

RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE ROUTIERE

A. M'RHIZOU
CENTRE TECHNIQUE
REGIONAL DE FES
L P E E

R E S U M E

I - RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

Dans un premier temps, les objectifs d'une étude géotechnique routière sont précisés. Il s'agit d'une délimitation par la reconnaissance préliminaire des difficultés qui pourront être rencontrées pour la réalisation du projet dans les différents domaines géotechniques et dans la prospection des matériaux de construction. Ensuite et en vue de définir le programme de la reconnaissance, les paramètres et caractéristiques géotechniques nécessaires à connaître sont recensés en fonction de la difficulté à résoudre ou point à étudier : nature des déblais et mode de terrassement, pente des talus, réutilisation des sols, fondation des ouvrages, dimensionnement des chaussées, etc...

La deuxième partie traite très succinctement des différents moyens de la reconnaissance géotechnique : sondages, essais en place et essais en laboratoire.

La progressivité et la globalité de l'étude du projet routier conduisent à mener la reconnaissance géotechnique sur plusieurs phases (en général 3). Chaque phase traitant dans la globalité l'ensemble des problèmes qui peuvent être rencontrés. Ceux-ci, objet d'études spécifiques sont résolus progressivement, en distinguant trois niveaux d'études: l'estimation de la difficulté, le prédimensionnement et le dimensionnement.

I - OBJECTIFS D'UNE ETUDE GEOTECHNIQUE ROUTIERE

1 - Reconnaissance générale d'introduction

Elle constitue la partie préliminaire de l'étude et consiste en une prise de contact avec les sites que traversera la route. Son but est de dégager une première impression des difficultés qui pourront être rencontrées pour la réalisation du projet dans les différents domaines géotechniques et dans la prospection des matériaux de construction.

Ce premier contact se traduit par une consultation des données géologiques disponibles, puis par un premier parcours du tracé au cours duquel on note toutes les observations pouvant permettre le recensement des difficultés géotechniques à résoudre, de distinguer les différentes zones géotechniques homogènes, les différentes zones d'emprunt possibles, les affleurements de rocher éventuels ou les plages dans les lits des oueds, etc... Le recueil des observations est complété par la prise de nombreuses photographies destinées à illustrer les points essentiels.

Cette visite préliminaire et l'impression générale qu'elle laisse avant l'exécution de tout sondage est très importante car elle permet de donner les grandes orientations de reconnaissances ultérieures et d'apprécier déjà les points sur lesquels devront porter des efforts particuliers.

2 - Partie en déblais

La reconnaissance des déblais après la phase préliminaire consiste en l'ouverture de sondages, prélèvements d'échantillons et exécution d'essais de laboratoire. Ceci est destiné à fournir

- la coupe, la description des sols (leur structure naturelle, leur dureté, le pendage moyen des couches)
- l'identification des terrains et leur catégorie par référence à la classification Catalogue des Structures, RTR, U.S.C.S.
- détermination des caractéristiques physiques d'état et mécaniques intactes.

L'exploitation des résultats obtenus permet alors :

- d'aboutir à des considérations sur les travaux de terrassements (difficultés pressenties pour le travail aux engins, nécessité de travaux à l'explosif, etc....)
- d'examiner les possibilités de réutilisation des matériaux à extraire.
- d'aider à décider du choix des pentes admissibles ou de la nécessité éventuelle de prévoir des ouvrages confortatifs, de soutènement ou de protection.

3 - Partie en remblais :

Les points que l'étude géotechnique aborde sont essentiellement :

- * A partir des résultats acquis dans les zones en déblais,
 - revue et sélection des matériaux pouvant être utilisés sans risque dans les remblais (aide à l'établissement du mouvement des terres en prenant en compte les considérations géotechniques).
- Ouverture de sondages pour la recherche de zones d'emprunts peu éloignées pour combler le déficit éventuel en matériaux de remblais.
- Inventaire général des caractéristiques d'identification et sélection de sols types le long du tracé et classement par référence à la classification USCS, catalogue des structures RTR,...
- * Etude du compactage des sols types des remblais complétée éventuellement par le contrôle de l'évolution des sols au cours du compactage ou des sols compactés au vieillissement superficiel (important pour les terrains compacts à souvenir argileux).
- * Détermination des caractéristiques mécaniques fondamentales cohésion et frottement intergranulaires) des sols types compactés au taux de compactage habituellement spécifié.

* Exploitation des résultats de la reconnaissance et des essais en vue :

- de définir les précautions éventuelles pour la préparation de l'assise des remblais, voir l'étude de stabilité du sol de fondation des remblais (cas des remblais sur sols mous compressibles, remblai sur sol incliné, zones instables etc...)

- d'aider au choix des pentes de talus à adopter en fonction des caractéristiques des sols et de la hauteur des talus des remblais, voir en fonction des caractéristiques de résistance du sol de fondation.

- de recenser et prédimensionner les aménagements spéciaux localement nécessaires (ouvrages confortatifs, ouvrages d'assainissement complémentaire, drainage, lutte contre l'érosion)...

4 - Etude des fondations des ouvrages d'art de franchissement

- . exécution de sondages et prélèvements d'échantillons, essais in-situ.

- . coupe et identification des terrains pouvant intéresser l'assise des fondations.

- . essais mécaniques de résistance et essais de compressibilité des couches susceptibles de supporter les fondations de l'ouvrage.

- . exploitation des résultats : recommandations pour le choix du type et niveau de fondation, pressions admissibles (taux de travail), recommandations particulières.

5 - Dimensionnement du corps de chaussée

En fonction des caractéristiques de portance des terrains de la plateforme de fondation de la chaussée (module, C.B.R. ou classe de sol), du trafic escompté et bien entendu de la technique qu'il est souhaité d'utiliser (graves non traitées, aux liants hydrocarbonés ou hydrauliques,...) il est procédé à la détermination de l'épaisseur et constitution de la chaussée.

Dans ce but, il faut prévoir tout en considérant les résultats déjà acquis par ailleurs :

- l'identification des sols de la plateforme et sélection des sols types auxquels seront rattachés les différents tronçons homogènes de la route.

- essais in-situ éventuellement

- étude du compactage des sols types et contrôle de l'évolution des matériaux au compactage.

- détermination de la portance par essais C.B.R. des sols types compactés à des énergies variables (90 ; 95 et 100 % du Proctor Modifié).

La détermination de l'épaisseur et constitution de la chaussée se fait alors par tronçons homogènes. L'analyse et synthèse des résultats obtenus permet de simplifier et d'aboutir à une répartition réaliste des épaisseurs de chaussée et de leur constitution le long du tracé pour éviter d'avoir des alternances trop fréquentes de variations d'épaisseur.

Outre le corps de chaussée, il est également procédé à la détermination de la constitution des accotements (corps et couche supérieure).

- Prospection et études des matériaux d'emprunt:

Ce volet très important de l'étude géotechnique consiste en la localisation et reconnaissance des zones d'emprunt possibles et estimation préliminaire de la nature et quantité des matériaux disponibles (renseignements illustrés de cartes, schémas et photos).

Les analyses d'identification et de détermination des caractéristiques intéresseront le gisement (matériau brut) et les produits (matériaux à élaborer ou déjà élaborés).

Les qualités préliminaires à connaître sont à titre indicatif:

tout-venants roulés de rivière ou autres T.V. d'emprunt

- Grosseur diamètre maximum
- Granularité
- Propreté
- Dureté

Massifs rocheux

- Etat de fracturation du massif
- Densité de la roche
- Résistance
- Dureté

Matériaux concassés issus du concassage de massifs rocheux ou des gros galets d'oued :

- Granularité
- Forme
- Propreté
- Dureté
- éventuellement aptitude à la compatibilité avec les liants à utiliser (adhésivité aux liants hydrocarbonés réaction physico-chimiques vis-à-vis des liants hydrauliques).

Matériaux des tout-venants éboulés naturels, vieilles terrasses, tufs et encroûtements pouvant être économiquement exploités:

- Granularité
- Propreté
- Evolution des caractéristiques compte tenu de l'usage.

Outre ses qualités préliminaires à connaître, il y a lieu également d'effectuer sur des lots d'échantillons représentant aussi fidèlement que possible les matériaux-types (naturels ou concassés) pouvant être utilisés :

- .des études d'aptitude ou corrections éventuelles
- .des études de formulation pour déterminer les compositions provisoires et caractéristiques des bétons hydrauliques, enrobés hydrocarbonés et autres matériaux composites.

Ce sont là des objectifs globaux à atteindre par l'étude géotechnique routière. Celle-ci comporte et comme il sera précisé au § III, plusieurs niveaux. A chaque niveau d'étude, il est tenté de résoudre les difficultés géotechniques avec un degré de précision compatible avec celui des autres considérations technico-économiques du projet. Le degré de précision souhaité fixe les moyens de reconnaissance et essais de laboratoire à mettre en oeuvre. Un aperçu non exhaustif de ces moyens est donné ci-après.

II - MOYENS DE LA RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

Dans ce paragraphe, il sera donné juste une liste des moyens pouvant être mis en oeuvre. Leur description, but, domaines d'utilisation, exploitation des résultats, leurs avantages, et inconvénients, peuvent être trouvés de façon très détaillée dans les manuels, publications, guides ou modes opératoires traitant globalement ou partiellement de ces moyens.

Il ne sera pas également insisté sur un moyen très important et très fondamental qu'est l'observation et relevé visuel du géotechnicien routier.

Les moyens de reconnaissance sont de trois types :

- Sondages
- Essais en place
- Essais en laboratoire

1 - Sondages:

Ils ont pour but de permettre :

- l'établissement des coupes des sols
- le prélèvement des échantillons intacts ou remaniés
- la réalisation de certains essais in-situ

On distingue :

a) Les puits, tranchées et éventuellement galeries : exécutés manuellement ou à l'aide de quelques engins (pelle mécanique, marteau pneumatique....)

b) Les tarières manuelles ou mécaniques : engins de puissance extrêmement variable (de quelques mètres à des dizaines de mètres). Elles ne permettent le plus souvent que des prélèvements remaniés.

c) Les sondages carottés : L'exécution d'un sondage comporte en général deux opérations : le forage (exécution du trou) et les prélèvements d'échantillons.

Les principales techniques de forage sont :

la rotation, la vibro-percussion, la percussion ou à la lance. Ces techniques, sont généralement fixées en fonction du but recherché et de la nature du sol.

Les prélèvements d'échantillons intacts sont généralement effectués au moyen de carottiers dont nous citons :

-par percussion ou vérinage :

- .carottier simple type SPT
- .carottier double type APM pour sols meubles cohérents
- .carottier à piston stationnaire pour sols mous

-par vibro percussion :

- .carottier double pour sables et graviers

-par rotation :

- .carottier simple (roches saines ou sols compacts)
- .carottier double (roches tendres sensibles à l'eau)
- .carottier triple à trousse compacte et couronne (roches hétérogènes présentant des passages durs et mous).

d) Forages destructifs et diagaphies diverses :

Le but des forages destructifs est de réaliser un trou le plus économiquement possible et non de ramener à la surface des "carottes".

Il existe deux principales méthodes : forage rotatif et marteau perforateur.

L'examen des sédiments remontés par le fluide de forage permet au sondeur exercé d'avoir une connaissance grossière de la nature des roches traversées.

Ce moyen de reconnaissance est le plus souvent valorisé par des mesures systématiques de certains paramètres de forages :

-vitesse d'avancement de forage

-pression sur l'outil

pression du fluide de forage

Des appareils enregistreurs permettent le relevé automatique de ces paramètres

Le forage destructif peut être utilisé pour :

-la recherche des cavités ou zones de décompression (cas par exemple du pont sur l'oued YKEM de l'Autoroute CASA-RABAT) .

-permettre la réalisation d'essais in-situ

-ou la diagrapie : descente dans le trou de forage d'une sonde neutronique (variation de teneur en eau), gamma -RAY (variation de la radioactivité naturelle, à rattacher à la variation de la nature des sols et roches), gamma- gamma (variation de densité) etc...

2 - Essais in-situ :

Les principaux essais pouvant être utilisés in-situ dans le cadre d'une étude géotechnique sont :

.essais de pénétration : dynamique et statique

.essais pressiométriques : estimation de la cohésion des sols

.essai de chargement à la plaque

.mesures de résistivité des sols (trainée électrique)

.essai de sismique réfraction

.essais de perméabilités

.mesures de densité in-situ (densitomètre à membrane, gammadensimètre..)

.essais de perméabilité des sols et massifs rocheux(essais hydrauliques).

.essais spéciaux (essais de chargement ou de cisaillement)

galerie, essai de butée, diagrapie sismique ,essai gravimétrique,etc...)

La programmation d'un ou plusieurs types de ces essais dans la reconnaissance géotechnique dépend en général de la caractéristique recherchée et de la nature probable des sols. Le maillage ou fréquence d'essais dépend également de la géotechnique du site mais aussi du niveau d'étude (degré de précision recherché) .

3 - Essais de laboratoire

Les principaux essais de laboratoire courants auxquels l'étude géotechnique routière fait appel peuvent être regroupés en trois catégories :

-Identification et caractérisation d'état :

- .analyse granulométrique
- .détermination des limites d'Atterberg
- .mesure de l'Equivalent de sable
- .teneur en matières organiques
- .teneur en carbonate de calcium
- .essai au bleu de méthylène
- .teneur en eau
- .détermination des poids volumiques
- .éventuellement analyse minéralogique, composition chimique .

-résistance, comportement rhéologique et essais d'aptitude

- .essai de la compression simple
- .essais de cisaillement
- .essais triaxiaux
- .essais oedométriques
- .aptitude au gonflement
- .essai proctor
- .essai C.B.R.
- .essai sur roches(vitesse du son,compression simple, traction,...)
- Qualité préliminaire des matériaux
- .certains essais d'identification et caractérisation d'état cités auparavant
- .essai de propreté ,forme
- .essai de résistance à l'usure et fragrammation (L.A ,M.D , F.D)
- .certains essais physico-chimiques de comptabilité ou d'affinité (adhésivité, alcali-test , ...)

.essais de stabilité ou de résistance pour les formulations de matériaux

éventuellement essais d'altérabilité ou d'une façon plus générale d'évolution d'état ou de comportement.

Là aussi, les essais de laboratoire sont programmés en fonction de la nature du sol, de la caractéristique recherchée et du stade de l'étude géotechnique.

Les essais en laboratoire et ceux in-situ sont complémentaires .

III - NIVEAUX D'ETUDE

La progressivité et la globalité qui caractérisent l'étude d'un projet routier amènent à distinguer pour la reconnaissance géotechnique trois phases en correspondance avec les stades d'instruction du projet :

- Phase 0 :étude de faisabilité du projet (reconnaissance préliminaire)

- Phase 1: étude d'avant-projet(récolte et recherche des éléments ou données permettant d'aider à fixer les grandes lignes du projet : tracé, matériaux, etc...)

- Phase2: étude détaillée

La reconnaissance générale du tracé traite d'un certain nombre de problèmes (précisés au § I). Pour chacun d'eux, objet d'études spécifiques, trois niveaux d'étude sont à distinguer :

- Le niveau 0 est une estimation de difficulté

- Le niveau I est un prédimensionnement

- Le niveau II est l'étude détaillée

L'articulation de la reconnaissance en phases et des différentes études la constituant en niveaux est schématisée par les tableaux suivants :

Tableau 2 : Niveaux d'études spécifiques

Niveau	Définition - contenance	ex :Terrassement
0	estimation de la difficulté d'après documents existants (en particulier carte géologique l'expérience acquise régionalement et visite sur le terrain. pour les questions de faible importance, l'étude ne dépasse pas ce niveau .	D'après géologie et visite sur le terrain, repérage des zones à terrassements difficiles (rocher, instabilité naturelles probables, etc...) éventuellement des zones à sols compressibles. premières idées sur la réutilisation des matériaux extraits, repérage des zones d'emprunt possibles. premières estimation des pentes des talus connaissant la formation géologique et éventuellement études antérieures dans la région ,etc
I	définition des solutions approximatifs ou qualitatives des problèmes. prédimensionnement de l'ouvrage. Par exemple choix d'un procédé constructif, ou d'un types de confortation, sans détailler le dimensionnement utilisé les identifications de terrain et des essais en petit nombre. Si site homogène et absence de difficultés marquantes le niveau I de l'étude spécifiques sera suffisant pour entamer réalisation	-détermination approximative de la géométrie des couches et nature des sols -les constituants -identification de toutes les familles de sols rencontrés -prévision du mode d'extrction et conditions de réutilisation
	La complexité du problème mise en évidence au niveau précédent, nécessite d'être étudiée à ce niveau.. A l'aide d'essais en nombre suffisant, à caractère systématique il s'agira de préciser quantitativement le type de solution choisi (phase dimensionnement) et de fixer le déroulement des travaux.	-préparation du tableau de correspondance et du mouvement des terres -dimensionnement des chausées. -donner les spécifications pour la rédaction du marché terrassement -définition du contrôle d'exécution (mode, fréquence et spécifications) -études détaillées éventuelles des massifs rocheux (déblais rocheux)

BIBLIOGRAPHIE :

- Note Interne LPEE "Objectifs d'une étude de route neuve" préparée à l'intention des chefs d'arrondissement des T.P. lors de la visite des travaux de construction de la RP 40.

- LEGRAND, RAT, "Reconnaissance ", Fascule n°11, recyclage et formation continue ,RGRA, 1971

- PHILIPPONAT , "Reconnaissance des sols " ,note technique n°121 ,CEBTP 1980

- PAREY "sondages mécaniques pour études routières", bulletin des liaisons LPC n°1 ,1963.

- LCPC , "Reconnaissance géologiques et géotechnique des tracés de routes et autoroutes " , . Note d'information technique, 1982.

- Rapports d'études géotechniques Routières, LPEE

PHASE	O B J E C T I F S	MOYENS ENVISAGEABLES	RESULTATS	NIVEAU D'ETUDES
1	-étude du tracé -provisoire(et variantes locales) -fixé dans la phase O dans une bande de 1 Km environ; -Choix d'une variante et étude à la précision au 1/5000. -Définition du tracé en plan -prédimensionnement des ouvrages -et estimation des données de certains travaux notament : -terrasses -identifications des familles de sols,mode d'extraction,conditions de réutilisation.-emprunts -localisation matériels de remblais, de corps de chaussées,pour ouvrages d'art	-plan au 1/5000 -parcours du tracé -sondages sismiques,électriques -sondages manuels,à la tarière -de fréquence moyenne et au droit ouvrages -éventuellement sondage destructifs avec diagraphie-sondages carotés -quelques essais de pénétration et éventuellement scissométriques -essais d'identification de caractérisation d'état de toutes les familles de sols rencontrées, essais Proctor -quelques essais de mécanique des sols(résistance et comportement) pour études de stabilité et tassement.	- le dossier doit contenir : -un mémoire explicatif et éventuellement rapports études particulières -la carte géologique de la bande au 1/5000 avec les implantation de reconnaissances -le profil en long -géotechnique du tracé comportant sous forme synthétique l'ensemble des données géologiques et géotechniques : -coupes des terrains -caractéristiques géotechniques obtenues à partir des essais.apltitude au terrassement(extraction et réemploi) -des différents sols,hydrogéologie .pente des talus -portance des sols	- niveau I avecpossibilité de pousser au niveau II pour certains points particulier - ou du moins démarrer ce dernier. Certaines études resteront au niveau O en attendant plus de précision du tracé(fondations ouvrage d'art, recherche de matériaux

**Tableau 1 : Articulation phase de reconnaissance-
niveau d'études**

PHASE	O B J E C T I F S	MOYENS ENVISAGEABLES	RESULTATS	NIVEAU D'ETUDES SPECIFIQUES
0	-identifier les "points durs techniques" -définir les variantes possibles -fuseaux de passage	-Géologue/géotechnicien -cartes topographiques -cartes géologiques -photographies -études antérieures, documents disponibles -parcours du site, relevés affleurements et autres observations	-établissement de planches géologiques et dressage de fiches géotechniques : -description géologique et hydrogéologique -estimation des différences caractéristiques géotechniques obtenues au cours d'au- -Estimation approximative : mode extraction, réutilisation matériaux, pentes, aptitude aux fondations, possibilités emprunts	-généralement 0 mais il est possible que dans des cas bien particuliers, il sera nécessaire de passer à un niveau supérieur.

PHASE	OBJECTIFS	MOYENS ENVISAGEABLES	RESULTATS	NIVEAU D'ETUDES SPECIFIQUES
1			• ouvrages ou aménagements confortatifs • des observations relatives à des difficultés particulières. • une carte de matériaux (zones d'emprunts) et fiches relatant pour chaque zone les premières caractéristiques géotechniques ou de qualité	

	-optimiser le choix du tracé en plan et sur-tout du profil en long (encore mal défini en phase 1) en fonction des conditions géologiques. Tracé à définir au 1/1000 -effectuer études de réalisation des différentes parties de l'ouvrage.		
2	-la plupart des moyens d'investigation : sondages, essais in-situ -essais de laboratoire -éventuellement planches essais grandeur ou chantiers expérimentaux	-rapports des études détaillées avec coupes détaillées, résultats d'essais, calcul de dimensionnement, spécifications (rédaction des marchés) et indications sur la façon de mener les travaux. Des fiches par type d'ouvrage seront bénéfiquement réalisées pour permettre un bon suivi de chantier (diagnostic rapide et sûr en cas de difficulté lors de la réalisation des travaux.)	-niveaux II, suf pour certaines qui n'ont pas à être poussées plus loin que le niveau I (absence de difficultés). D'autres études seront effectuées successivement au niveau I puis au niveau II.