

Filière Géotechnique (aménagement - génie civil ; BTP)

La Rédaction¹.

Le domaine professionnel

La géotechnique intervient dans toutes les activités du Bâtiment et des Travaux publics (BTP) et concerne tout ce qui relève des interactions entre sol/sous-sol et structure. À ce titre, elle englobe la caractérisation du sol/sous-sol du bâtiment ou de l'aménagement à construire et contribue à la définition des fondations à retenir et des aménagements associés à prévoir.

Elle intervient, en premier lieu, en amont du projet. Elle intervient aussi au cours des phases de conception et d'exécution du projet. Elle intervient enfin lorsqu'il s'agit de remédier à un désordre dans lequel il est très courant que la composante sol-sous-sol soit impliquée.

La géotechnique ne constitue pas une finalité en soi ; elle est subordonnée à un type d'équipement qui doit être construit dans un site ou une zone donnée. Elle peut intervenir dans le choix du site, mais le plus souvent son objectif est de fournir les caractéristiques relevant du sol-sous-sol dont la prise en compte est nécessaire pour la stabilité de la construction.

Classement des activités

Le classement par discipline – mécanique des sols, mécanique des roches, hydraulique souterraine... – qui conduit

principalement à la définition de méthodes de mesure, de caractérisation et de calcul, n'a pas été retenu comme pertinent comme base de classement des activités.

Ensuite, trois approches ont paru possibles :

1. par nature des organismes au sein desquels la géotechnique est exercée : maîtres d'ouvrage, bureaux d'études et maîtres d'œuvre, entreprises, contrôleurs, experts, laboratoires, etc. ;
2. par phase de vie d'un projet : études, travaux, exploitation... ;
3. par « corps de métier » participant à l'acte de construire, ce qui revient au type d'ouvrage : terrassements, fondations, ouvrages d'art, ouvrages souterrains, etc.

Finalement, c'est la 3^{ème} voie qui a été retenue en s'appuyant sur la nomenclature proposée par la Fédération nationale des travaux publics (FNTP), complétée par la nomenclature de l'Institut national pour la statistique et les études économiques (INSEE) pour la partie construction. Le tableau 1 ci-après présente la nomenclature retenue dans laquelle ont été insérés les codes FNTP et les codes INSEE. La correspondance n'est pas parfaite entre les deux nomenclatures. Une autre référence, celle utilisée par « le Moniteur » pour son enquête sur les entreprises, n'a finalement pas été utilisée.

Tableau 1. Classement des activités de travaux publics et construction

Sources :

- Nomenclature des travaux publics. Fédération nationale des travaux publics (FNTP), édition mars 2004.

- Nomenclature d'activités françaises INSEE, NAF ref. 1, 2003. Domaine FA, secteur 45 (Construction).

FNTP	INSEE	Dénomination	Descriptif
Néant	45-2 A	Construction de maisons individuelles	- Construction. - Montage d'éléments préfabriqués.
Néant	45-2 B	Construction de bâtiments divers	- Immeubles résidentiels. - Bâtiments industriels. - Bâtiments commerciaux. - Montage d'éléments préfabriqués (bâtiments résidentiels, non résidentiels et autres ouvrages).
0	45-2 C et R (barrages, digues)	Ouvrages d'art et d'équipement industriel	- Barrages, ponts digues, passages souterrains, pylônes... - Génie civil pour l'industrie : usines, centrales électriques, stations de pompage et de traitement des eaux, réservoirs, égouts et collecteurs, silos...
1 - A	45-1 A et B	Terrassements	- Terrassements constituant par eux-mêmes un ouvrage : déblais ou remblais routiers, digues, canaux... - Terrassements permettant la construction d'ouvrages ou l'exécution de travaux.

1. Remerciements à Marc Blanchin (Antea), Nathalie Borie (Bureau Veritas), Bruno Demay (Saipem), Alice Roux (Total), Pierre Duffaut (CFG), Jean-Luc Dessenne (Antea), Raymond Ramoussin (Sobesol), Daniel Roucheux (Geolabo) pour leur aide dans l'élaboration de ce document.

LES RUBRIQUES

FNTP	INSEE	Dénomination	Descriptif
1-B	45-2 U	Fondations spéciales et procédés d'exécution particuliers	<ul style="list-style-type: none"> - Fondations et consolidations de sols par profils interposés : pieux, palplanches, caissons, puits. - Procédés d'exécution particuliers liés aux travaux de fondation : rabattement de nappe, puits et forages de consolidation ou de drainage, béton immergé, parois moulées... - Travaux de reconnaissance, consolidation et étanchement des sols : forages, injections, confortement de parois rocheuses, micropieux de diamètre inférieur à 250 mm, travaux de protection contre les avalanches ou les éboulements rocheux. - Travaux spéciaux : forages de recherche et d'exploitation pour géothermie ou stockage souterrain, forages horizontaux et dirigés, puits et forages auxiliaires en carrière, compactage de sols, fonçage de canalisation par poussage.
1-C	45-2 D	Travaux souterrains	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux en site urbain. - Travaux en site naturel non urbanisé. - Travaux spéciaux : aménagements miniers, réparation et entretien d'ouvrages souterrains en site urbain, étanchéité, travaux en petite section inaccessibles à l'homme.
2	45-2 R	Travaux en site maritime ou fluvial	<ul style="list-style-type: none"> - Dragage, déroctage. - Battage. - Travaux subaquatiques. - Travaux spéciaux : mise en place d'éléments préfabriqués d'ouvrages en élévation, protection, stabilisation, étanchéité d'ouvrages et de berges, revêtements en béton de ciment, faucardage (plans d'eau, rivières...).
3	45-2 P	Travaux de routes, d'aérodromes et travaux analogues	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation et entretien des corps de chaussées, revêtements et ouvrages accessoires de routes de tous types (autoroutes, voies express, voie rapides, routes diverses), de pistes d'aérodromes, de voies de circulation ou de stationnement assimilables à des routes, dans les ensembles industriels et commerciaux, publics ou privés, ainsi que les plate-formes spéciales pour terrains de sport (tennis, pistes, etc.). Ces travaux sont répartis en trois grandes catégories correspondant à la réalisation de chaussées souples, chaussées rigides et activités communes à tous types de chaussées.
4	45-2 N	Travaux de voies ferrées	<ul style="list-style-type: none"> - Installation (lignes sur voie ballast ou voie béton), renouvellement et entretien de voies ferrées et de leurs structures annexes. Équipements de fonctionnement ou de contrôle des structures fixes ou annexes.
5	45-2 E (réseaux) 45-1 D (forages et sondages)	Travaux de la filière eau et environnement	<ul style="list-style-type: none"> Besoin des agglomérations urbaines et rurales, des collectivités, des industries... - Captages : puits, sondages et forages, réseaux de drains rayonnants, ouvrages de prise d'eau en rivière ou captages de sources. - Pompage, refoulement, prélèvement : équipements de stations pour eaux usées, eaux à usage public, industriel et agricole, eaux pluviales, bassins tampons et vantellerie ; matériel de télétransmission et d'acquisition de données pour la gestion des réseaux d'eau. - Génie civil de l'eau et de l'environnement : réservoirs, châteaux d'eau, piscines, bassins liés à l'épuration des eaux usées, ouvrages de lagunage, stations de pompage, stations d'ordures ménagères. - Traitement des eaux de consommation. - Réseaux d'adduction et de distribution d'eau sous pression. - Réseaux d'évacuation d'eaux usées ou pluviales. - Construction de réseaux de canalisations par procédés spéciaux. - Travaux de réhabilitation sans tranchée. - Réhabilitation du génie civil de l'eau et de l'environnement.

FNTP	INSEE	Dénomination	Descriptif
6	45-2 F	Travaux électriques	<ul style="list-style-type: none"> - Lignes aériennes à très haute tension. - Réseaux aériens HTA et BT. - Lignes aériennes de traction électrique. - Centrales publiques. - Postes jusqu'à 36 KV inclus - installations industrielles et centrales privées. - Grands postes. - Canalisations électriques souterraines HTA, BT. - Canalisations électriques souterraines HTB. - Signalisation, éclairage public et techniques de protection. - Lignes pour courants faibles - Télécommunications.
7	45-1 E (réseaux)	Travaux de canalisations de transport et de distribution de gaz et fluides divers	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de pose de réseaux de canalisation de transport de gaz et fluides divers sous pression.
8	45-2 C	Ouvrages d'art et d'équipement industriel en construction métallique	<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrages exécutés en site terrestre, fluvial ou maritime : ponts fixes et mobiles, vannes de barrage, portes d'écluse, élévateurs et ascenseurs à bateaux, ossatures de charpentes industrielles de centrales thermiques ou nucléaires, ossatures de halls industriels, installations pour sidérurgie, chimie et pétrochimie, textile, etc.
9	45-2 E	Travaux de génie agricole	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux connexes au remembrement. - Travaux hydrauliques. - Travaux d'assainissement et de drainage des sols. - Travaux de protection et de fixation des sols contre l'érosion par fascinage (assemblages de branches ou fascines) ou ensemencement. - Travaux d'élagage. - Équipements pour arrosage de cultures et espaces verts. - Défrichage, désouchage. - Aménagement de décharges. - Travaux d'équipement forestier.

Une autre approche du classement des activités est celle des missions. Élaborée par l'Union syndicale géotechnique (USG), elle a conduit à une norme qui est maintenant acceptée par tous (Tabl. 2). Ce découpage par

missions vise essentiellement à fixer les limites de chacune des prestations offertes par le géotechnicien. Il s'agit donc d'un dispositif de protection par rapport à un type d'étude, pas d'une référence par rapport à un type d'activité.

Tableau 2. Classification des missions géotechniques (norme NF P 94 500 du 5 juin 2000).

Numéro et Titre	Commentaire
Go : Exécution de sondages, essais et mesures géotechniques	Exécution selon programme défini dans mission type G1 à G5. Exclut toute activité d'étude, conseil ou interprétation.
G1 : Étude de faisabilité géotechnique	Exclut toute approche des quantités, délais et coûts des ouvrages.
- G11 : Études préliminaires	<ul style="list-style-type: none"> - Enquête préliminaire. - Définition éventuelle d'une mission Go. - Rapport d'étude sans prédimensionnement. - Doit être suivie par une mission G12.
- G12 : Étude de faisabilité des ouvrages géotechniques	<ul style="list-style-type: none"> - Phase 1 : définir, suivre et exploiter les résultats d'une mission Go. - Phase 2 : présenter des exemples de prédimensionnement.
G2 : Étude de projet géotechnique	<ul style="list-style-type: none"> - Prévue et intégrée dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre. - Phase 1 : si nécessaire définir, suivre et exploiter les résultats d'une mission Go ; notes techniques sur les méthodes d'exécution retenues pour les ouvrages géotechniques. - Phase 2 : Établir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution d'ouvrages géotechniques ; assister le client pour la sélection d'entreprises et l'analyse technique des offres.
G3 : Étude géotechnique d'exécution	<ul style="list-style-type: none"> - Si nécessaire, définir, suivre et exploiter les résultats de la mission Go. - Étude de détail des ouvrages géotechniques : validation hypothèses, définition, dimensionnement, méthodes et conditions d'exécution.

Numéro et Titre	Commentaire
G4 : Suivi géotechnique d'exécution	- Suivre et adapter si nécessaire l'exécution des ouvrages géotechniques ; définition d'un programme d'auscultation et des valeurs-seuils correspondantes. - Si nécessaire, définir, suivre et exploiter les résultats de la mission Go. - Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et recommandations de maintenance.
G5 : Diagnostic géotechnique	
- G51 : Avant, pendant ou après construction d'un ouvrage sans sinistre	- Si nécessaire, définir, suivre et exploiter les résultats d'une mission Go. - Étude approfondie d'un élément géotechnique spécifique.
- G52 : Sur ouvrage avec sinistre	- Définir une mission Go spécifique ; suivre et exploiter les résultats. - Rechercher les causes géotechniques du sinistre. - Donner une première approche des remèdes envisageables. - Réalisation ultérieure d'une étude de type G2.

Classement des métiers

Pour le classement des métiers, on pouvait s'appuyer sur le classement des activités, par nature d'organisme (employeur) impliqué ou par nature d'ouvrage. Certains ont suggéré de faire un seul métier du géotechnicien.

Finalement, la réflexion a conduit à retenir un combiné des deux approches, en mettant l'accent sur la fonction de l'employeur, laquelle conditionne les modalités d'intervention du géotechnicien, ce qui conduit à distinguer les fiches métiers de géotechnicien suivantes :

- Géotechnicien assistant au maître d'ouvrage.
- Géotechnicien de maîtrise d'œuvre (bureau d'études...).
- Géotechnicien d'entreprise de bâtiment et travaux publics (BTP).
- Géotechnicien d'entreprise de sondage.
- Géotechnicien de bureau de contrôle.
- Géotechnicien de laboratoire.
- Géotechnicien de travaux pétroliers.

Fiche métier : géotechnicien assistant au maître d'ouvrage

DÉFINITION DU DOMAINE

La chaîne d'intervention dans un projet comporte trois partenaires centraux :

- le maître d'ouvrage, responsable de l'opération qui se fait aider par un bureau d'études agissant en tant qu'assistant au maître d'ouvrage (AMO) ;
- le maître d'œuvre, responsable du projet, « l'architecte » qui le conçoit et qui conduit sa réalisation ;
- l'entrepreneur, responsable de la construction de l'ouvrage.

L'assistant au maître d'ouvrage est responsable de la définition du programme, de sa planification, des référentiels et du contrôle de la qualité et des performances. En ce qui concerne le domaine géologique, il est responsable des données et de leur collecte : reconnaissance des sols, essais « *in situ* » et en laboratoire. À ce titre, il conçoit le cahier des charges que le maître d'ouvrage passera avec les différents intervenants concernés c'est-à-dire les bureaux d'études géotechniques ou les ingénieries chargées des prestations de maîtrise d'œuvre, afin d'identifier et de caractériser les sols et de définir le contexte géologique et hydrogéologique.

Le maître d'œuvre, un bureau d'études géotechniques ou une structure spécialisée « sols » d'une ingénierie, assure l'interprétation des données et le dimensionnement des ouvrages (fondations, structure...) ainsi que les méthodes constructives. Il travaille dans le cadre d'un contrat spécifique de prestations intellectuelles passé par le maître d'ouvrage.

Enfin l'entrepreneur, qui lui aussi signe un marché d'études d'exécution et travaux avec le maître d'ouvrage, choisit et met en œuvre les méthodes de construction en adéquation avec les contraintes géologiques du site.

L'objectif de l'intervention de l'AMO est de connaître de manière exhaustive les caractéristiques des terrains sur lesquels le projet sera construit. S'appuyant sur l'analyse des documents existants qui lui donnent une vision géologique du site, des contraintes environnementales et d'un état des travaux éventuels antérieurs, il définit la densité et la nature des reconnaissances qui devront être conduites. Il fait souvent procéder à des reconnaissances géophysiques, que ce soit pour optimiser l'im-

plantation des sondages ou pour obtenir l'image géologique et géotechnique entre les sondages réalisés. En fonction du type d'ouvrage à construire, il va également déterminer les caractéristiques géotechniques du site, nécessaires à l'ingénieur pour dimensionner les ouvrages et définir les méthodes constructives, en particulier dans les travaux souterrains. Dans le cadre de cette mission, l'AMO s'appuie sur le géotechnicien de reconnaissance (géologique, géophysique, hydrogéologique et géotechnique) et le géotechnicien de laboratoire (identification des terrains et définition de leurs caractéristiques géotechniques).

Par contre, l'interprétation des données recueillies et la détermination des incertitudes n'est pas de son ressort, mais de celles du maître d'œuvre auquel il fournit des données brutes.

Le maître d'œuvre, après analyse critique des données fournies, peut considérer qu'elles sont insuffisantes et demander dans un second temps des reconnaissances et essais complémentaires afin de mieux couvrir sa responsabilité en matière de conception et de réalisation des ouvrages. L'entreprise peut aussi demander, dans un troisième temps, des reconnaissances ou études complémentaires pour optimiser les méthodes de construction et leur adéquation avec le contexte géotechnique.

À noter qu'il peut être demandé au maître d'œuvre d'assurer aussi des prestations relevant habituellement de l'AMO « sols », c'est à dire la définition du programme des reconnaissances, leur planification et le contrôle de leur exécution.

Soulignons la démarche originale, initiée par le groupement de maîtrise d'œuvre SNCF-ARCADIS sur la ligne à grande vitesse (LGV) Est européenne, qui a consisté à établir un dossier géologique, géotechnique et hydrogéologique (DGGH) élaboré pour le maître d'ouvrage. Ce dossier est une pièce de référence claire et précise en cas de litige lors de la réalisation des travaux. Il comporte trois cahiers :

- A. Un recueil de données de reconnaissance constitué par le maître d'ouvrage .
- B. Un mémoire de synthèse établi par le maître d'œuvre.
- C. Les méthodes de construction proposées par le maître d'œuvre et retenues par l'entrepreneur.

Cette décomposition en trois cahiers correspond donc à trois responsabilités différentes.

TÂCHES

L'AMO (ou le maître d'œuvre, voir ci-dessus) définit les campagnes de reconnaissance (géologique, hydrogéologique, géophysique, et géotechnique) et leur enchaînement. Le choix est, bien entendu, défini au cas par cas, en adéquation avec l'ouvrage à construire. L'AMO doit planifier les reconnaissances et leur durée en prenant en compte les difficultés d'accès et les contraintes d'exécution, ainsi qu'un ordre de grandeur du coût afin que le maître d'ouvrage puisse mettre les entreprises soumissionnaires en concurrence. L'AMO doit établir le cahier des charges ainsi que les dossiers de consultation et de passation des marchés de reconnaissance, et également être capable de proposer une méthode de contrôle pour s'assurer de la qualité et de la vérité des données.

Globalement, un AMO « sol » sera compétent et performant s'il a été maître d'œuvre auparavant et s'il maîtrise les différentes méthodes de reconnaissances et d'essais. *A priori*, on ne devrait pas débiter une carrière comme AMO. Il faut apprécier les incertitudes géologiques, estimer l'impact coût et délais des aléas sur la réalisation d'un projet, mais aussi avoir des notions juridiques pour la passation de marchés, et connaître l'incertitude des incertitudes, autrement dit les ficelles du métier.

FORMATIONS

La connaissance des méthodes de reconnaissance et de laboratoire s'acquiert au travers de diverses formations d'ingénieur (Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, École nationale supérieure de géologie - ENSG...) et des Bac +5 universitaires spécialisés (Paris, Bordeaux, etc.). Il faut acquérir la culture du géologue, du géophysicien et du géotechnicien. C'est donc d'un diplôme de géologue qu'il s'agit. Pour l'AMO, une formation en structure n'est pas prioritaire bien que ce soit préférable pour dialoguer avec l'ingénieur structure ou le chef de projet. Ce n'est pas le cas au niveau du maître d'œuvre pour lequel la double compétence est nécessaire.

Sous cet angle, on distingue couramment deux sensibilités, le géotechnicien qui est d'origine géologue et qui acquiert une formation et une expérience structure, ou celui qui est d'origine ingénieur structure et qui acquiert une formation et une expérience de géologue. Selon les employeurs, on privilégie des profils de l'un ou de l'autre.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

L'acquisition de l'expérience personnelle s'acquiert en « tournant » entre différentes fonctions : entreprise de reconnaissance, bureau d'études, maîtrise d'œuvre, entreprise, AMO. Cette rotation est partielle et souvent possible dans les grandes ingénieries. Dans d'autres cas, il faut changer d'employeur. Cette situation optimale n'étant pas toujours réalisée, on peut la garder à l'esprit au titre des perspectives d'évolution.

Dans la situation actuelle, on distingue :

- les contrats de conception – réalisation avec un groupement d'entreprises et une ingénierie. Ce type de contrat traduit le souhait du maître d'ouvrage de traiter avec un opérateur unique ; cette organisation implique aussi un contrat entre l'ingénierie et l'entrepreneur de construction ;
- les contrats de conception et conduite de travaux et les marchés études et travaux ; il y a alors deux contrats différents, l'un avec l'ingénierie : celui de maîtrise d'œuvre (MOE), l'autre avec l'entreprise : celui de travaux.

Ces deux approches contractuelles vont perdurer. L'évolution récente se fait vers des contrats de partenariat. En effet, les formules habituelles conduisent à sérier les responsabilités plus qu'à créer une vraie solidarité entre acteurs. On évolue maintenant vers des contrats de partenariat selon lesquels les acteurs sont incités à avoir des objectifs qui convergent, les uns et les autres se trouvant ainsi intéressés à l'optimisation du projet. L'idée est de minimiser les contentieux récurrents entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre ou maître d'œuvre et entreprise.

On retiendra donc que le maître d'ouvrage, d'une part a tendance à transférer sa responsabilité sur ses partenaires (AMO, maître d'œuvre, entreprise) en signant des contrats clefs en mains et, d'autre part, évolue vers des contrats de partenariat s'appuyant sur une réalité de coûts (prix à terminaison des travaux plus élevés) en évitant le système des prix d'appel (plus bas) qui sont, eux, associés à des réclamations ultérieures. Pour le maître d'ouvrage, cette évolution a l'avantage de faciliter la programmation budgétaire et de respecter les coûts des opérations.

Pour le géotechnicien, cette évolution implique aussi la recherche d'une optimisation dans la maîtrise de la caractérisation des terrains et dans le contrôle des risques géologiques. Il est raisonnable de penser que cette évolution renforcera à la fois le métier de géotechnicien et le besoin de ses compétences, tout en gardant à l'esprit la nécessité que le dialogue avec l'ingénieur de construction soit renforcé et facilité dans un souci d'associer ces deux types de compétences.

Fiche métier : géotechnicien de maîtrise d'œuvre

DÉFINITION DU DOMAINE

Dans le domaine de l'aménagement du territoire, du génie civil et du bâtiment, le métier de géotechnicien de maîtrise d'œuvre est concerné par tous les projets de construction car ceux-ci sont tous soumis à une interaction sol-structure. Cette interaction conduit à définir *l'ouvrage géotechnique* comme l'ouvrage ou la partie d'ouvrage chargé de maîtriser cette interaction en contenant le terrain (mur de soutènement, soutènement d'un tunnel) ou en assurant la stabilité d'une construction (fondation, renforcement du sol).

Le domaine concerne donc les bâtiments, les ouvrages d'art (ponts, viaducs), les barrages qui reposent sur des fondations. Ces dernières, directement en contact avec le sol, doivent assurer la stabilité de l'ouvrage. Les déblais et les remblais des infrastructures linéaires (routes, autoroutes, voies ferrées, canaux) sont également des ouvrages géotechniques dont la stabilité doit être assurée. Les tunnels et les ouvrages souterrains sont, dans leur intégralité, des ouvrages géotechniques. Enfin, la mise en sécurité des pentes, des falaises ou des grands talus par des ancrages, des soutènements, concerne également ce métier.

TÂCHES

La première mission du géotechnicien qui participe à la conception d'un ouvrage ou d'un aménagement consiste à réunir toutes les données existantes sur la géologie et l'hydrogéologie du site et sur les matériaux qui constituent le sous-sol (caractéristiques physiques et mécaniques). Il devra alors apprécier les incertitudes du sous-sol, particulièrement celles qui sont pertinentes dans le cadre du projet.

La deuxième mission, dans la mesure où celle-ci n'est pas assurée par l'Assistant au maître d'ouvrage (voir la fiche métier correspondante) consistera alors à préparer un programme de reconnaissances destinées à lever ces incertitudes. Il devra alors choisir les méthodes (géophysique, sondages, tranchées, etc.) et estimer les quantités nécessaires en fonction de la nature, de l'importance et du nombre des incertitudes. Le niveau de la reconnaissance sera adapté au stade d'avancement du projet (faisabilité, avant projet sommaire ou détaillé, projet).

Le géotechnicien de maîtrise d'œuvre aura ensuite la responsabilité du suivi et du contrôle de la campagne de reconnaissance. Puis il devra interpréter les résultats des reconnaissances pour fournir aux ingénieurs de conception de l'ouvrage toutes les caractéristiques pertinentes du sous-sol pour l'adaptation, d'une part de la structure de l'ouvrage, d'autre part des méthodes constructives, à la géométrie et aux caractéristiques mécaniques du sous-sol. Souvent le géotechnicien de maîtrise d'œuvre jouera un rôle majeur dans le choix et dans le dimensionnement des ouvrages géotechniques du projet (fondation, soutènement, renforcement des sols, etc.).

Enfin, en phase de construction de l'ouvrage ou de l'aménagement, le géotechnicien suivra attentivement les phases de terrassement ou de creusement, au cours desquelles le sous-sol apparaîtra dans sa réalité. Il devra alors déceler très rapidement toute anomalie, tout écart par rapport à ses prévisions, de façon à prendre au plus vite les mesures qui s'imposent pour prévenir tout accident, pour modifier si nécessaire les méthodes constructives, voire la nature et les dimensions des ouvrages géotechniques.

FORMATIONS INITIALES ET PERMANENTES

Le métier de géotechnicien de conception ou de maîtrise d'œuvre requiert d'abord la connaissance du sol et du sous-sol dans

lequel seront fondés ou creusés les ouvrages. Une bonne formation en géologie et hydrogéologie est donc nécessaire.

Ensuite, le géotechnicien doit avoir des connaissances en mécanique des sols et mécanique des roches pour calculer la stabilité des fondations, des talus ou des cavités souterraines en fonction de la nature du sous-sol. Enfin, le géotechnicien doit connaître les principes constructifs des ouvrages (bâtiments, ouvrages d'art, barrages, etc.) et les méthodes d'exécution.

Les formations conduisant à ces compétences sont assez nombreuses mais elles privilégient généralement un ou deux des trois volets décrits ci-dessus. Les formations les plus complètes sont dispensées par les écoles d'ingénieurs (École nationale supérieure de géologie - ENSG, Polytechnique de Grenoble, École supérieure des travaux publics - ESTP, Institut nationale des sciences appliquées - INSA, École supérieure des ingénieurs de Poitiers - ESIP, Conservatoire national des arts et métiers - CNAM...). Les universités (Master) dispensent aussi des formations qui privilégient, en général, le volet géologie.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Le désengagement progressif des services extérieurs de l'État et des grands maîtres d'ouvrage publics de la fonction de maîtrise d'œuvre qu'ils exerçaient souvent en même temps que la fonction de maître d'ouvrage ouvre cette fonction à l'ensemble des bureaux d'études. Cette clarification des différentes missions contribue à préciser les responsabilités de chacun.

Ainsi, le géotechnicien qui exerce au sein d'un bureau d'études voit sa responsabilité s'accroître en accédant aux missions G2 (étude de projet géotechnique) et G3 (étude géotechnique d'exécution). Dans cette fonction, il doit prendre totalement conscience de l'économie du projet, mais il doit aussi s'assurer de la validité des solutions techniques qu'il aura préconisées car il sera confronté à la sanction de la réalisation.

Le géotechnicien de maîtrise d'œuvre participe donc directement à la conception d'un ouvrage ou d'un aménagement et endosse une part importante de responsabilité dans leur viabilité. C'est une évolution importante de la profession qui débouche actuellement sur un problème d'assurances. La profession de géotechnicien concepteur est une profession à risques (risques du sous-sol) et elle n'est pas actuellement rémunérée à la hauteur de sa responsabilité par les maîtres d'ouvrages, ce qui nuit à son développement, et peut nuire, à terme, à la qualité des études réalisées par les maîtres d'œuvre.

Fiche métier : géotechnicien d'entreprise de Bâtiment et Travaux publics (BTP)

DÉFINITION DU DOMAINE

Le domaine concerne l'ensemble de l'activité du bâtiment et des travaux publics. L'entreprise qui construit des ouvrages d'art, des routes, des autoroutes ou des voies ferrées, qui bâtit des immeubles ou qui creuse des tunnels aura souvent besoin d'un géotechnicien. Mais ce sont les entreprises spécialisées en traitement ou renforcement des sols, en soutènement, en parois moulées ou en fondations spéciales qui emploieront le plus grand nombre de géotechniciens.

Ainsi le champ d'activité du géotechnicien en entreprise spécialisée comprendra :

- les injections de renforcement des sols ou de traitement des massifs rocheux perméables ;
- le renforcement des sols par toutes sortes de méthodes (colonnes ballastées, vibroflottation, compactage dynamique, etc.) ;
- le renforcement de massif rocheux par clouage ou tirants d'ancrage ;
- la réalisation d'ouvrages de soutènement (murs à contrefort, parois moulées autostables ou butonnées, etc.) ;
- la réalisation d'enceintes étanches (parois moulées, rideaux d'injection ...) ;
- la réalisation de fondations spéciales (pieux de toutes sortes, puits, semelles profondes, barrettes, etc.).

TÂCHES

On distinguera le métier du géotechnicien travaillant dans une entreprise générale de BTP de celui du géotechnicien travaillant dans une entreprise spécialisée en ouvrages géotechniques. Dans une entreprise générale de BTP, le géotechnicien interviendra d'abord au stade de la préparation d'une offre, que ce soit dans le cadre d'un appel d'offre ouvert, d'un concours conception-construction, ou d'une offre de concession. Dans tous les cas, l'entreprise disposera d'un dossier, fourni par le maître d'ouvrage, contenant des informations et des données sur la géologie du site d'implantation de l'ouvrage.

Ces informations, détaillées ou le plus souvent succinctes, devront être contrôlées, analysées, complétées par le géotechnicien de l'entreprise qui en tirera les données utiles et pertinentes pour l'entreprise dans l'élaboration de son offre technique, dans le calcul de ses prix, éventuellement dans la recherche de solutions variantes plus attractives économiquement.

En phase de réalisation de l'ouvrage, le géotechnicien de l'entreprise vérifiera que les conditions géologiques et géotech-

riques rencontrées sur le chantier sont conformes aux conditions décrites par la maîtrise d'œuvre de l'ouvrage, ou par le maître de l'ouvrage s'il n'y a pas de maîtrise d'œuvre. À cette occasion, il notera les écarts notables qui pourront conduire l'entreprise à faire des réclamations.

Dans certains cas, le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre chargera l'entreprise de réaliser elle-même les reconnaissances géologiques et géotechniques complémentaires nécessaires à la réduction des incertitudes du sous-sol. Le géotechnicien de l'entreprise est alors en charge de l'élaboration du programme de reconnaissance, de sa réalisation et de son interprétation.

Dans une entreprise spécialisée en ouvrages géotechniques (injection, fondations spéciales, soutènements, etc.) le géotechnicien devient constructeur. Il réalise « lui-même » l'ouvrage géotechnique, qui peut avoir été conçu par un autre géotechnicien (maître d'œuvre en général) ou par lui-même. Dans le premier cas, son rôle sera de vérifier les prescriptions du concepteur, en particulier le dimensionnement et les caractéristiques des matériaux et il devra se préoccuper des méthodes d'exécution et du matériel à mettre en œuvre. Dans le cas où seul le résultat est prescrit par le maître d'œuvre ou le maître d'ouvrage, l'entreprise aura le choix de la solution et le géotechnicien devra choisir le type d'ouvrage permettant d'atteindre le résultat (stabilité d'un talus ou d'une fouille, étanchement d'un massif, etc.) et il devient donc concepteur réalisateur.

FORMATIONS

Les formations permettant d'accéder à ce métier sont les mêmes que celles qui permettent d'accéder au métier de géotechnicien de maîtrise d'œuvre, c'est-à-dire principalement les écoles de la filière génie civil : École supérieure des travaux publics - ESTP, École nationale supérieure de géologie - ENSG, École nationale des Ponts et chaussées - ENPC, Ecoles des Mines, Polytechnique de Grenoble, École supérieure des ingénieurs de Poitiers - ESIP, Conservatoire national des arts et métiers - CNAM... Les compétences en mécanique des sols et des roches sont indispensables naturellement, mais le fond de la formation doit être axé sur les structures d'ouvrage, sur les matériaux de construction (béton en particulier), sur les matériaux routiers et sur les méthodes d'exécution.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Le métier de géotechnicien en entreprise de BTP suit l'évolution des métiers du BTP en général.

En effectifs, ce métier est évidemment lié à l'évolution du marché de la construction, qui est un marché plutôt cyclique avec des périodes d'investissement et de croissance et des périodes creuses.

En nature des tâches à réaliser, les seules évolutions tiennent à celle des techniques d'exécution. Celles-ci ont, par exemple, beaucoup évolué dans le domaine des travaux souterrains avec l'arrivée des machines foreuses en pleine section.

Les techniques de renforcement des sols ou de fondations spéciales sont aussi en pleine évolution, en particulier grâce à la réflexion des géotechniciens eux-mêmes et surtout des géotechniciens d'entreprise.

Fiche métier : géotechnicien d'entreprise de sondage

DÉFINITION DU DOMAINE

Le domaine de l'entreprise de sondage est calé sur la mission géotechnique Go : exécution de sondages, essais et mesures géotechniques selon le programme défini dans une mission de type G1 à G5 : faisabilité, étude de projet, étude d'exécution, suivi d'exécution, diagnostic. Le domaine de Go exclut donc toute activité d'étude, conseil ou interprétation. Dans cet esprit, une entreprise de sondages devrait se limiter à suivre le cahier des charges de la prescription et seulement à cela, ce qui implique un responsable et du personnel sondeur.

Néanmoins, deux points doivent être notés :

- il y a fréquemment, dans une entreprise de sondages, un responsable géotechnicien qui assure que le cahier des charges du sondage est bien respecté, que la coupe de terrain est bien levée, que des échantillons corrects sont collectés, etc. ;
- les entreprises de sondage ont fréquemment une activité de bureau d'études ou sont intégrées à une ingénierie dont elles constituent alors un département.

La limitation à une activité de type Go d'une entreprise de sondages est donc restrictive et le géotechnicien responsable sera de fait l'interlocuteur du donneur d'ordres, assistant du maître d'ouvrage (collecte des données du projet), maître d'œuvre ou entreprise (demande de travaux complémentaires). Sa compétence est essentielle pour optimiser la campagne de sondages. Le plus souvent, ce géotechnicien sera aussi impliqué dans des études mais sans aller forcément jusqu'à la maîtrise d'œuvre. Son intervention sera d'autant plus nécessaire que l'on entre dans le domaine des fondations spéciales.

TÂCHES

Il incombe au géotechnicien d'entreprise de sondage de mettre en œuvre le cahier des charges des ouvrages demandés. Il peut contribuer à la définition du programme que le personnel de sondage exécute ensuite.

Au-delà de la géotechnique, sa compétence, qui est aussi celle de l'équipe de sondage, doit englober la connaissance des matériels, de leur performances et limites ou contraintes d'usage, les questions de sécurité, l'organisation des chantiers, l'expérience des essais et des prélèvements, la préservation des échantillons, etc.

FORMATIONS

Contrairement à ce qui se passe dans d'autres pays européens, il n'y a pas de formation de sondeur *stricto sensu*. Les sondeurs peuvent venir d'une formation agricole dans laquelle ils acquièrent l'expérience du matériel, d'une formation géologique interrompue à un niveau intermédiaire, d'une formation de travaux publics (École d'Égletons) ou de mécanique, et la liste n'est pas limitative. A noter que la Fédération nationale des travaux publics (FNTP) assure certaines formations de foreurs, notamment pour les fondations spéciales.

Les géotechniciens proviennent en général d'une filière géologie géotechnique (Polytechnique de Grenoble, École nationale supérieure de géologie - ENSG, master d'université, etc.) et acquièrent une formation béton - structure en formation initiale ou permanente, ou parviennent à cette fonction grâce à leur expérience. Réciproquement, les ingénieurs structure peuvent acquérir une compétence géotechnique. Les stages associés aux formations permettent, avec profit, de se confronter au milieu professionnel dès le stade de la formation initiale.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

On peut considérer que le respect des règles de l'art, telles que rappelées dans la charte de l'Union syndicale géotechnique (USG), fait partie des évolutions nécessaires de déontologie professionnelle. Par ailleurs, le classement normalisé des missions géotechniques, par ordre chronologique de types de travaux, a clarifié les limites des types d'interventions, notamment vis-à-vis des assureurs.

La phase actuelle correspond à l'élaboration des investigations minimales pour la réalisation de tel ou tel objectif. Le document correspondant, sorti au printemps 2004, a été élaboré par l'Union syndicale géotechnique (USG) et est en circulation auprès de grands maîtres d'ouvrage (laboratoires des Ponts et Chaussées, SNCF, etc.). Le bilan des retours devrait pouvoir être fait dans les mois qui viennent, la perspective étant d'aboutir à une norme comme pour les missions géotechniques.

Pour les petits projets (maison individuelle, lotissement...), on peut faire appel à un géotechnicien conseil, de profession libérale ou de bureau d'études. Pour les grands projets, la tendance est à l'intégration études et maîtrise d'œuvre dans la ligne pratiquée en pays anglo-saxon, quitte à rechercher des compétences complémentaires pour compléter cette intégration.

Fiche métier : géotechnicien de bureau de contrôle

DÉFINITION DU DOMAINE

Globalement, pour un client qui est le maître d'ouvrage, un bureau de contrôle donne son avis sur les solutions techniques retenues, en phase de conception, d'exécution et de fin de travaux. Pour ce faire, il s'appuie sur des analyses de risques et des normes et documents de référence. Le but de sa mission est de contribuer à prévenir les aléas techniques. Le contrôle géotechnique ne représente qu'un volet de l'opération, c'est-à-dire l'adaptation du projet aux caractéristiques du sol et éventuellement l'optimisation vis-à-vis du coût des fondations. Les interventions se font, soit sur de nouveaux ouvrages, soit sur des ouvrages existants (surélévation par exemple).

En fonction du contrat signé avec le maître d'ouvrage, l'intervention du bureau de contrôle peut se faire de façon continue à tous les stades du projet :

- avant-projet sommaire (APS) ;
- avant-projet détaillé (APD), avant le dépôt du permis de construire, afin que celui-ci ne soit pas reconduit pour défaut de conception ;
- dossier de consultation des entreprises (DCE) ;
- différentes phases d'exécution ;
- livraison du bâtiment.

Selon le contrat signé, le bureau de contrôle doit remettre des rapports à différentes étapes : au minimum un rapport initial en phase de conception et un rapport final à la livraison de l'ouvrage. On distingue couramment :

- le rapport initial de contrôle technique qui résulte de l'examen des documents de conception destinés à la consultation des entreprises ;
- la formulation d'avis techniques sur documents d'exécution des entreprises ;
- les compte-rendus de contrôle technique suite à des visites sur chantier ;
- le rapport final de contrôle technique.

Selon la norme française NF P 03-100 (AFNOR, 1995), les interventions des bureaux de contrôle relèvent entre autres de la *mission L*, relative à la solidité des ouvrages et des éléments d'équipement indissociables, et de la *mission S* relative à la sécurité des personnes dans les constructions. Ces missions de base peuvent être complétées par d'autres missions en fonction des besoins du client, le maître d'ouvrage. Dans la mesure où ils sont spécifiés dans le contrat, sont concernés par la mission L : les ouvrages de réseaux divers et voirie, les ouvrages de fondation, les ouvrages d'ossature, les ouvrages de clos et de couvert, éléments d'équipement indissociablement liés (pour les bâtiments). Dans les missions S, il s'agit de vérifier l'absence de défauts dans l'application des dispositions réglementaires relatives à la sécurité des personnes dans les constructions achevées : incendie, électricité, gaz, chauffage, etc.

À l'échelle nationale, il existe une dizaine de bureaux de contrôle dont trois grands (Bureau Veritas, Socotec, Apave), d'autres de taille moins importante (Qualiconsult et Afitest, repris par Norisko Construction) et plusieurs plus petits. Ces bureaux correspondent à des structures indépendantes des entreprises ou des architectes, et ils sont rémunérés par les maîtres d'ouvrage. Pour certains bureaux de contrôle, la construction ne représente qu'une partie de l'activité : 17% du chiffre d'affaires chez Bureau Veritas par exemple.

TÂCHES

Elles sont étroitement liées à l'organisation interne des différents bureaux de contrôle. Au Bureau Veritas, par exemple, les spécialistes sont détachés dans les agences ; ils ne sont pas tous regroupés au sein d'un même et unique service et ils sont répartis sur toute la France.

Interventions sur projets

Pour tout projet, il y a un ingénieur généraliste responsable avec lequel traitent les entreprises, le géotechnicien intervenant à sa demande pour un contrôle donné à un stade donné. Selon le cas, les tâches à effectuer par le géotechnicien se répartissent à égalité entre le bureau et le chantier ou dans une proportion 70/30. Les interventions sont de trois types à l'échelle du quotidien et elles relèvent toutes de l'interaction sols/structure :

- il peut s'agir d'un suivi de chantier dans son intégralité, par exemple pour une reprise en sous-œuvre d'un bâtiment existant. Dans ce cas, la prestation peut être commerciale, administrative et technique, avec appel éventuel à des spécialistes comme pour l'électricité ;
- il peut aussi s'agir d'interventions ponctuelles, souvent d'urgence : en phase de fondations, sur documents écrits, ou encore sur site pour valider le contrôle de chantier effectué par l'ingénieur généraliste. Pendant la phase de construction, par exemple, on effectue un contrôle des notes de calcul et des plans d'exécution et le chantier est visité régulièrement (couramment une fois par semaine) ;
- dernier type d'intervention, qui représente une part importante du travail : répondre par téléphone ou internet à des questions de collègues du bureau de contrôle, aussi bien en phase de conception que d'exécution.

Formation interne et veille technologique

Le spécialiste de direction technique qu'est le géotechnicien se doit de transmettre les connaissances nouvelles de son domaine (nouvelle norme, nouveau procédé, chantier particulier, etc.). À cet effet, il rédige des articles ou des fiches sur ces sujets ou anime des réunions techniques ou des stages de formation. Au Bureau Veritas, par exemple, le géotechnicien, comme les autres corps de métier (VRD, sécurité incendie, électricité, thermique, acoustique, etc.), fait partie d'un réseau interne et c'est celui-ci qui prend les décisions de rédaction ou d'animation. Les ingénieurs responsables de projet bénéficient souvent de sessions de formation spécialisée, assurées notamment par les géotechniciens.

A l'extérieur, le géotechnicien participe à des rencontres diverses (conférences, colloques...). Certains peuvent être membres de comités techniques (mécanique des sols, mécanique des roches...) ou de groupes de travail réglementaires.

FORMATIONS

Le géotechnicien de bureau de contrôle doit avoir une double formation, en géologie-géotechnique d'une part, en structures d'autre part. Ces formations peuvent être acquises en formation initiale, par exemple par un diplôme du Polytechnique de Paris ou de Grenoble, complété par une formation en structure (bâtiment, béton armé, charpentes métalliques, bois), mais,

souvent, le géologue-géotechnicien acquiert une formation en structures par expérience au fil des nombreux chantiers qu'il voit, par compagnonnage, voire par formation continue. La plupart des géotechniciens de bureaux de contrôle ont acquis antérieurement une expérience professionnelle en entreprise.

La formation continue englobe des sessions de formation à de nouvelles réglementations ou des conférences sur des sujets divers.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

À l'échelle européenne, la situation du contrôle varie d'un pays à l'autre et certains pays fonctionnent sans contrôle technique. L'évolution européenne se fera sans aucun doute dans le sens d'une harmonisation des réglementations et des pratiques mais ce n'est pas forcément le système à la française qui sera adopté, pas plus d'ailleurs que les pratiques de la garantie décennale (loi Spinetta), à laquelle sont soumis les bureaux de contrôle, ne seront généralisées. Dans les autres pays, le contrôle est soit entre les mains des entreprises qui construisent ou aménagent, soit assuré par l'État (l'administration), soit lié aux sociétés d'assurances qui se sont organisées en conséquence.

Un autre changement concernant les bureaux de contrôle peut être l'évolution du contrôle technique vers le conseil. L'objectif est d'optimiser le projet et sa réalisation en opérant par conseil à toutes les étapes.

Au niveau des géotechniciens de bureaux de contrôle, les perspectives sont liées à l'évolution de carrière et à la possibilité, comme pour n'importe quel ingénieur, de monter dans la hiérarchie et de devenir chef de service ou d'agence.

SIÈGES SOCIAUX ET SITES INTERNET DES PRINCIPAUX BUREAUX DE CONTRÔLE

- Veritas : siège social à Paris la Défense ; www.bureauveritas.com
- Socotec : siège social à Guyancourt ; www.socotec.fr
- Apave : siège social à Paris ; www.apave.com
- Qualiconsult : siège social à Lyon ; www.qualiconsult.net
- Afitest repris par Norisko Construction : siège social à Limoges ; www.norisko.com

Fiche métier : technicien de laboratoire

DÉFINITION DU DOMAINE

Il faut d'abord distinguer les laboratoires légers d'entreprise routière (laboratoires de chantier) qui assurent un contrôle d'exécution (compactage, teneur en liants hydrauliques) des laboratoires agréés en mécanique des sols ou des roches, qui sont des entités à part entière travaillant pour une diversité de donneurs d'ordre. Il faut aussi distinguer les laboratoires d'analyse chimique qui ont une vocation propre. Ainsi lorsqu'il s'agit de mesurer une teneur en sulfates (pour les bétons), un laboratoire de géotechnique sous-traitera cette prestation à un laboratoire d'analyses chimiques.

Les laboratoires peuvent être classés selon l'éventail de prestations (essais et tests) qu'ils peuvent fournir. On distingue ainsi les domaines suivants :

- géomécanique : données et caractéristiques pour les calculs d'ouvrage : compressibilité (œdomètre), cisaillement (boîte et triaxial...). Ce domaine relève des laboratoires de bureaux d'études ou de ceux des centres techniques de l'Équipement (CETE) ;
- mécanique des roches : résistance, déformabilité, essais triaxiaux sur roches. Ces essais relèvent de laboratoires spécialisés : ceux des CETE déjà évoqués et certains laboratoires privés (LERM par exemple) ;
- géotechnique routière : compactage, teneurs en liants hydrauliques : se trouvent auprès des entreprises de TP (cf. ci-dessus), des laboratoires des CETE et de ceux des bureaux d'études ;
- opérations courantes : limites d'Atterberg, teneurs en eau, granulométrie... Assurés par tous les laboratoires ;
- étude des granulats : laboratoires de carrières, d'entreprises de TP, etc.

À noter aussi que certains laboratoires réalisent des essais pour des études à caractère très spécifique. C'est le cas d'Antea pour les travaux pour l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) : triaxiaux de longue durée ou œdomètres haute contrainte par exemple. Ces essais impliquent des matériels et des protocoles particuliers.

Il faut noter que les méthodes d'essai ont très peu évolué au fil des années. Ce qui a évolué, c'est la prise des données et la métrologie.

TÂCHES

L'organigramme des différentes tâches est, en gros, similaire d'un laboratoire à l'autre. On distingue ainsi les opérations suivantes :

- réception des échantillons avec bordereau de livraison : enregistrement, étiquetage et rangement des échantillons ;
- rédaction de la commande d'essais (sur la base de la commande du client), nomination du technicien responsable, appréciation de la qualité des échantillons ;
- réalisation des essais et auto-contrôle (méthodes d'essais, normes) : feuilles d'essais, synthèse des résultats (dossier), transmission des résultats à l'ingénieur d'affaires (bordereau) ;
- contrôle interne et vérification : conformité (bordereau d'expédition et facture), non conformité (traitement de la non conformité).

Selon les laboratoires, les techniciens sont spécialisés sur certains types d'essais ; c'est souvent le cas pour de très gros laboratoires. Dans d'autres laboratoires, plus petits, on fait en sorte que les techniciens soient polyvalents.

FORMATIONS

À l'exception du responsable de laboratoire qui a un niveau d'ingénieur et qui peut être un géologue, il n'y a pas d'école spécifique de formation de techniciens pour la géotechnique de laboratoire et pas de diplômes certifiants. L'école d'Égletons, par exemple, forme des conducteurs d'engins mais pas des techniciens de laboratoire. Les écoles d'ingénieur (École supérieure des travaux publics - ESTP, École nationale des ponts et chaussées - ENPC, etc.) dispensent des enseignements sur les essais de laboratoire mais pas une formation spécifique. Il en est de même du Conservatoire national des arts et métiers (CNAM). Et la liste n'est pas limitative. Il en résulte que les techniciens sont principalement formés sur le tas, par compagnonnage.

Toutefois, il faut s'attendre à une évolution de la situation vers des formations à la fois plus poussées et plus adaptées, avec l'évolution vers une professionnalisation et une normalisation plus grande liée à la réglementation européenne et les perspectives d'évolution de carrière.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Avec l'évolution de la normalisation européenne, il y a tout lieu de penser que des formations diplômantes en technicien de laboratoire vont émerger en France, un des seuls pays d'Europe qui n'en possède pas. Une autre évolution en matière de formation est l'acquisition de la compétence informatique pour la gestion des données résultant des essais.

En ce qui concerne les tâches, la situation actuelle devrait être confirmée : séparation entre les tâches de laboratoire et l'interprétation des résultats ou le retour sur le terrain. Par contre, dans le souci de diversifier ses activités et à condition de disposer du personnel, un laboratoire peut proposer des prestations de contrôle de chantier.

Sur un plan plus général, on peut regretter qu'il n'y ait pas une meilleure synergie entre la collecte des échantillons sur le terrain, le travail de laboratoire et l'interprétation des résultats, la réglementation des marchés voulant que des opérateurs différents s'occupent de ces trois volets (sondages, laboratoire, études).

Fiche métier : géotechnicien pétrolier

DÉFINITION DU DOMAINE

La géotechnique pétrolière concerne les interactions entre une structure et le fond marin, actuellement dans les limites d'une tranche d'eau de 2000 mètres. Le géotechnicien pétrolier doit aussi s'occuper d'installations à terre, en géotechnique « classique » (un aspect qui ne sera pas développé ici) et d'installations portuaires. Les principaux types de structures concernées sont présentés ci-après.

Il s'agit d'abord des *plate-formes pétrolières de production*, jusqu'à 300 m d'eau ; ces ouvrages reposent sur des fondations profondes (pieux) de 1-2 m de diamètre, atteignant entre 30 et 150 m de profondeur.

Autre type d'ouvrage, les *ancrages de supports flottants* : bateaux, tours de type « riser » dans lesquels sont logés les conduites reliant les puits de production à l'installation de chargement, bouées de déchargement, ancrages classiques, etc. Selon le cas, les ancrages se font avec des ancres classiques installées par tractation sur le fond marin jusqu'à ce qu'elles prennent prise dans le sol, ou par des ancres à succion (caissons fermés auxquels la chaîne d'ancrage est attachée), ou encore par des pieux. Les caissons font de 4 à 5 m de diamètre et sont enfoncés jusqu'à 20 m de profondeur, d'abord par leur propre poids, puis par pression. À noter que les structures sous-marines de type « *manifolds* » sont installées sur des caissons similaires.

En ce qui concerne les *plate-formes de forage*, qui sont dites auto-élévatrices (« *jack up* »), l'objectif est de prévoir les

conditions d'enfoncement dans le sol des 3 ou 4 pieds qui les supportent. D'abord flottante, le temps d'installer les pieds, la plate-forme est ensuite remontée hors d'eau (hors d'atteinte des houles) de façon à permettre le forage.

Les *pipelines* sont, selon le cas, posés sur le fond ou ensouillés. Dans les deux configurations se pose la question de leur stabilité au fond de l'eau : topographie, caractérisation des sols en cas d'ensouillage.

Dernier type d'ouvrage, les *jetées* portuaires et les *ducs d'Albe* d'amarrage qui correspondent à des pieux de gros diamètre (2-3 m), enfoncés dans le sol de 30 à 50 m. Équipés d'amortisseurs, ces pieux sont destinés à recevoir les navires à l'amarrage.

Un mot sur les *acteurs* du domaine. Le suivi du projet, comprenant donc le volet géotechnique, est assuré par le maître d'ouvrage, donc par la société pétrolière propriétaire de la future installation. L'équipe de géotechnique du maître d'ouvrage intervient, à la demande du chef de projet, dans tous les aspects du projet concernant les interactions structure-sol. Les études et travaux sont assurées par des sous-traitants. Il s'agit des domaines suivants :

- reconnaissance : géophysique, sondages *in situ*, prélèvements d'échantillons, essais de caractérisation géotechnique, réalisés par des bureaux d'études spécialisés ;
- choix et dimensionnement des fondations : bureaux d'études spécialisés (Fugro, Seacore, Golder etc.) ;
- conception et « *design* » de la structure : ingénieries spécialisées : Saipem (ex. Bouygues offshore), Stolt offshore, Doris, Technip, Mc Dermott, etc. ;
- construction en installation : entreprise spécialisée.

TÂCHES

C'est au stade de l'avant-projet qu'est défini le projet de développement : tel champ pétrolier, tel secteur du champ, nature et nombre d'installations, etc. Il revient à l'équipe géotechnique du maître d'ouvrage de commanditer les reconnaissances géophysiques et géotechniques. La géophysique (sismique 2D haute résolution - HR) permet de déceler les singularités du relief et du sous-sol marin. Une fois la localisation des plate-formes validée, on procède à des reconnaissances locales, aux emplacements où ces plate-formes seront installées. Ces reconnaissances permettent de collecter les données et échantillons destinés à des essais de laboratoire. L'ensemble des résultats est formalisé dans un rapport final de données géotechniques, destiné à l'équipe de projet et à l'ingénierie chargée du dimensionnement des fondations.

L'essentiel du projet est bouclé au stade de l'ingénierie de base (*Basic engineering* équivalent à Avant-projet détaillé). Durant cette phase interviennent :

- le bureau d'études des fondations, dont les propositions sont validées par l'équipe géotechnique avant le lancement des appels d'offres ;
- le bureau d'études chargé de dimensionner la structure, en général différent du précédent. Ce travail aboutit à l'ingénierie de détail (*Detailed engineering*) que l'entreprise de construction va appliquer et qui peut motiver, de sa part, des demandes spécifiques en fonction de l'accès au site, du transport, etc. ;
- l'entreprise de construction et d'installation qui se réfère aux spécifications de l'appel d'offres : *Engineering procurements* (fabrication) *commissioning*. On rappellera ici que la construction de la plate-forme se fait en chantier terrestre et que celle-ci est ensuite tractée sur le site où elle doit être installée.

FORMATIONS

Il n'existe pas de *formation initiale* spécifique en géotechnique pétrolière : ce sont les formations classiques d'ingénieurs qui conduisent à ces métiers (Polytechnique de Grenoble ou de Paris, École supérieure de travaux publics - ESTP, Hydraulique de Grenoble, École nationale des Ponts et Chaussées, etc.) Cette absence de formation initiale pluridisciplinaire dédiée conduit à ce que la compétence s'acquiert largement par expérience. D'une façon générale, on n'est pas embauché directement à la sortie de l'école dans une équipe de géotechnique pétrolière ; il convient d'être passé en bureau d'études ou en entreprise auparavant.

Au niveau de la *formation permanente*, il n'existe pas non plus de formation spécifique en géotechnique pétrolière. La formation se fait donc principalement par acquisition d'expérience et compagnonnage, en incluant les questions de codifications qui sont différentes en France et au niveau international. Des compléments spécialisés de formation sur des points particuliers (techniques et méthodes nouvelles...) donnent lieu à des sessions de formation spécifiques en école d'ingénieur.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Les perspectives d'évolution se situent principalement dans le domaine technique. Même si les reconnaissances de sols peuvent être menées jusqu'à 3000 mètres de profondeur d'eau, le développement de champs est aujourd'hui limité à 2000 mètres. Des recherches expérimentales en laboratoire et sur site sont actuellement en cours pour tester les conditions d'installation à plus grande profondeur : contraintes d'installations, nouveaux systèmes de fondation, etc. Ces projets sont financés par le développement des projets ou des actions spécifiques de recherche et développement.

Autre domaine en développement chez les pétroliers, celui des énergies renouvelables et notamment des éoliennes en mer. De grandes installations existent déjà dans certains pays (Danemark...) ; ce n'est pas encore le cas en France où la réglementation n'est pas adaptée.