

Le but pratique de l'étude géotechnique est de permettre l'adaptation spécifique de l'ouvrage au site, afin de limiter les risques « naturels » et induits, autant que faire se peut ; il consiste à informer le maître d'ouvrage et les constructeurs de la nature et des comportements du site afin qu'ils puissent définir et justifier les solutions techniques qu'ils devront concevoir, adopter et mettre en œuvre pour réaliser leur aménagement et/ou leur ouvrage en toute sécurité et à moindre coût.

Ce but paraît souvent éloigné des préoccupations de certains géotechniciens qui font ce qu'ils ont l'habitude de faire, une étude stéréotypée quels que soient le site et l'ouvrage, ce qui entraîne souvent des déconvenues. On pourrait attendre plus de réalisme des constructeurs ; mais en général ils négligent le fait que l'ouvrage doit être adapté au site et que cette adaptation n'est possible que sur la base d'une bonne étude géotechnique : quand seules les grandes lignes de leur projet sont définies, ils se préoccupent rarement du site avant de prendre des options irréversibles qui se révéleront parfois malencontreuses. Les particularités naturelles du site sont pourtant les seules contraintes qui leurs sont imposées dans leurs moindres détails : ils peuvent s'en accommoder, pas s'en libérer. De façon très illogique, on inclut pratiquement toujours le coût de l'adaptation du site au coût de l'ouvrage alors qu'il faudrait normalement l'inclure dans la charge foncière.

## 5.1 Intérêt de l'étude

On projette, on étudie et on réalise de plus en plus rapidement des ouvrages de plus en plus complexes dans des sites de plus en plus difficiles à aménager ; il en résulterait un accroissement inadmissible des risques de tous ordres, si l'on négligeait l'étude géotechnique de ces sites. D'autre part l'industrialisation de plus en plus complète de la réalisation des projets d'aménagement du sol et du sous-sol, impose que l'on prévoie de programmer de façon de plus en plus rigoureuse leur exécution qui doit être aussi rapide que possible pour que l'ouvrage conçu puisse être mis en service dans les délais les plus brefs après qu'a été prise la décision de son financement. Cela impose, entre autres, la mise en œuvre de procédés et de matériels très complexes de très haut rendement comme les ateliers de parois moulées, les tunneliers... dont l'exploitation, très onéreuse, n'est rentable qu'à condition d'être continue et exactement conforme à leur domaine d'emploi ; c'est à la géotechnique de définir ces domaines.

Des méthodes d'ordonnancement très élaborées, pour la mise au point de programmes d'étude et d'exécution, permettent d'obtenir à peu près de telles

conditions, quand elles ne traitent que de techniques classiques et éprouvées. Mais très généralement, l'incidence des études et des impératifs géotechniques est nettement sous-estimée dans ce genre de programme ; il en résulte que, par la suite, on est conduit soit à négliger l'étude soit à bouleverser dès l'abord le programme, ce qui, dans les deux cas, ne peut qu'aboutir aux retards plus ou moins importants que l'on voulait éviter. Quand, plus rarement, on essaie de tenir compte de cette incidence, on s'aperçoit que quoi que l'on fasse, les études géotechniques demeurent sur le chemin critique et on se voit contraint de harceler constamment le géotechnicien en prétendant qu'il retarde la mise au point du projet, ce qui ne facilite évidemment pas son travail ; or il n'est pas possible qu'il en aille autrement, puisque le géotechnicien ne peut intervenir qu'après l'achèvement d'une étape de l'étude technique, alors que l'on attend ses conclusions pour engager l'étape suivante.

En effet le projet technique est généralement très avancé quand on songe à faire appel au géotechnicien. Enfin consulté, il doit prendre connaissance du projet, juger le site, prévoir un programme d'étude, le réaliser et en tirer les renseignements pratiques que les autres attendent. Tout cela lui prend du temps, souvent même davantage qu'il l'avait initialement prévu, à cause de difficultés d'abord insoupçonnées, pendant lequel le projeteur attend ou passe outre. Il n'est possible d'aplanir de telles difficultés qu'en laissant au géotechnicien une liberté de manœuvre et un délai suffisants pour qu'il puisse s'organiser et travailler par étapes. Il doit, entre autres, avoir son mot à dire dans la mise au point du programme général d'étude du projet ; mais on lui en donne rarement l'occasion.

L'intérêt d'une étude géotechnique doit bien entendu être défini par rapport au projet ; on demande à la géotechnique d'en définir le cadre, de contrôler sa faisabilité, éventuellement de proposer des variantes, de valider les dispositions retenues, d'éviter les risques, d'évaluer les coûts..., de préparer sa réalisation et la suivre. Son intérêt scientifique demeure accessoire mais ne doit pas être négligé, car il est toujours possible d'y trouver des éléments utiles à la progression de la connaissance.

Au niveau de l'étude du projet, l'étude géotechnique est d'abord utile au maître d'œuvre, en particulier quand il importe de connaître les caractères généraux du site pour définir les possibilités pratiques de réalisation du projet. Dans le cas où plusieurs variantes sont techniquement possibles, l'étude géotechnique peut contribuer à faire choisir celle qui est préférable ou tout au moins à orienter le choix vers elle. Dès ce niveau, l'étude peut étayer l'évaluation de l'incidence du facteur site dans le budget du projet, incidence qu'il faudra ensuite préciser ; elle peut aussi permettre d'établir de façon aussi précise que possible, le programme d'exécution du projet, en évaluant au mieux les durées des opérations en relation directe avec le sous-sol ; elle peut enfin servir à la rédaction des cahiers de prescriptions spéciales des marchés d'exécution, en particulier pour la définition de certaines opérations et de leur mode de rémunération, en évitant autant que possible les imprévus et les travaux en régie. Cette étude peut d'autre part être utile à l'entrepreneur pour étudier sa proposition sur des bases solides et notamment, choisir les méthodes et le matériel qu'il devra mettre en œuvre pour réaliser chaque opération prévue dans l'appel d'offre, proposer éventuel-

lement des variantes de détail et apprécier au plus juste les délais d'exécution qu'il devra respecter. Si les résultats de l'étude sont suffisamment dignes de foi et précis, il lui sera possible, sous certaines conditions à définir avec le maître d'œuvre et le géotechnicien, de traiter forfaitairement les travaux de terrassements ou de fondations.

Au niveau de la réalisation, l'exploitation des résultats de l'étude géotechnique permet une analyse rapide de petits faits imprévus qui peuvent se manifester malgré le soin pris à essayer de les éviter. On peut ainsi adapter de façon rationnelle, les méthodes mises en œuvre et les moyens matériels dont on dispose déjà et rectifier en conséquence le programme d'exécution.

Au moment de la réception de l'ouvrage, si le chantier a été constamment suivi du point de vue géotechnique, les renseignements recueillis servent de base objective aux discussions entre maître d'œuvre et entrepreneur pour régler un contentieux éventuel.

Durant la vie de l'ouvrage enfin, la somme des renseignements géotechniques recueillis lors de l'étude et de la réalisation permet de mieux entretenir l'ouvrage et éventuellement de le réparer pour prévenir les accidents ou une ruine prématurée.

Ainsi, à tous les niveaux de la conception, de l'étude et de la réalisation d'un projet, une étude géotechnique bien conduite accroît toujours, et souvent de façon déterminante, la rentabilité, la pérennité et la sécurité de l'ouvrage.

### 5.1.1 Adaptation de l'ouvrage au site

Naguère, les techniques artisanales relativement simples de la construction, évoluaient peu ; les travaux étaient lents, dirigés et exécutés par quelques praticiens peu spécialisés, ayant acquis en majeure partie leur expérience sur le tas. Il était donc facile d'adapter certaines parties de l'ouvrage à la demande ou au besoin sans que cela ait des effets sensibles sur l'ensemble. Selon cette tradition, les constructeurs modernes sont toujours plus ou moins persuadés que quoi que l'on fasse au moment de l'étude du projet, des imprévus, souvent du reste paradoxalement prévus dans les cahiers des charges, surgiront au moment de la construction de l'ouvrage et qu'ils imagineront finalement au moment opportun, une astuce technique permettant de s'en accommoder sans compromettre leur œuvre. Or les techniques industrielles très rigides de construction strictement programmée d'ouvrages complexes, évoluent rapidement et la plupart des travaux sont exécutés dans de courts délais préfixés au moyens de matériels spécialisés par tâches ; au besoin, il est ainsi très difficile de modifier à l'improviste certaines parties de l'ouvrage sans affecter l'ensemble. Le coût effectif de la mise en œuvre de l'astuce et surtout sa répercussion sur le coût général du projet peuvent largement dépasser la somme à valoir forfaitaire prévue au marché, représentant une faible part du montant de l'ensemble des travaux.

Et, effectivement, le projet mal étudié sera finalement réalisé, mais à quel prix ? S'il s'agit de projets publics, la rémunération des imprévus inhérents aux caractères géotechniques du site se fera sur la base des travaux effectués en régie,

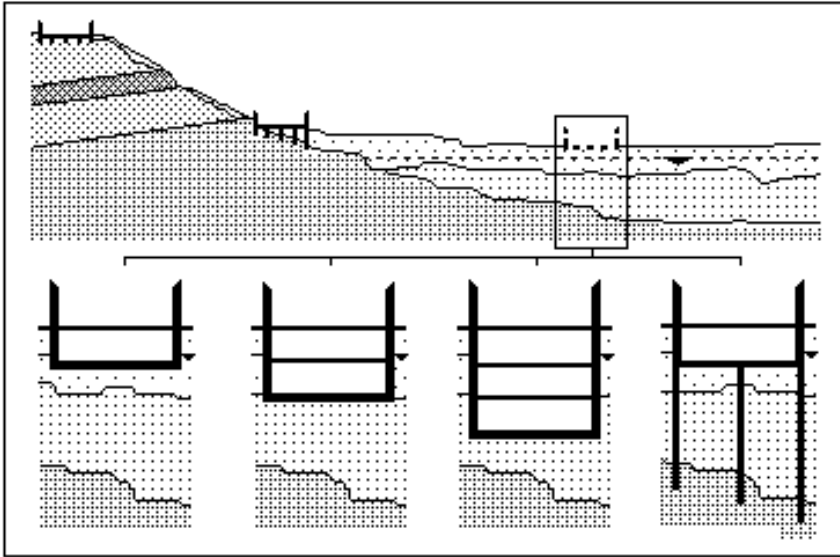
justifiés par un aléa géologique ; généralement substantielle, elle permettra à l'entreprise déclarée adjudicataire par référence à des prix courants trop tirés et dont la stricte application l'aurait mise en difficulté, de réaliser des bénéfices ; ce qui est presque devenu un système résulte en fait de la légèreté ou du manque d'études préalables et en particulier de la méconnaissance des caractères géotechniques du site. S'il s'agit d'un projet privé, le coût imprévu ou sous-estimé de fondations pour le coup réellement spéciales, est un prétexte traditionnel qui viendra souvent grever lourdement le budget prévisionnel proposé au maître d'ouvrage par l'entrepreneur pour l'allécher ; il lui permettra en cours de travaux, de justifier une rallonge assurant la rentabilité de son marché, douteuse au départ.

Avant d'entreprendre l'étude spécifique d'un ouvrage dans un site donné, on doit formuler d'abord tous les problèmes géotechniques susceptibles de s'y poser, on précise ensuite dans quelles conditions ils se posent, on fixe les limites de variation du projet, on imagine les solutions techniques possibles et on en évalue le coût ; cela peut conduire à envisager de modifier ou parfois d'abandonner le projet si ces solutions s'avèrent trop onéreuses, ou bien d'en poursuivre l'étude en effectuant éventuellement des travaux complémentaires sur le site afin d'en préciser localement le modèle, si leurs estimations s'avèrent raisonnables. On doit donc définir la documentation spécifique qu'il est nécessaire de réunir pour résoudre ce ou ces problèmes, choisir la nature et définir le volume des travaux qu'il faut exécuter pour réunir cette documentation, et enfin préjuger sa valeur et apprécier la précision des solutions auxquelles elle aboutit.

#### **5.1.1.1 L'adaptation d'un immeuble**

L'exemple simple d'un immeuble implanté dans une plaine alluviale montre que dans un site donné et pour un ouvrage donné, de nombreux problèmes souvent liés, se posent ; ils peuvent être résolus de diverses façons, difficiles à tous imaginer dès l'abord.

Le sous-sol de cette plaine est constitué d'une couche superficielle de limon compressible, d'une couche moyenne de grave compacte aquifère et d'un substratum marneux, décomprimé à proximité de son toit. L'immeuble doit comporter dix niveaux de superstructures et deux ou trois niveaux de sous-sol. La première phase de l'étude a permis de définir le niveau de la nappe aquifère, l'épaisseur de chaque couche et l'importance de ses variations, ainsi que les caractéristiques mécaniques moyennes et extrêmes du matériau de chacune. Le premier problème à résoudre est celui de l'implantation du bâtiment ; si l'épaisseur des couches et les caractéristiques des matériaux varient peu, on implante l'immeuble où l'on veut dans le site. Par contre, si le sous-sol est très hétérogène, on cherche à implanter l'immeuble dans une zone où il est le plus homogène possible et où de préférence, la nappe est la plus profonde, le limon le moins épais et le substratum le moins profond. Quand le bâtiment est implanté, on résout les problèmes posés par la construction des sous-sols et par la conception de ses fondations. Auparavant ou en cours d'étude, on peut être amené à préciser certaines caractéristiques mécaniques et hydrauliques des matériaux, selon les problèmes à résoudre.



**Figure 5.1.1.1 – Adaptation d'un immeuble dans une plaine alluviale**

Si le niveau de la nappe alluviale est inférieur au niveau du troisième sous-sol, il suffit d'étudier la façon de réaliser les terrassements et en particulier d'assurer la stabilité des parois provisoires de la fouille, soit en talutant s'il y a de la place, soit en étayant par panneaux alternés ou par rideaux ancrés s'il y a des ouvrages mitoyens. Le problème des fondations peut être résolu indifféremment de deux façons, soit sur semelles ou radier en fond de fouille, soit sur pieux au substratum. La première solution est mieux adaptée à une structure de voiles banchés porteurs tandis que la seconde est mieux adaptée à une structure de poteaux porteurs. Du point de vue géotechnique, le choix dépend de la contrainte admissible en fond de fouille, des risques de tassements et de la profondeur du substratum. Dans le cas de fondations superficielles, on définit la contrainte admissible des matériaux sous le fond de fouille. Si ce fond est encore dans le limon, cette contrainte est faible et on s'oriente vers la solution de radier ou de semelles quadrillées ; des tassements sont alors prévisibles et il faut apprécier leur ordre de grandeur. Si la grave est atteinte, la contrainte peut être plus élevée et le tassement est négligeable ; on adopte donc la solution de semelles filantes. Dans le cas de fondations sur pieux, on détermine l'ancrage dans la marne en tenant compte de sa profondeur et de ses caractéristiques mécaniques puis la portance d'un pieu en fonction de sa longueur et de son diamètre. Selon que les charges des poteaux sont identiques ou très différentes, on choisit un ou plusieurs diamètres de pieux et une ou différentes longueurs d'ancrage. Selon le matériel dont on dispose, on peut, même en cas de charges différentes, utiliser un seul diamètre de pieu mais grouper les pieux par deux ou plus, pour supporter les poteaux très chargés ou bien adapter le diamètre de chaque pieu à la charge qu'il doit porter. Enfin, on peut aussi avoir à choisir entre différentes sortes de mises en œuvre de pieux, battage, forage, vibrofonçage... et entre différents procédés, selon la compacité de la grave, la