utilisable. Il comprend en effet, presque toujours, les rubriques suivantes :

- Morphologie,
- Nature géologique des terrains,
- Données structurales, fracturation,
- Hydrogéologie,
- Identification géotechnique,
- Caractéristiques physiques et mécaniques (compte rendu des mesures in situ et au laboratoire,
- Calculs éventuels,
- Conclusions et recommandations diverses.

5.3. LA CARTOGRAPHIE GEOTECHNIQUE

Lorsque les problèmes géologiques doivent être examinés dans un cadre plus vaste que celui d'un ouvrage considéré isolément, des besoins nouveaux se font sentir. C'est le cas pour tout ce qui touche aux opérations très complexes d'aménagement du territoire. Pour un aménagement donné, le choix du parti initial doit prendre en compte une très grande quantité de paramètres, au nombre desquels ceux qui relèvent de la géologie ne sont pas les moins importants ni les plus commodes à appréhender et à introduire dans une planification. Les conséquences peuvent pourtant engager l'avenir, et cela vient d'être constaté et reconnu par la puissance publique qui impose désormais, par voie légale, des études d'impacte

sur l'environnement pour tout aménagement d'une certaine importance. Si l'échelle est régionale, la masse des informations géologiques et géotechniques devient alors très considérable, leur répartition spatiale est plus délicate à approcher et les moyens d'expression vont devoir s'adapter. Au rapport géologique trop ponctuel, on s'efforce alors de substituer un mode particulier de représentation, essentiellement graphique : la cartographie géotechnique.

La géologie de l'ingénieur a pour objet de donner aux ingénieurs et aux bureaux d'études les informations qui leurs 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 (notamment les barrages, les tunnels) les villes, 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.

Les cartes géotechniques sont l'une des contributions possibles des spécialistes des sciences de la terre aux opérations d'aménagement et cette intervention doit être située très en amont du processus afin que des décisions malencontreuses ne puissent être prises de façon irréversible dans l'ignorance des données naturelles. Un exemple parmi d'autres soulignera les inconvénients que risque d'entraîner une analyse incomplète de facteurs parfois antagonistes. Il est plus facile de construire sur des terrains plats à sous-sol alluvionnaire mais, ce faisant, on risque de stériliser des gisements précieux de matériaux de construction.

5.3.1 Caractères généraux des cartes géotechniques

Selon le guide de UNESCO cité en référence, les objectifs généraux de la carte géotechnique doivent être les suivants :

- Rassembler et représenter l'information objective nécessaire pour évaluer les caractéristiques géotechniques dont la connaissance est indispensable dans le triple domaine de l'aménagement régional, de la construction et de l'exploitation minière.
- Permettre la prévision des modifications des conditions géologiques que risque d'entraîner les travaux et suggérer les mesures préventives nécessaires.
- Présenter l'information géologique et géotechnique d'une façon accessible aux professionnels qui l'utilisent et qui ne sont pas forcément géologues.

5.3.2 Définition et contenu de la carte géotechnique

Le terme géotechnique peu paraître assez vague mais, si l'on adopte une définition de K. Terzaghi, il recouvre bien l'essentiel des préoccupations énumérées ci-dessus. Selon le célèbre mécanicien des sols « la géotechnique est destinée à regrouper les données les plus significatives des domaines de la mécanique des sols et de la géologie de l'ingénieur. Ces deux domaines sont si étroitement liés qu'il serait vain de demander quel est le plus important ».

Ce point de vue se trouve illustré par la parenté souvent étroite qui existe entre les cartes géologiques usuelles et les cartes géotechnique. Cela est bien normal puisqu'elles représentent, chacune de leurs façons, un même terrain. La carte géotechnique peut donc se définir, comme une carte géologique fournissant des renseignements d'ordre générale 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.

Le praticien non géologue est donc en droit d'y trouver les informations à caractère technique qu'il rencontrera rarement sous une forme qui lui convienne sur la carte géologique classique. Cette dernière en outre, par la richesse des informations qu'elle dispense, par sa symbolique particulière et son vocabulaire spécialisé, orienté vers la géologie fondamentale plutôt que vers les aspects techniques, peut rebuter les utilisateurs occasionnels que sont les techniciens du génie civil ou ne pas répondre à leurs besoins.

La carte géotechnique essaie de simplifier leur tâche et d'éviter les erreurs d'interprétation. Pour cela, elle commence par représenter isolément les facteurs géologiques jugés indispensables tels que :

- Lithologie et structure,
- Hydrogéologie,
- Géomorphologie,
- Phénomènes géodynamiques.

Ensuite, elle s'efforce de qualifier les constituants du sous-sol en terme géotechniques par la réalisation de mesures in situ et au laboratoire qui viennent en complément des descriptions géologique elles-mêmes simplifiées. Toutes ces informations sont rassemblées dans une notice explicative, illustrée de coupes et de schéma divers.

5.3.3 Choix des informations géologiques et géotechniques

L'utilisation du sol et du sous-sol en matière de l'aménagement du territoire peut s'envisager sous quatre aspects principaux :

- Comme terrain de fondation ou dessiné à la construction souterraine,
- Comme milieu aquifère,
- Comme milieu susceptible d'engendrer ou de subir certains risques,
- Comme source de matériaux de construction.

La réponse à toute question relative à l'un quelconque de ces points de vue pourra nécessaire des informations telles que :

- Répartition en plan et en volume des informations constitutantes le sous-sol,
- Identification géotechnique et propriétés mécaniques de ces formations,
- Utilisation pratique qui peut en être faite
- Données morphologiques, notamment l'intensité des pentes,
- Données hydrogéologiques,
- Risques naturels

Cette simple énumération souligne la complexité du problème graphique. De plus, il est souvent nécessaire de représenter tout à la fois des données fixes dans le temps et les données variables comme les niveaux piézométriques. Le risque est grand d'aboutir à une carte illisible ou d'emploi mal commode.

La figuration doit donc atteindre un certain degré de simplification, qui dépend essentiellement de l'usage que l'on veut faire de la carte, de son échelle, de l'importance relative des facteurs, de la précision des données et des techniques utilisées.

5.3.4 Classification des cartes géotechniques

Les cartes géotechniques sont classées selon leur usage, leur contenu et leur échelle.

On distingue tout d'abord les cartes à *usage particulier* (qui insistent sur un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur ou bien sur une application particulière) et les cartes à *usages multiples*, plus polyvalentes.

Le contenu, quand à lui, peut-être variable. Les *cartes analytiques* ou cartes de facteurs représentent la répartition d'un facteur donné (carte des pentes, carte du toit de la nappe, etc.).

De conception différente, les cartes synthétiques peuvent revêtir trois aspects :

- Regroupement et figuration, sous une forme compréhensible, de tous les éléments de la géologie et géotechniques utiles à l'ingénieur.
- Zonage géotechnique, par regroupement des terrains présentant des propriétés géotechniques voisines.
- Carte d'aptitude, qui s'efforce d'interpréter les effets de la superposition et de la juxtaposition d'un certain nombre de facteurs géologiques et géotechniques élémentaires en vue d'une application précise (carte d'aptitude aux fondations de bâtiment par exemple).

Il existe aussi les *cartes auxiliaires* qui présentent des données indispensables à la compréhension de la carte géotechnique, telle que la carte de documentation (qui indique tous les emplacements de reconnaissance, mesures, prélèvement d'échantillons, etc.).

Selon leur échelle, les cartes géotechniques sont dites :

- A grande échelle : > 1/10000.
- A moyenne échelle : entre 1/10000 et 1/100000.
- A petite échelle : < 1/100000.

5.3.5 Les cartes de facteurs

Les facteurs géologiques les plus couramment représentés sont :

- Lithologie et propriétés des terrains.
- Géomorphologie.
- Hydrogéologie.
- Géodynamique externe.

5.3.5.1 Lithologie et propriétés des terrains

Les données sont nombreuses et divers aspects doivent être dégagés. Il convient en effet de rendre compte, tout à la fois, de la nature géologique, des propriétés mécaniques, de l'existence et de l'abondance des formations d'altération ainsi que, le cas échéant, des épaisseurs dont la connaissance, même approchée, est jugée indispensable.

5.3.5.2 Géomorphologie

L'analyse des formes de relief est d'un très grand intérêt pratique en matière de géologie de l'intérieur, et une bonne carte géotechnique devrait s'appuyer systématiquement sur une étude géomorphologique approfondie. Dans bien des cas en effet, et notamment pour les formations superficielles, c'est la reconnaissance de leurs formes extérieures qui permet de remonter à leur genèse et donc à la prévision de leur nature et de certaines de leurs propriétés. L'étude géomorphologique sera bien souvent la base de la distinction des ensembles lithologiques, de propriétés géotechniques assez fréquemment homogènes, représentés cartographiquement.

Par ailleurs, les études de risques naturels font appel systématiquement à la géomorphologie pour l'analyse des conditions de stabilité des pentes et la recherche des indices de mouvement. De ce point de vue, on utilise fréquemment, en géotechnique, la carte des pentes, qui consiste à délimiter, sur une carte topographique classique, les surfaces sur lesquelles la pente du terrain est sensiblement constante, selon une gamme choisie à l'avance telle que : 5%, à 5 à 10%, 10 à 20%, 20 à 30%, > 30%.

5.3.5.3 Hydrogéologie

Les eaux de surface et les eaux souterraines jouent un rôle déterminant en matière d'aménagement et la cartographie géotechnique ne peut les ignorer. Du point de vue de l'hydrogéologie classique, un très grand nombre d'information pourrait être représenté et des simplifications sont nécessaires.

Un choix s'impose donc pour éviter l'encombrement des cartes géotechniques par la représentation des facteurs hydrogéologiques, et les spécialistes paraissent d'accord pour s'en tenir aux données suivantes :

- Hydrologie de surface et souterraine.
- Répartition des perméabilités superficielles.
- Figuration des diverses nappes (iso pièzes, direction d'écoulement, éventuellement vitesse, degré de minéralisation...)

La représentation graphique sera différente selon l'échelle et le degré de précision de la carte.

- A petite échelle, on optera souvent pour des chiffres et des symboles en surcharge.
- A moyenne échelle, outre les données fixes correspondant aux eaux de surface, il faudra indiquer la forme du toit de la nappe pour les eaux souterraines.
- A grande échelle, on pourra fournir graphiquement des informations précieuses pour l'aménagement telles que cartes en isobathes, isohypsies et de battement de nappe. La carte en isobathes, qui traduit la profondeur de la nappe sous la surface du sol, est de première importance en génie civil, pour tous problèmes de fondations et de terrassement. Par ailleurs, grâce à ce mode de représentation, on peut en partie tourner la difficulté de représentation des grandeurs variables dans le temps.

5.3.5.4 Géodynamique

Sous cette rubrique les mouvements des sols, l'érosion ainsi que les activités sismiques et volcaniques. Toutes ces manifestations interviennent du point de vue géotechnique aussi bien que socio-économique, comme des facteurs de risque vis-à-vis des activités et réalisations humaines.

5.3.6 Les cartes d'aptitudes

Ce sont des documents qui réalisent la synthèse de plusieurs facteurs en vue d'une utilisation donnée.

La carte d'aptitude ne peut procéder que par zonage géotechnique à une certaine échelle, ce qui conduit à deux méthodes de cartographies distinctes :

- Classement qualitatifs de chacun des ensembles lithologiques reconnus (bon, moyen ou mauvais par la qualité) en fonction d'une application donnée (terrassement, fondation, stabilité, etc.).
- Regroupement, sans distinction, des divers ensembles lithologiques d'une région donnée ayant en commun des caractéristiques géotechniques suffisamment proches (même facteur de portance, même rippabilité, etc.).

5.3.7 Illustration et documents explicatifs

Les divers types de cartes évoquées constituent les documents essentiels du dossier. Leur présentation n'est pas normalisée et chaque auteur doit s'efforcer de trouver celle qui lui paraît la mieux adaptée à chaque cas particulier.

Pour expliquer les cartes géotechniques, il est souhaitable que quelques documents complémentaires soient mis à la disposition de l'usager :

- Les coupes géotechniques, destinées à une échelle suffisante, soulignent ce qui est une information objective (résultat de forage par exemple) et une hypothèse interprétative. Utilisant une figuration analogue à celle de la carte, elles permettent à l'utilisateur d'accéder à la troisième dimension.
- La carte de documentation est indispensable pour situer les forages, tranchées, excavations diverses, puits, etc. Elle peut en indiquer également les coupes sommaires par une symbolique appropriée, ainsi que la profondeur maximale atteinte, les prélèvements d'échantillons, les points de mesure hydrogéologiques, etc.
- La notice explicative et la légende permettent, d'une part, de récapituler et d'expliquer les symboles et figures cartographiques, d'autre part, de donner sous la forme d'un texte toutes les informations complémentaires indispensables à la présentation complète de la région et des propriétés des constituants de son sous-sol.

5.4. LES CARTES DE RISQUES NATURELS

La plus grande partie des processus géodynamiques externes peuvent constituer une source de danger pour les établissements et activités humaines, au même titre que certaines manifestations de l'activité géodynamique interne (sismicité, volcanisme). Ils introduisent donc un risque plus ou moins prévisible et comme, dans la plus grande partie des cas, la sécurité publique se trouve mise en jeu, il est du devoir de l'administration de prendre un certain nombre de mesures et d'adopter des dispositions réglementaires. Encore faut-il qu'elles reposent sur des bases sûres (texte précis) et qu'elles ne contreviennent point à quelques grands principes du droit.

5.4.1 Principe de la cartographie des risques naturels

Au sens le plus large, les risques naturels englobent les effets d'agents géodynamiques tels que les précipitations (érosion, inondations, avalanches, etc.), les mouvements du sol (glissement, éboulement, affaissement), les séismes et le volcanisme.

Le principe général de la cartographie des risques naturels est simple. Il s'agit d'une région donnée, de définir les divers types de risques naturels susceptibles d'y développer leurs effets et de délimiter, sur un fond topographique convenable, les surfaces qui peuvent en subir les conséquences. A l'intérieur des contours ainsi tracés, on pourra s'efforcer de graduer l'importance du risque par l'analyse des facteurs qui concourent à son existence.

En fait, la réalisation pratique n'est pas simple pour quatre raisons essentielles :

- Le terme risque peut s'entendre de diverses façons.
- Il existe des risques « déclarés » (glissement de terrains actif par exemple) et des risques potentiels (pente de stabilité douteuse).
- Le tracé des limites ne peut résulter d'un processus scientifique rigoureux.
- Chaque catégorie de risque obéit à un déterminisme, propre, dont les composantes sont inégalement connues et surtout déterminables.

5.4.1.1 Définition des risques pris en compte

La définition courante du terme de risque associe l'idée de péril à l'effet du hasard. Elle paraît donc bien adapter aux buts poursuivis ici car elle implique :

- La réalisation d'un événement lié à une « force majeure » (d'origine géodynamique pour les risques naturels).
- La définition du risque par rapport à l'homme menacé dans ses biens ou sa personne.

On entend couramment par risque déclaré toute manifestation géodynamique en cours d'évolution (glissement actif) ou dont la périodicité de reproduction est avérée (chute de blocs, avalanche...) et qui affecte une zone donnée, aisément reconnaissable. Il est bien évident que toute cartographie de risques naturels commencera par la recherche de telles zones et par leur délimitation.

A l'inverse, la notion de risque potentiel s'applique à toute situation statique présentant les caractères apparents d'un équilibre ou d'une absence de danger, mais dont l'analyse conduit à penser qu'elle peut n'être que transitoire.

Ainsi une forte pente conforme à la schistosité ne présente souvent aucun indice de mouvement actuel ou ancien, mais l'expérience courante montre qu'il suffit parfois d'une modification dans le réseau d'écoulement interne du massif ou d'un changement des conditions aux limites (excavation, surcharge...) pour d'enclencher un mouvement de grande envergure.

5.4.1.2 Le tracé des limites

Toute cartographie nécessite le tracé de limites. En topographie, en géologie et dans tous les domaines où l'on décrit par cette méthode des objets concrets, ce problème est résolu sans trop de difficultés.

Il en va bien différemment en matière de risque, où cette opération échappe encore à une méthode scientifique éprouvée. Le meilleur exemple est fourni par le cas, très fréquent, de la délimitation des zones soumises à des chutes de blocs, la technique habituelle consiste à rechercher, sur des photographies aériennes et les terrains, la cote minimale atteinte par les blocs éboulés dans le passé. Cela donne théoriquement la limite la plus sûre ; en pratique, on se contente souvent d'une limite plus subjective, correspondant par exemple aux cotes au-dessus desquelles se rencontrent la majorité de blocs mais, ce faisant, on ne peut se prémunir contre les conditions exceptionnelles difficilement prévisibles par ailleurs. Enfin, et c'est peu être là que sur le plan pratique réside la plus grande difficulté, il faut bien se rendre compte que la création d'une limite cartographique peut devenir administrativement contraignante, surtout si la carte sert de base à la confection d'un plan réglementaire opposable aux tiers. Il y a là évidemment une source de conflits entre l'administration et les particuliers, ce qui requiert, pour ne pas rendre les situations trop difficiles, le plus grand sérieux dans le travail cartographique.

5.4.2 Exemple de carte des risques naturels

La figure 5.1 présente une carte de risque naturel du département de l'Isère (France)

