

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE Civil
Spécialité : VOA

Thème

L'émission d'un géotechnicien

Présenté Par :

- 1) BERREKAM HAFIF
- 2) KADA BELGHITRI NOUR EDINE

Devant les jurys composés de :

AISSA MAMOUN SIDI MOUHAMED	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
HOUMADI YOUCEF	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
KAMECH ZINE ABIDDIN	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2017/2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





Dédicaces

« Louange à dieu, le seul et unique »

À mes très chers parents...

Témoignage d'affection et de grande reconnaissance,

Que Dieu les garde pour moi

À toute ma famille,

Mes très chers frères et sœurs,

Mes Oncles et Tantes

À tous ceux que j'aime

À tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce

travail

Avec l'expression de tous mes sentiments de respect,

Je dédie ce modeste travail.

Berrekam Hafif



Dédicaces



« Louange à dieu, le seul et unique »

À mes très chers parents..

Témoignage d'affection et de grande reconnaissance,

Que Dieu les garde pour moi

À toute ma famille,

Mes très chers frères et sœurs,

Mes Oncles et Tantes

À tous ceux que j'aime

À tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce

travail

Avec l'expression de tous mes sentiments de respect,

Je dédie ce modeste travail.

Kada Belghitri Nour Eddine





Remerciement

*Nous remercions le bon DIEU qui nous a aidé
dans*

*Nos pas, qui nous ont donné le courage et la
volante*

Pour continuer nos études

Nous tenons expressément et chaleureusement à

Remercier nos parents pour leur soutien et leurs

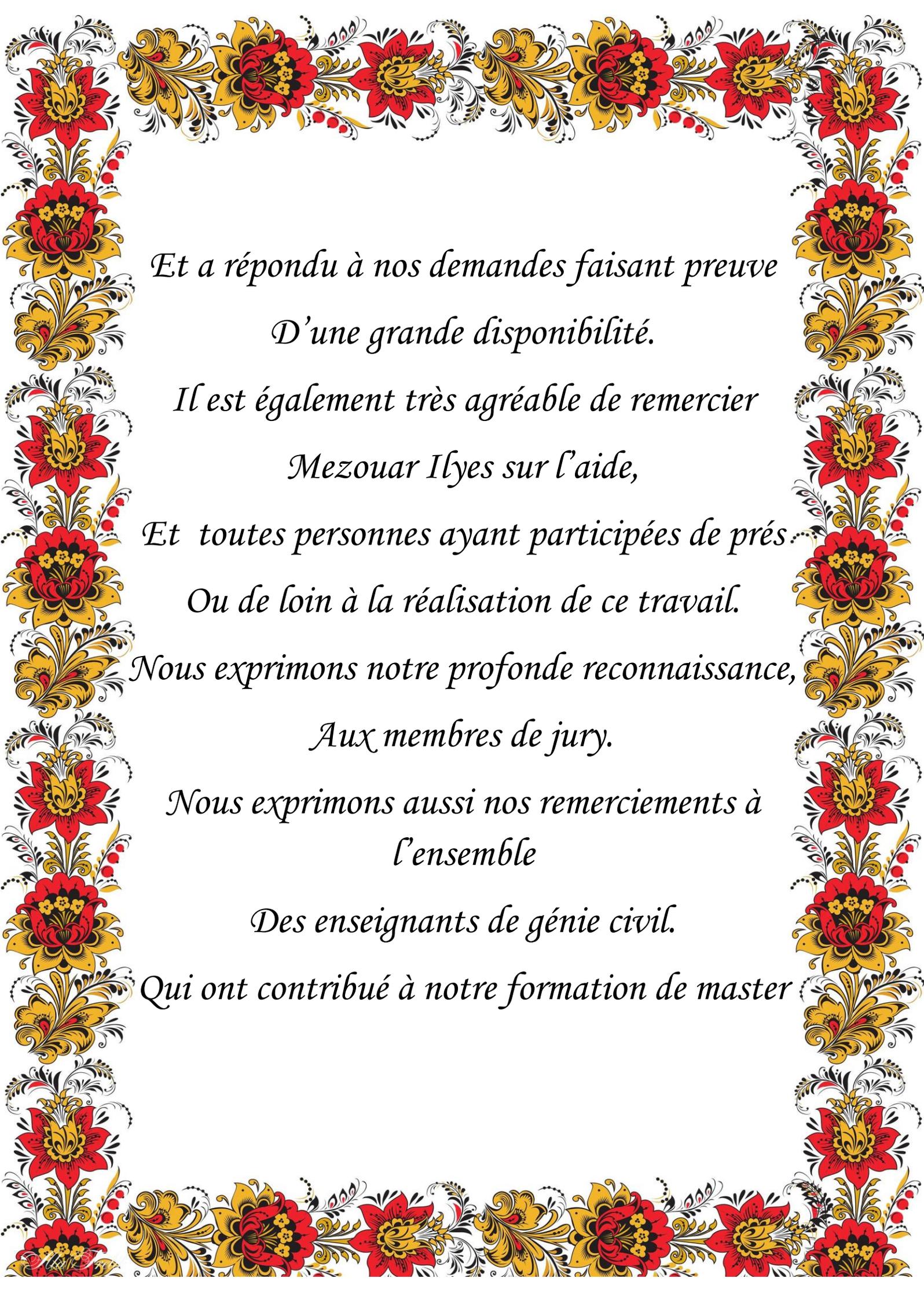
Encouragements tout au long de nos études

Nous tenons particulièrement à remercier

Le professeur Dr. Houmadi Youcef,

*Pour l'attention qu'elle a apportée à notre
travail.*

*Il a encadré ce mémoire avec une grande rigueur
scientifique*



*Et a répondu à nos demandes faisant preuve
D'une grande disponibilité.*

*Il est également très agréable de remercier
Mezouar Ilyes sur l'aide,*

*Et toutes personnes ayant participées de près
Ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Nous exprimons notre profonde reconnaissance,
Aux membres de jury.*

*Nous exprimons aussi nos remerciements à
l'ensemble*

Des enseignants de génie civil.

Qui ont contribué à notre formation de master

Résumé

Ce mémoire traite le sujet des travaux des missions de l'ingénierie géotechnique qui constitue un risque majeur en Algérie touchant terrains, construction et humaines. Le présent travail a pour finalité Clarifier les tâches des missions de l'ingénierie géotechnique dans l'ouvrage gène civile.

Nous avons présente, au début, un aperçu bibliographique concernant la norme euro pian NFP 94-500(version novembre 2013) pour classification des différentes missions de l'ingénierie géotechnique pour définitions de plusieurs procèdes de construction plus sécurisé

Ensuite nous avons détaillé leur enchaînement géotechnicien au cours de la conception, de la réalisation et de la vie d'un ouvrage ou d'un aménagement de site

Enfin on a expose des ouvrages (route ; pont et barrage) pour mentionner les étapes dont le géotechnicien intervient.

Abstract

This thesis deals with the work of the missions of geotechnical engineering which constitutes a major risk in Algeria affecting land, construction and human.

The purpose of this work is to clarify the tasks of geotechnical engineering missions in civil engineering works.

We have, at the beginning, a bibliographic overview concerning the European norm NFP 94-500 (version November 2013) for classification of the different missions of the geotechnical engineering for definitions of several processes of more secure construction

Then we detailed their geotechnical sequence during the design, realization and life of a work or a site development

Finally, works (road, bridge and dam) have been exposed to mention the stages in which the geotechnical intervenes.

ملخص

الغرض من تناول هذه الدراسة في معالجة الأعمال الجيوتقنية التي تشكل خطرًا كبيرًا في الجزائر يؤثر على الأراضي والبناء والبشر هذا العمل هو توضيح مهام البعثات الهندسية الجيوتقنية في أعمال الهندسة المدنية

لدينا في البداية ، لحة بييليوغرافية عن المعيار NFP 94-500 (إصدار نوفمبر 2013) لتصنيف المهام المختلفة للهندسة بعد ذلك ، قمنا بتفصيل تسلسلها الجيوتقني أثناء تصميم وإدراك حياة العمل أو تطوير الموقع للتعريف بعدة عمليات الأوروي .وأخيرًا ، تعرض أعمال (الطرق والجسور والسدود) لذكر المراحل التي يتدخل فيها الجيوتقنيون الجيولوجيون لبناء أكثر أمنًا

Contents

<i>Dédicaces</i>	1
<i>Remerciement</i>	3
<i>Résumé</i>	5
<i>INTRODUCTION GENERALE</i> :.....	15
Chapitre I :.....	17
Généralité sur la norme NFP 94-500 version nov2013	17
I.1 INTRODUCTION	18
I.2.LA MAITRISE D’OEUVRE D’EXECUTION (MOE).....	18
I.3.HISTORIQUE.....	18
I.4.Pourquoi réaliser une étude géotechnique avant un projet d’aménagement ?	19
I.5.Domaine d'application.....	21
I.6.Termes et définitions.....	21
<i>I.6.1-Termes généraux</i>	21
<i>Ouvrage</i>	21
<i>Règles professionnelles</i>	21
<i>Risque géotechnique</i>	21
<i>I.6.2.Termes relatifs aux intervenants</i>	22
<i>Client</i>	22
<i>Contrôleur technique</i>	22
<i>Entrepreneur</i>	22
<i>Ingénierie géotechnique</i>	23
<i>Laboratoire d’essais géotechniques</i>	23
<i>Maîtrise d’ouvrage</i>	23
<i>Maîtrise d’œuvre</i>	23
<i>Mandataire du maître d’ouvrage</i> :.....	23
<i>Sondeur</i>	23
<i>I.6.3.Termes relatifs à la géotechnique</i>	23
<i>Aménagement</i>	23
<i>Avoisinants</i>	23
<i>Dimensionnement d’exécution</i>	23
<i>Dimensionnement de projet (G2 PRO)</i>	24
<i>Données géotechniques pertinentes</i>	24
<i>Ébauche dimensionnelle</i> :.....	24
<i>Existants</i>	24

<i>Géotechnique</i>	24
<i>Hydrogéologie</i>	25
<i>Investigations géotechniques</i>	25
<i>Justifications du dimensionnement</i>	25
<i>Mécaniques des sols, mécanique des roches</i>	25
<i>Méthodes observationnelle</i>	25
<i>Ouvrages géotechniques</i>	25
<i>Paramètres de calcul d'un ouvrage</i>	26
<i>Sols, sous-sol</i>	26
<i>Sondages</i>	26
<i>Terrains, site</i>	27
<i>Valeurs caractéristiques d'un paramètre géotechnique</i>	27
<i>Valeurs seuil</i>	27
<i>Zone d'influence géotechnique (ZIG)</i>	27
I.7.Présentation des missions d'ingénierie géotechnique	27
<i>I.7.1.Maîtrise des incertitudes et risques géotechniques</i>	27
I.7.2.Classification et enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique.....	30
<i>I.7.2.1 - Principes généraux :</i>	30
I.8.Enchaînement des missions G1 à G5	34
<i>I.8.1. Mission G1 ES –G1 PGC – Etude géotechnique préalables</i>	34
I.8.2.Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G2 :	37
<i>I.8.2.1-Étude géotechnique de conception G2 :</i>	37
8.2.2- <i>Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) :</i>	38
I.8.3- Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G 3.....	39
<i>I.8.3.1-Étude géotechnique d'exécution</i>	39
I.8.4.DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5).....	41
I.9. <i>Conclusion :</i>	42
Chapitre II :	43
Conception des étapes des études géotechniques Dans les routes.....	43
II.1. INTRODUCTION :	44
II.2. Généralités.	44
II.2.1. Définition :.....	44
II.2.2. <i>Structure des chaussées :</i>	44
II.2.3. <i>Rôle des couches:</i>	46
II.2.4. <i>TERMINOLOGIE ROUTIERE :</i>	46
II.3. Les études des projets routiers :	48

II.3.1. Etude :	48
II.3.1.1. L'étape 1, l'étude géotechnique préalable (Mission G1)	49
II.3.2. Étude conception :	50
II.3.2.1. Avant-projet sommaire (APS) :	50
II.3.2.2. Phase d'avant-projet – AVP :	50
II.3.3.1. Etape 2 : Etude géotechnique de conception G2 -Phase Avant-Projet AVP	52
II.3.3.2. Etape 2 : Etude géotechnique de conception- phase projet (G2 PRO)	52
3.4.2. Etape 2 : Etude géotechnique de conception phase projet (G2 PRO)	53
II.3.3.3. Phase de projet – PRO (Recommandations générales):	53
II.3.3. ÉTUDES DE RÉALISATION :	53
II.3.3.2 Etape 3 : Etudes Géotechniques De Réalisation G3 et G4	54
II.3.3.3. Diagnostic géotechnique (G5)	54
II.3.4. Suivi des travaux :	54
II.4. Conclusion :	55
Chapitre III: Conception des étapes des études géotechniques Dans les ponts	56
III.1. INTRODUCTION :	57
III.2. Types de ponts :	57
III.2.1. Ponts en bois :	57
III.2.2. Ponts en pierre :	57
III.2.3. Ponts en béton :	57
III.2.4. Ponts en béton armé:	57
III.2.5. Ponts en béton précontraint :	58
III.2.6. Ponts en métal :	58
III.3. Éléments constitutifs des ponts:	58
III.3.1. Le tablier :	58
III.3.2. Dalle :	58
III.3.3. Entretoise :	59
III.3.4. Longérons :	59
III.3.5. Les poutres principales :	59
III.3.6. Poutres latérales :	59
III.3.7. Poutres sous chaussée :	59
III.3.8. Contreventement :	59
III.3.9. La chaussée :	60
III.3.10. Profil en travers :	60
III.3.11. Profil à long :	60
III.3.12. Le revêtement :	60

III.3.13. Couche de roulement :	60
III.3.14. Les trottoirs :	60
III.3.15. Le revêtement :	61
III.3.16. Les bordures des trottoirs :	61
III.3.17. Les canalisations :	61
III.3.18. Les garde-corps :	61
III.3.19. Canalisation d'eau :	62
III.3.20. Les corniches :	62
III.3.21. Les piles et les culées :	62
III.3.22. Les appareils d'appui :	62
III.3.23. Le sommier :	62
III.4. Étude :	63
III.4.1. L'établissement du projet d'exécution :	63
III.4.2. Norme Technique :	64
III.4.2.1. Pour le tracé:	64
III.4.2.2. Pour l'ouvrage d'art:	64
III.4.2.3. Pour la chaussée:	64
III.4.2.4. Proposition pour la phase suivante de l'étude:	64
III.4.3. L'étape 1, l'étude géotechnique préalable (Mission G1) :	65
III.4.4. Étude conception : (Mission G2).....	66
III.4.4.1. Avant-projet sommaire (APS) :	66
III.4.4.2. Phase d'avant-projet – AVP :Mission G2.....	66
III.4.4.3. La phase suivante de l'étude :	69
III.4.4.4. Dossier: géologie et géotechnique:.....	69
III.4.5. Plans annexes au rapport:.....	71
III.4.6. Phase de projet – PRO :	71
III.5. ÉTUDES DE RÉALISATION G3 ET G4 :	72
III.5.1. Plans d'exécution:.....	72
III.6. Diagnostic géotechnique (G5).....	72
III.7. Conclusion :	73
Chapitre IV :	74
Conception des étapes des études géotechniques Dans les barrages.....	74
IV.1. Introduction.....	75
IV.2. Généralités.....	75
IV.2.1. Les principaux paramètres à prendre en compte dans le choix du site et du type de barrage	
IV.2.2. Les types des barrages :	75

IV.3.L'étape 1, l'étude géotechnique préalable (Mission G1)	77
<i>IV.3.1.DEFINITION DE L'ETUDE</i> :	77
<i>IV.3.2.ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE G1</i>	78
<i>IV.3.3.La phase Principes Généraux de Construction (PGC)</i>	79
IV.4. ETUDE GEOTECHNIQUE G2.....	79
<i>IV.4.1.Phase Avant Projet G2 : (AVP)</i>	79
<i>IV.4.2.Phase Projet (PRO)</i> :	80
IV.5.Moyens mis en œuvre au cours de l'Etude géotechnique de conception (G2), phase Projet....	80
IV.6.Mission Etude et suivi géotechniques d'exécution G3 :	81
<i>IV.6.1.Phase Etude géotechnique d'exécution</i> :	81
<i>IV.6.2. Phase Suivi géotechnique d'exécution</i> :	82
IV.7.Mission Supervision géotechnique d'exécution (G4) :	82
IV.8.Mission G5 de Diagnostic géotechnique :	83
<i>IV.9.Conclusion</i> :	73
CONCLUSION GENERALE :	84
Bibliographique :	85

Liste des figures

FIGURE 1: ETUDE GEOTECHNIQUE PREABLES	35
FIGURE 2: ETUDE DE SOL GL ES	35
FIGURE 3: ETUDE DE SOL GL PGC	36
FIGURE 4: SYNTHESE DES COUCHES DE CHAUSSEES	44
FIGURE 5: LES OBJECTIFES DE COMPACTAGE SONT LES SUIVANTS	45
FIGURE 6: COUPE TYPE D'UNE CHAUSSEE SOUPLE	45
FIGURE 7: COUPE TYPE DEFERENCE DE LA RESISTANCE	46
FIGURE 8 : PROFIL EN TRAVERS TYPE	47
FIGURE 9: MATERIEL POUR ESSAI DE PROCTOR CBR ET COURBE DE COMPACTAGE	51
FIGURE 10 : ELEMENTS CONSTITUTIFS DES PONTS	63
FIGURE 11 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE	70
FIGURE 12 : LIMITE D'ATTERBERG	70
FIGURE 13: COUPE TRANSVERSALE D'UN BARRAGE HOMOGENE	76
FIGURE 14: COUE TRANSVERSALE D'UN BARRAG A NOYAU	76
FIGURE 15 : COUPE TRANSVERSALE D'UN BARRAGE A MASQUE	77

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : ENCHAINEMENT DE MISSION D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE G1	34
TABLEAU 2 : ENCHAINEMENT DE MISSION D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE G2 :	37
TABLEAU 3: ENCHAINEMENT DE MISSION D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE G3 ET G4 :	39
TABLEAU 4 : REPRESENTE LA CONTRAINTE ADMISSIBLE DANS LE SOL	71

INTRODUCTION GENERALE :

Depuis plus d'un siècle les géologues, géomorphologues, et plus récemment, les mécaniciens des sols ont tenté par divers moyens, de comprendre les mécanismes et les processus qui génèrent les glissements et tassement du terrain et, plus largement, les mouvements de terrain.

Ces processus initialement naturels sont devenus au fil du dernier siècle de plus en plus liés aux activités anthropiques.

Les mouvements et glissements de terrains sont très souvent des accidents graves et de grande ampleur, qui provoquent des dégâts matériels considérables et peuvent causer des pertes en vies humaines.

Les différents problèmes de recrutement des opérateurs publics et privés dans le domaine de traitement et d'étude de sol en ALGERIE sont de nature bureaucratique.

Les études établies par des bureaux d'études dites professionnelles ne sont pas prises au sérieux or la clé de toutes réussites d'un projet a long terme et fiable, c'est l'étude approfondie du sol en toute sa nature.

Or en Europe les ingénieurs ont beaucoup réfléchies a ce problème de glissement et de tassement des sols et ont crée la norme palier à ces problème.

Cette norme l'aideront dans leurs études à minimiser les risque de tout problème que peut surgir a tout moment en travaillant en collaboration avec plusieurs activants dans même domaine.

A cette effet nous devons choisir cette alternative c'est-à-dire la norme NFP 94-500 de même que les européens afin de rentabiliser les projets et pour que ces même projets subissent pas de dégradations de nature à mettre en cause toute l'étude réaliser à cette fin.

Il est primordial de réfléchir autrement avant d'entamer une étude qui risque de couter cher à l'environnement et au citoyen

L'objectif de ce travail de recherche présenté dans ce mémoire était de contribuer à la compréhension du mode de fonctionnement de la norme NFP 94-500.

Pour bien présenter les informations sur la norme NFP 94-500, le mémoire été articulée sur les chapitres suivants :

- ❖ Chapitre I : Généralité sur la norme NFP 94-500 (version novembre 2013) ;
- ❖ Chapitre II : Conception des étapes des études géotechnique dans les routes ;
- ❖ Chapitre III : Conception des étapes des études géotechnique dans les ponts ;
- ❖ Chapitre IV : Conception des étapes des études géotechnique dans les barrages.

Chapitre I :

**Généralité sur la norme NFP 94-500 version
nov2013**

I.1 INTRODUCTION

La norme NFP 94-500(version novembre 2013) des Missions d'ingénierie géotechnique permet de:

-Simplifier sa compréhension

-Permettre son application avec le rythme des phases de la loi MOP (La loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique(MOA) et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, dite loi MOP est une loi française qui met en place, pour les marchés publics, la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre(MOE).

Simplifier sa coordination avec les autres intervenants

Cette norme et l'organisation des interventions a permis a la MAITRISE D'OEUVRE D'EXECUTION(MOE) de mieux expliquer les intérêts de la présence d'une mission géotechnique en cohérence avec l'avancement de sa propre mission.

I.2.LA MAITRISE D'OEUVRE D'EXECUTION (MOE)

Le maître d'œuvre (ou maîtrise d'œuvre, notée MOE est l'entité chargée par le maître de l'ouvrage (client) de concevoir le bâtiment à construire ou à rénover selon le programme fourni par le maître de l'ouvrage, de diriger l'exécution des marchés de travaux, de proposer le règlement retenu par le maître d'ouvrage pour réaliser l'ouvrage, dans les conditions de délais, de qualité et de coût fixés par ce dernier conformément à un contrat. La maîtrise d'œuvre est donc responsable des choix techniques inhérents à la réalisation de l'ouvrage conformément aux exigences de la maîtrise d'ouvrage. Le maître d'œuvre (en anglais Project Supervisor) a ainsi la responsabilité dans le cadre de sa mission de désigner une personne physique chargée du bon déroulement du projet (on parle généralement de maîtrise du projet), il s'agit du chef du projet [14]

I.3.HISTORIQUE

En septembre prochain sera publiée la nouvelle mouture de la norme NF P 94-500 qui définit le contenu et l'enchaînement des missions de l'ingénierie géotechnique. Objectif de cette révision: faciliter l'application rigoureuse de la norme. A cet effet, le nombre de missions sera réduit et elles s'enchaîneront sur le modèle des missions de la maîtrise d'œuvre générale de la loi MOP.

« Contrairement à ce que l'on peut entendre parfois, la norme n'est pas faite pour les géotechniciens, mais bien pour améliorer la maîtrise des risques géotechniques sur les projets

! » En rappelant avec humour cette évidence, Jacques Robert, président de la Commission de révision de la norme NF P 94-500 sur les missions d'ingénierie géotechnique, souligne une réalité peu glorieuse: dans sa version actuelle, qui date de 2006, la NF P 94-500 est rarement appliquée rigoureusement sur les projets de construction. « Alors que la norme prévoit que l'optimisation des risques géotechniques passe par l'enchaînement de quatre missions successives (les missions G11, G12, G2 et G4, ndlr), le maître d'ouvrage passe bien souvent commande de la seule mission d'étude géotechnique d'avant projet (la G12), et consulte les entreprises sur cette seule base », déplore Jacques Robert. Un dysfonctionnement lié notamment au fait que les donneurs d'ordre, habitués à la structuration des missions de maîtrise d'œuvre générale selon la loi MOP, sont déstabilisés par l'enchaînement particulier des missions d'ingénierie géotechnique, et passent outre certaines d'entre elles.

I.4. Pourquoi réaliser une étude géotechnique avant un projet d'aménagement ?

Lors d'un projet d'aménagement, tout constructeur doit (de manière à assurer la pérennité des futurs ouvrages) prendre en compte la nature des formations constituant le sous-sol du site où il est prévu de réaliser cet aménagement. Cette prise en compte permet d'adapter le projet au site envisagé, de définir le système de fondation de l'ouvrage avec le meilleur rapport sécurité/coût et de se garantir contre les effets de la réalisation des travaux sur les constructions voisines.[2]

Pour des raisons de compétence, la responsabilité des problèmes liés aux formations composant le sous-sol est transféré à un spécialiste, *le géotechnicien*, dont la mission porte généralement sur les points suivants :

Définir le cadre géologique, hydrogéologique et topographique général d'un site étudié et prise en compte des avoisinants du projet ;

Définir des aléas existants vis-à-vis des risques naturels : détection des cavités, stabilité général d'un site (par rapport au glissement de terrain par exemple), sismicité.

Définir les terrassements : faisabilité, réemploi des matériaux, tenus des talus et parois des fouilles ;

Définir l'influence de circulations d'eaux souterraines, agressivité de l'eau vis-à-vis des bétons ;

Définir l'influence de la nature et de la répartition des formations géologiques sur la réalisation des travaux et sur la conception de l'ouvrage : détermination des sollicitations que sont capables de reprendre ces formations en fonction des projets, Définir des types de fondations à envisager et évaluation des tassements sous ouvrages ;

Définir l'incidence sur l'environnement avoisinant le projet : stabilité des pentes et des constructions voisines, nuisances liés aux futurs travaux ;

Pour mener à bien cette mission, l'intervention du géotechnicien se divise généralement en deux phases :

Une phase d'investigations réalisée sur le site étudié et permettant d'obtenir des informations relatives aux formations constituant le sous-sol (homogénéité ou hétérogénéité du sous-sol, détermination des caractéristiques géo-mécaniques des formations constituant le sous-sol, présence de circulations d'eaux souterraines...). Différents moyens peuvent être utilisés pour obtenir ces informations : reconnaissance géologique visuelle, réalisation d'essais mécaniques en place (sondage par forage destructif avec ou sans réalisation d'essais préssiométriques, sondage par forage carotté, sondage au pénétromètre, etc..), essais en laboratoire géotechnique sur des matériaux prélevés sur site...

Une phase d'ingénierie permettant d'analyser les résultats des investigations, de les synthétiser pour ne garder que les paramètres représentatifs et importants, de modéliser à l'aide de ces paramètres le comportement du futur aménagement sur le site d'implantation envisagé et d'étudier la faisabilité de solutions techniques permettant l'adaptation spécifique d'un aménagement à son site.[3]

Le géotechnicien résume souvent sa mission (investigations + ingénierie) au sein d'un rapport d'étude géotechnique qui correspond à une mission bien définie (un « contrat » entre le client et le géotechnicien). Ce rapport a pour objectif de présenter aux constructeurs le cadre dans lequel ils vont réaliser leurs aménagements (environnement du projet, géologie des sous-sols, eaux souterraines...) ainsi que les solutions techniques pratiques, viables et économiques de manière à réaliser en toute sécurité et à moindre coût l'aménagement projeté.

Selon le niveau d'avancement d'un projet d'aménagement (étude préliminaire, phase avant-projet, phase projet, étude sur des ouvrages en cours de réalisation, étude sur des ouvrages construits...) et l'ampleur du projet d'aménagement, l'implication du géotechnicien, en terme de moyens et de responsabilités, n'est pas la même..[3]

En France, la norme NF P 94-500 est le document de référence définissant le cadre règlementaire de travail du géotechnicien. Elle définit plusieurs types de missions géotechniques permettant au géotechnicien d'adapter son intervention en fonction du niveau d'avancement du projet et en fonction de la finalité recherchée par son étude. Ces missions sont : [4]

G1 : Etude géotechnique préalable ;

G2 : Etude géotechnique de conception ;

G3 : Etude géotechnique de réalisation (étude et suivi géotechniques d'exécution) ;

G4 : Etude géotechnique de réalisation (supervision géotechnique d'exécution) ;

G5 : Diagnostic géotechnique. [4]

I.5. Domaine d'application

Le présent document précise le contenu et les limites des missions d'ingénierie géotechnique ainsi que leur enchaînement au cours de la conception, de la réalisation et de la vie d'un aménagement de site ou d'un ouvrage afin de contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Il précise également le contenu et les limites des prestations d'investigations géotechniques qu'il y a lieu d'effectuer pour la bonne exécution de chaque mission d'ingénierie géotechnique. [1]

I.6. Termes et définitions

Pour les besoins de la présente norme, les termes et les définitions suivantes s'appliquent. D'autres termes et définitions concernant la géotechnique figurent dans la norme NF EN 1997-1. [1]

I.6.1-Terms généraux

Ouvrage

Bâtiment ou construction de génie civil qu'un maître d'ouvrage réalise ou fait réaliser, sur un terrain dont il est propriétaire ou ayant-droit. [1]

Règles professionnelles

Règles techniques élaborées sur l'initiative d'organisations professionnelles représentatives.

NOTE: Ces règles ont fait l'objet de la publication d'un document authentifié par les instances dirigeantes de ces organisations et portées à la connaissance des pouvoirs publics et des organisations représentatives des maîtres d'ouvrage, des constructeurs et des contrôleurs techniques. [1]

Risque géotechnique

Effet défavorable d'une incertitude géotechnique sur les objectifs du projet

L'étude de sol a pour but d'identifier les risques majeurs liés au sol, et de proposer des solutions pour traiter les contraintes éventuelles.

Voici les problèmes les plus récurrents constatés lors d'absence ou d'insuffisance d'étude de sol :

La non identification d'argiles sensibles aux phénomènes de retrait et de gonflement au droit de la construction (responsables de la majorité des sinistres de maisons individuelles), entraînant des sinistres graves sur l'habitation et les avoisinants.

Le surdimensionnement inutile du système de fondation entraînant des surcoûts en phase travaux.

Le non-respect des côtes hors-gel des fondations, entraînant un mouvement de celles-ci en période de gel, et donc des désordres sur l'habitation.

Une largeur insuffisante des fondations, entraînant une mauvaise assise de celles-ci (phénomène dit de poinçonnement) ou des tassements et donc des désordres sur l'habitation et les avoisinants.

La mauvaise qualité des fonds de fouilles entraînant une mauvaise assise des fondations (phénomène dit de poinçonnement) ou des tassements et donc des désordres sur l'habitation et les avoisinants.

La construction réalisée sur une zone de remblais non identifiée et non connue entraînant soit des tassements et donc des désordres sur l'habitation ou les avoisinants, soit de forts surcoûts en phase travaux pour adapter le système de fondations.

La construction réalisée sur une zone de sol compressible, très souvent non localisée sur les cartes géologiques entraînant soit des tassements et donc des désordres sur l'habitation ou les avoisinants, soit de forts surcoûts en phase travaux pour adapter le système de fondations. [5]

1.6.2. Termes relatifs aux intervenants

Client

Personne physique ou morale, représentée ou non par un mandataire, pour le compte de qui l'ingénierie géotechnique réalise une mission. [1]

Contrôleur technique

Personne physique ou morale, agréée par l'autorité administrative compétente, intervenant pour le maître d'ouvrage.

NOTE: L'activité de contrôle technique de la construction est exercée en conformité avec la norme française NF P 03-100 relative aux critères généraux pour la contribution du contrôle technique à la prévention des aléas techniques dans le domaine de la construction.[1]

Entrepreneur

Opérateur économique qui conclut le marché de travaux avec le maître de l'ouvrage.

En cas de groupement des opérateurs économiques, l'entrepreneur désigne le groupement, représenté par son mandataire. [1]

Ingénierie géotechnique

Personne physique ou morale qui réalise des prestations d'ingénierie géotechnique et/ou d'investigations géotechniques. [1]

Laboratoire d'essais géotechniques

Personne physique ou morale chargée d'exécuter tout ou partie d'un programme d'essais géotechniques en laboratoire qui lui a été défini. [1]

Maîtrise d'ouvrage

Personne physique ou morale, pour le compte de qui l'ouvrage est construit. [1]

Maîtrise d'œuvre

Personne physique ou morale qui assure la conception générale et/ou la direction et le contrôle des travaux d'exécution de l'ouvrage pour le compte du maître d'ouvrage. [1]

Mandataire du maître d'ouvrage :

Personne physique ou morale qui agit pour le compte du maître d'ouvrage lors du déroulement du projet

NOTE 1 Il peut s'agir du maître d'ouvrage délégué, de l'assistant maître d'ouvrage, du maître d'œuvre. [1]

Sondeur

Personne physique ou morale chargée d'exécuter tout ou partie d'un programme d'investigations géotechniques in situ qui lui a été défini. [1]

1.6.3. Termes relatifs à la géotechnique

Aménagement

Conception et réalisation d'un traitement ou d'une modification physique ou géométrique du terrain par apport, enlèvement ou déplacement de matériaux du site ou extérieurs au site. [1]

Avoisinants

Bâtiments, ouvrages, aménagements de terrains ou biens, situés dans la zone d'influence géotechnique (ZIG) de l'opération de construction. [1]

Dimensionnement d'exécution

Activité ayant pour but d'établir, par des méthodes de calcul et de justification reconnues et éventuellement imposées par contrat, les données nécessaires à la réalisation d'un ouvrage géotechnique.

NOTE: Le dimensionnement d'exécution comprend notamment les plans et les coupes, ainsi que les annotations et les spécifications concernant les dimensions, les matériaux, les produits et les procédés nécessaires. [1]

Dimensionnement de projet (G2 PRO)

A pour but d'établir, par des méthodes de calcul reconnues, les données nécessaires à la conception d'un ouvrage géotechnique pour l'établissement du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE). Il ne permet pas d'exécuter les travaux. [1]

Données géotechniques pertinentes

Données géotechniques issues d'investigations qui permettent de définir les caractéristiques géotechniques d'un site où doit être construit un ouvrage ou un aménagement compte tenu des règles de l'art et de la phase d'étude du projet. [1]

Ébauche dimensionnelle :

approche établie à partir des résultats de la phase AVP d'une étude géotechnique de conception (G2), par utilisation de méthodes de calculs reconnues.

INOTE 1 Elle donne des ordres de grandeur des caractéristiques dimensionnelles envisageables ainsi qu'un premier aperçu des sujétions techniques d'exécution.

NOTE 2 Elle ne permet pas le dimensionnement d'un projet. [1]

Existants

Bâtiments, ouvrages, aménagements de terrains ou biens présents sur le site au moment de la mission géotechnique, en infrastructures ou superstructures, qui peuvent faire l'objet de démolition, dépose des équipements, rénovation, réhabilitation, transformation, etc. [1]

Géotechnique

Ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur

NOTE 1: La géotechnique englobe l'étude des propriétés géotechniques des sols et de l'interaction entre les terrains et les ouvrages environnants d'une part, l'ouvrage objet de la prestation du fait de sa réalisation et/ou de son exploitation d'autre part.

NOTE 2 La géotechnique s'appuie principalement sur les différentes sciences de la terre suivantes :

- la géologie qui retrace l'histoire de la terre, précise la nature et la structure des matériaux et leur évolution dans le temps ;
- l'hydrogéologie (définie ci-après), partie spécialisée de la géologie ;
- la mécanique des sols et des roches (définie ci-après) ;
- la rhéologie des matériaux ;
- la géophysique qui permet d'approcher par des mesures physiques certaines Caractéristiques de structure et propriétés des matériaux de l'écorce terrestre ;
- la dynamique des sols qui étudie le comportement des matériaux soumis à des

Sollicitations dynamiques ;

- la géochimie qui analyse la composition chimique des eaux et des matériaux. [1]

Hydrogéologie

Science de l'eau souterraine. Elle a notamment pour objectif la caractérisation des différents aquifères et l'étude de leur impact sur le milieu naturel et les ouvrages. [1]

Investigations géotechniques

ensemble des recherches et reconnaissances effectuées par l'utilisation des matériels de forages, sondages, mesures et essais géotechniques in situ et en laboratoire, mesures géophysiques, mis en œuvre pour recueillir des informations géologiques et géotechniques sur les sols et les roches d'un site, telles que leur nature, leur composition, leur structure et leur répartition spatiale, ainsi que leurs caractéristiques physiques et chimiques, géo mécaniques et hydrogéologiques. [1]

Justifications du dimensionnement

Opération consistant à prouver que le dimensionnement d'un ouvrage sous l'aspect géotechnique est conforme aux règlements, normes, règles professionnelles et règles dell'arte applicables en fonction de la nature, de la date et des modalités du contrat. [1]

Mécaniques des sols, mécanique des roches

Sciences qui appliquent aux constituants de l'écorce terrestre considérés comme matériaux impliqués dans la construction des ouvrages, les lois et les principes de la rhéologie, de la mécanique des milieux continus et de l'hydraulique notamment

NOTE 1 Elles visent à modéliser leur comportement du point de vue de la déformabilité et de la résistance des matériaux soumis à des sollicitations statiques en les considérant comme homogènes, tout en distinguant les sols par leur caractère polyphasique, et les roches par l'existence entre les constituants minéraux d'une cimentation et d'une fracturation. [1]

Méthodes observationnelles

Méthode choisie dès la conception d'un ouvrage, consistant, en cas de comportements géotechniques difficilement prévisibles, à modifier l'exécution de l'ouvrage, sur la base d'un plan d'adaptation préétabli, activé en fonction de la comparaison entre des comportements préalablement quantifiés et définis comme admissibles, et des comportements constatés en cours de travaux. [1]

Ouvrages géotechniques

Ouvrages ou parties d'ouvrage assurant le transfert des interactions entre un ouvrage dans sa globalité et les terrains dans lequel il s'insère

NOTE 1 Les ouvrages géotechniques sont notamment pour les plus courants et sans exhaustivité :

- les fondations (semelles, radiers, puits, pieux, barrettes, murs enterrés) ;
- les soutènements par tout procédé (murs préfabriqués, murs coulés en place, béton projeté, inclusions, clouage, terre armée) ;
- les ouvrages en terre (avec les matériaux du site ou extérieurs au site) et les aménagements de terrains par terrassement, havage, dragage, talutages, modifications de pente, déblais, remblais, assises de dallage et de voirie, digues, barrages ;
- les ouvrages souterrains, avec ou sans dispositifs de soutènement (puits, excavations, galeries, tunnels, chambres de stockage) ;
- les ouvrages de drainage, d'épuisement, de pompage ; • les améliorations de sols. [1]

Paramètres de calcul d'un ouvrage

Donnée nécessaire à un modèle de calcul, liée aux caractéristiques du sol et aux actions dues à l'ouvrage ainsi qu'à leurs interactions. [1]

Sols, sous-sol

<Géotechnique> tout terrain naturel ou artificiel, susceptible d'être mobilisé par la construction d'un ouvrage, englobant les sols et les roches en place ou en remblai

NOTE 1 Il diffère tout à fait du sens littéral usuel dans lequel le sol ne désigne que la surface du terrain, le reste (ou sous-sol) étant constitué tout d'abord d'une couche superficielle plus ou moins épaisse (sol au sens de l'agriculture et de la pédologie) résultant de l'altération des roches sous-jacentes, puis de l'ensemble des constituants minéraux de l'écorce terrestre qui sont des roches au sens géologique. [1]

Sondages

Exploration locale et méthodique d'un terrain à partir d'une excavation, d'un trou de forage, de la pénétration d'une sonde ou de l'utilisation de techniques physiques ou géophysiques pour en déterminer la nature, la structure ou effectuer des mesures de propriétés physiques ou chimiques, mécaniques ou hydrauliques.

Les sondages permettent de connaître la nature et le type du sol sur lequel reposera la construction, mais également les caractéristiques mécaniques de ce sol, c'est-à-dire sa capacité de déformation, et de réaction aux différentes contraintes qui lui seront imposées par le projet ou par les travaux.

Nous réaliserons donc :

-des reconnaissances géologiques (sondages destructifs, sondages au tractopelle ou sondages carottés)

-des essais géo mécaniques (sondages préssiométriques ou pénétrométriques). [5]

Terrains, site

Lieu délimité dont le maître d'ouvrage est généralement propriétaire ou ayant-droit. Dans la présente norme, le terme « site » lui sera préféré.[1]

Valeurs caractéristiques d'un paramètre géotechnique

estimation prudente de la valeur qui influence l'occurrence de l'état limite.[1]

Valeurs seuil

Dans la méthode observationnelle, valeur théorique d'un paramètre mesurable à laquelle se comparent les valeurs mesurées du même paramètre

NOTE 1 Elle définit, préalablement à la réalisation des mesures, la valeur à partir de laquelle des actions prédéfinies visant à garantir un comportement admissible de l'ouvrage et de sa zone d'influence géotechnique (ZIG) seront mises en œuvre. Il peut exister plusieurs types de valeurs seuil (seuil d'alerte, d'intervention, d'arrêt pour l'ouvrage, pour ses avoisinants).

NOTE 2 Hors méthode observationnelle, valeur limite d'un paramètre à partir de laquelle, des dispositions spécifiques doivent être prises. [1]

Zone d'influence géotechnique (ZIG)

Volume de terrain au sein duquel il y a interaction entre d'une part l'ouvrage ou l'aménagement de terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et d'autre part, l'environnement (sols, ouvrages, aménagements de terrains ou biens environnants). La forme et l'extension de cette zone d'influence géotechnique sont spécifiques à chaque site et à chaque ouvrage ou aménagement de terrain. [1]

I.7.Présentation des missions d'ingénierie géotechnique

1.7.1.Maîtrise des incertitudes et risques géotechniques

➤ Les problématiques auxquelles doit répondre une étude de sol :

L'ingénieur géotechnicien est confronté à une série de problématiques. L'étude de sol doit permettre de lever l'ensemble des risques non connus a priori.

Parmi eux :

-les eaux souterraines (variabilité spatiale et temporelle, débit, impact sur les travaux...)

-les terrassements nécessaires (phasage, passage des engins et grues, présence de sols rocheux à extraire, rencontre de l'eau...)

-les soutènements éventuels (quels types, dimensionnement)

-le système de fondation nécessaire (quel sol ? quelle profondeur ? quel type ? quelle portance ? quels tassements envisagés ?...)

-les dallages et les voiries (dallage sur terre-plein ? plancher porté ? vide sanitaire ? épaisseur nécessaire de la couche de forme ? préparation du sol ?...)

Ce qu'il faut retenir :

Une étude géotechnique n'est pas uniquement une « étude de sol »

-Le géotechnicien doit bien comprendre le projet, de façon à appréhender l'ensemble des problématiques de celui-ci

-La modélisation du contexte géotechnique est primordiale et se doit d'être la plus précise et la plus exhaustive possible. Elle permet de recenser l'ensemble des aléas et d'optimiser l'adaptation du projet au contexte. [5]

Identification des risques

Dans le cadre de l'enchaînement des missions successives d'ingénierie géotechnique, des risques géotechniques sont identifiés en fonction des données collectées et des spécificités de l'ouvrage géotechnique projeté, puis font l'objet d'une évaluation et d'un traitement.

Les risques géotechniques sont liés à une connaissance partielle des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques du site susceptibles d'avoir des conséquences sur le comportement des ouvrages ou des aménagements. Ils dépendent donc des incertitudes, de la variabilité naturelle des paramètres et des accidents géologiques. Une bonne identification des risques impose donc nécessairement des investigations géotechniques suffisantes et pertinentes en regard des besoins des différentes phases de conception, voire des études d'exécution, ainsi qu'un suivi géotechnique en phase de travaux. Cette progressivité des investigations permet de réduire les incertitudes résiduelles.

Les dommages potentiels aux avoisinants et les méthodes d'exécution envisagées doivent être pris en compte dans l'analyse des risques. [1]

➤ **Évaluation et hiérarchisation des risques**

Les risques géotechniques identifiés doivent être évalués puis hiérarchisés pour apprécier leur impact sur le projet :

- les risques majeurs peuvent remettre en cause le projet ;
- les risques importants peuvent nécessiter des mesures appropriées en phase conception et lors de l'étude géotechnique d'exécution ainsi qu'un suivi spécifique en phase réalisation pour décider si nécessaire de la mise en œuvre d'adaptations ou de mesures prédéfinies ;

- les risques mineurs peuvent justifier une optimisation en phase conception et lors de l'étude géotechnique d'exécution ainsi qu'un suivi spécifique en phase réalisation pour aboutir à un faible impact en termes de qualité, sécurité, coût et délai.[1]

➤ **Traitement des risques**

Face à chaque risque identifié, il convient de définir les actions préventives possibles pour le réduire (réduction des incertitudes ou de l'impact potentiel de ces incertitudes), les dispositions à mettre en œuvre pour détecter sa survenance le plus tôt possible (programme de suivi et de contrôle avec valeurs seuils associées) et les actions correctives pour en minimiser l'impact s'il se réalise (adaptation du projet).

Le traitement des risques est adapté à chaque phase de déroulement du projet. Le canevas de traitement habituel est le suivant :

- le risque majeur identifié est réduit ou annulé par des recommandations appropriées pour le futur ouvrage dès le stade de l'étude géotechnique préalable (étape 1) ;
- le risque important identifié est réduit ou annulé par des mesures appropriées au stade de l'étude géotechnique de conception (étape 2) : adaptation du projet, suivi spécifique avec des mesures prédéfinies et des valeurs seuils associées, ainsi que des adaptations possibles à mettre en œuvre en phase de réalisation ;
- le risque mineur identifié a un faible impact sur la qualité, les coûts, la sécurité et les délais, et peut justifier une solution d'optimisation au stade de la réalisation (étape 3).

La gestion des risques (et donc de leur coût potentiel) est axée sur leur détection le plus tôt possible et sur le contrôle de l'efficacité des solutions correctives prévues. Elle s'appuie sur les actions suivantes :

a) au stade de la conception de l'ouvrage :

- évaluation des incertitudes et de la variabilité des paramètres influents, avec réalisation d'investigations géotechniques complémentaires pour les réduire ;
- reconnaissance de l'environnement, en particulier des avoisinants potentiellement concernés ;
- Définir des éventuelles dispositions constructives complémentaires à mettre en œuvre si le contexte géotechnique ou le comportement de l'ouvrage observé n'est pas conforme aux prévisions ;
- Définir des adaptations possibles avec recherche d'opportunités ;
- prise en compte des risques inhérents par leur budgétisation et leur incidence sur les délais ;
- prise en compte de la maintenance inhérente à certains types d'ouvrages géotechniques (drains, tirants...) : accessibilité, coûts...

b) pendant l'étape 3 de réalisation de l'ouvrage : étude géotechnique d'exécution, puis suivi et contrôle géotechnique en continu (en fonction des valeurs seuils associées) ;

c) pendant l'exploitation de l'ouvrage : mise en œuvre éventuelle de la maintenance inhérente à certains types d'ouvrages géotechniques, adaptée au contexte géotechnique du site et à la spécificité de l'environnement de l'ouvrage.[1]

I.7.2. Classification et enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

I.7.2.1 - Principes généraux :

L'enchaînement des missions contribue à la maîtrise des risques géotechniques en vue de fiabiliser la qualité, le délai d'exécution et le coût réel des ouvrages géotechniques.

Tout ouvrage est en interaction avec son environnement géotechnique. Le maître d'ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la maîtrise d'œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception puis de réalisation de l'ouvrage.

Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives de la maîtrise d'œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 et 2. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir:

- la première : pour le compte du maître de l'ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3

- la seconde : pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Toute mission d'ingénierie géotechnique doit s'appuyer sur des données géotechniques pertinentes issues de la réalisation de prestations d'investigations géotechniques spécifiées à l'Article 6. [1]

➤ Enchaînement des missions

A. À la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire

L'ingénierie géotechnique réalisée pour le compte du maître de l'ouvrage ou de son mandataire, doit suivre l'enchaînement des missions décrites ci-après. Ces missions s'appuient sur des données géotechniques pertinentes (voir le Tableau 1 et l'Article 6).

Il est recommandé de confier l'ensemble de ces missions à une même entité afin de lui donner une vue globale sur le projet et son évolution, dans la recherche des optimisations tout en assurant une bonne maîtrise des risques géotechniques.

Le maître d'ouvrage ou son mandataire organise la diffusion aux divers intervenants (contrôle technique, ingénierie géotechnique, entreprise...) des documents et informations émis par chacun d'entre eux au fur et à mesure de l'enchaînement qu'il coordonne.

À l'étape 1, l'étude géotechnique préalable (G1) comprend deux phases :

- la phase Étude de Site (ES), à lancer avant l'étude préliminaire ou l'esquisse ou l'APS de l'ouvrage. Elle permet de définir un modèle géologique préliminaire du site, avec ses principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs pour un futur ouvrage non encore étudié ;
- la phase Principes Généraux de Construction (PGC), qui contribue à la mise au point de l'étude préliminaire, ou de l'esquisse ou de l'APS de l'ouvrage pour la part des ouvrages géotechniques. Elle synthétise les données géotechniques à prendre en compte à ce stade et propose certains principes généraux de construction envisageables pour les ouvrages géotechniques. Elle permet, d'une part, de compléter le modèle géologique et de définir le contexte géotechnique, d'autre part, de mieux sérier, en fonction de l'ouvrage qui sera projeté, les risques géotechniques et de réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs en cas de survenance. Elle ne comprend pas d'ébauche dimensionnelle.

Les contraintes géotechniques de site sont conditionnées par la nature de l'ouvrage et variables dans le temps, puisque les formations géologiques se comportent différemment en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises (géométrie de l'ouvrage, intensité et durée des efforts, cycles climatiques, procédés de construction, phasage des travaux notamment). C'est au cours de toutes les phases de l'étape 2 qu'il faut étudier les conséquences des risques majeurs et leur réduction éventuelle. L'étude géotechnique de conception (G2), réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière, comprend trois phases :

- la phase Avant-projet AVP, qui contribue à la mise au point de l'AVP ou de l'APD de l'ouvrage pour la part des ouvrages géotechniques. Elle peut compléter le modèle géologique et le contexte géotechnique. Elle définit les hypothèses géotechniques à prendre en compte à ce stade et les principes de construction des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et des voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants). Elle fournit une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique, une première approche des quantités et conclut sur la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure gestion des risques géotechniques.

Le rapport produit à l'issue de cette phase sert de donnée d'entrée pour la phase suivante.

- la phase Projet PRO, qui contribue à la mise au point du Projet de l'ouvrage pour la part des ouvrages géotechniques. Elle définit les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier). Elle

établit les notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et des voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement niveau projet de ces ouvrages, les valeurs seuils et une approche des quantités. Si nécessaire, elle donne les principes de maintenance des ouvrages géotechniques. Le dossier produit à l'issue de cette phase définit techniquement les ouvrages géotechniques. Il sert de base à l'élaboration du DCE.

- La phase DCE / ACT, qui contribue d'abord à l'établissement du Dossier de Consultation des Entreprises de l'ouvrage pour la part des ouvrages géotechniques, ensuite à l'Assistance pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour réaliser les ouvrages géotechniques. Elle établit ou participe à la rédaction des documents techniques nécessaires à la consultation des entreprises et à leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges techniques particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).

Elle assiste le maître d'ouvrage ou la maîtrise d'œuvre pour la sélection des entreprises, dont elle analyse les offres techniques (projet de base et variantes éventuelles) et elle participe à la finalisation des pièces techniques définitives des contrats de travaux concernés par les ouvrages géotechniques. Ces pièces techniques servent de données d'entrée pour les missions d'ingénierie géotechnique suivantes de l'étape 3 : Études géotechniques de réalisation.

À l'étape 3 de réalisation des ouvrages géotechniques, la supervision géotechnique d'exécution(G4), réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière, comprend deux phases interactives :

- la phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution, qui émet un avis pour le visa donné par la maîtrise d'œuvre. Elle donne un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et des méthodes d'exécution, des adaptations ou des optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils ;
- la phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution. Par interventions ponctuelles sur le chantier, en fonction des observations et des données fournies dans le cadre de la mission G3, elle donne un avis sur la pertinence :
 - du contexte géotechnique ;
 - du comportement de l'ouvrage et des avoisinants ;
 - de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée ;

- de la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et des documents fournis pour le dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).[1]

B. À la charge de l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire

L'entreprise base son ingénierie géotechnique G3 sur les données géotechniques fournies par le maître d'ouvrage ou son mandataire à la phase G2 DCE/ACT, et sur les résultats des éventuelles investigations complémentaires.

À l'étape 3 de réalisation des ouvrages géotechniques, l'étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) comprend deux phases interactives :

- la phase Étude, qui contribue à l'étude d'exécution des ouvrages géotechniques. Elle établit la note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat Travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires

Elle donne le dimensionnement des ouvrages géotechniques, leurs méthodes et conditions d'exécution, leurs phasages généraux. Elle définit les suivis, les auscultations et les contrôles à prévoir, les valeurs seuils. Elle définit les moyens à mettre en œuvre pour sécuriser l'ouvrage et les éventuels avoisinants concernés ainsi que les adaptations du projet vis-à-vis des risques géotechniques identifiés en cas de survenance en cours de réalisation. Elle établit ou participe à l'établissement du dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs avec plans d'exécution, de phasage et de suivi ;

- la phase Suivi, qui contribue fortement à une bonne maîtrise des risques géotechniques pendant la réalisation des ouvrages géotechniques. Par un suivi en continu des travaux géotechniques (relevés, auscultations et application du plan de contrôle), elle permet d'une part de valider ou de mettre à jour le modèle géologique et les hypothèses géotechniques du site, et d'autre part de s'assurer que le comportement en cours d'exécution de l'ouvrage et des avoisinants concernés est conforme aux prévisions ou de mettre en œuvre à temps les adaptations nécessaires (mesures correctives prévues) ou les optimisations possibles notamment en cas d'application de la méthode observationnelle.

Elle participe à l'établissement de la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).[1]

➤ **Cas particulier du diagnostic géotechnique (G5)**

Une ingénierie géotechnique peut réaliser un diagnostic géotechnique (G5), à tout moment et en dehors de tout enchaînement de missions pour le compte de tout intervenant (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entrepreneur...).

Le diagnostic géotechnique n'est pas suffisant pour réaliser directement des travaux, lesquels doivent toujours faire l'objet de l'enchaînement classique des missions d'ingénierie

géotechnique : étude géotechnique de conception (G2) et/ou étude et suivi géotechniques d'exécution (G3), avec supervision géotechnique d'exécution (G4).

Ce cadre convient à l'étude strictement limitative d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques dans le cadre d'une mission ponctuelle : par exemple, adaptations circonscrites sur ouvrage géotechnique bien délimité, analyse de singularités, survenance d'un risque non identifié préalablement, causes géotechniques de la survenance d'un désordre, étude des solutions de renforcement d'un ouvrage.[1]

I.8.Enchaînement des missions G1 à G5

I.8.1. Mission G1 ES –G1 PGC – Etude géotechnique préalables

Tableau 1 : Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G1

Enchaînement de mission G1	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission	Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude Géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)	Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)	Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique



Figure 1: étude géotechnique préalable

Mission G1 ES –G1 PGC : Depuis la **révision** de la norme NF 94-500 en novembre 2013, les études géotechnique préalables phase G11 et G12 ont disparu et ont été remplacées par la mission G1 (décomposée en mission G1 ES-G1 PGC) et une partie intégrée dans la nouvelle mission G2. [6]

➤ **Etude de sol G1 –Mission G1 ES**



Figure 2: étude de sol G1 Es [6]

Comme son abréviation l'indique la mission G1 ES est une Etude du Site .cela entend qu'il n'y a pas de projet réellement défini : c'est une première identification des risques géologiques.

L'objectif est de définir de manière générale s'il n'y a pas sur la parcelle de contraintes particulières types glissement de terrain, argile, hydrogéologie générale, inondation, hydro morphisme, comportement des sols, stabilité du terrain, sismicité ...

C'est donc une première mise en exergue des risques du site, et une première analyse des principaux aléas géologique liés pour un éventuel projet de construction à venir. [6]

➤ Etude de sol G1-Mission G1 PGC



Figure 3: étude de sol G1 PGC [6]

L'abréviation de mission G1 PGC explique déjà en partie l'objectif :

Principe Généraux de Construction... Pour cette mission de principe généraux c'est un peu différent et un peu plus poussé : mais ce dernier est encore non précis, pour lequel le géotechnicien entamera alors les premières prescriptions, d'ordre générale à respecter sur le site pour permettre le bon déroulement du projet de construction. Cette mission G2 PGC permet alors d'aller plus loin dans l'avancée du projet (avec l'architecte par exemple) pour réaliser les esquisses et /ou l'avant-projet.

On peut ainsi construire mais peut-être avec des contraintes : dans ce cas ,il est nécessaire de poursuivre par une phase de faisabilité de construction, à savoir une étude G2 AVP .Ces mission G1 ES-G PGC sont généralement utile pour la vente de d'un terrain (par exemple un passage cher le notaire), un projet de construction avec un simple avis géologique, permettant ainsi d'estimer le coût et les conditions qui seront imposées à la construction .L'enchaînement logique des études géotechnique est le passage ensuite à la mission G2 pour définir plus précisément les adaptations du projet au site étudié (fondation, soutènements..) .[6]

I.8.2.Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G2 : [1]

1.8.2.1-Étude géotechnique de conception G2 :

Tableau 2 : Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G2 : [1]

Enchaînement des missions G2	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission	Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)	Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)	Conception et justifications du projet	risques identifiés, mesures correctives pour les risques	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT	Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux	résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	

Étude géotechnique de conception G2 : elle définit la conception des ouvrages géotechniques en les dimensionnant précisément. Elle détermine également les risques géotechniques par une évaluation complète des sols. Elle permet donc d'aboutir à des mesures préventives afin

de réduire les risques identifiés. Cette étape est essentielle dans la gestion d'un projet. Elle se base sur les conclusions de l'étude préalable et nécessite trois phases bien distinctes.[7]

➤ **L'Avant-projet (AVP)**

Objectif : définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet.

Il conforte le modèle géotechnique obtenu dans l'étude préalable et évalue plus clairement les risques selon l'ouvrage attendu. Cette étape dessine les premières solutions envisageables pour le projet. Ginger CEBTP vous propose donc une campagne de reconnaissance personnalisée au besoin de votre projet. L'entreprise se charge d'affiner le modèle géotechnique et d'établir les hypothèses géotechniques.

Les prestations : Ginger CEBTP se chargera d'établir le programme d'investigations géotechniques associant les techniques de sondages, le nombre et implantations, ainsi que les essais in-situ et en laboratoires qui seront réalisés.[7]

➤ **Le Projet (PRO) :**

Objectif : conception et justifications du projet.

Il constitue la phase de conception des ouvrages géotechniques. Pour cela, Ginger CEBTP réalise les calculs de dimensionnement des ouvrages géotechniques et détermine l'ensemble des notes techniques appuyant les choix constructifs des ouvrages. Il sera également ajusté selon les mesures correctives émanant des risques résiduels antérieurement identifiés.

Les prestations : Ginger CEBTP vous fournira un rapport détaillé de définition de l'ouvrage en justifiant les choix constructifs compte tenu de la situation géologique et de l'environnement de votre projet. [7]

8.2.2-Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) :

Objectif : consultation sur le projet, choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux.

La compilation des deux premières phases chemine à la rédaction du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) pour les ouvrages géotechniques et à l'Assistance pour l'établissement des Contrats de Travaux (ACT). Cette ultime étape a pour objet d'écrire les pièces techniques nécessaires à la consultation des entreprises et assister le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises en analysant techniquement les réponses. [7]

I.8.3-Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G 3

I.8.3.1-Étude géotechnique d'exécution

Tableau 3:Enchaînement de mission d'ingénierie géotechnique G3 et G4 : [1]

Enchaînement des missions G3 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage		Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût		Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux

A. Etude et suivi géothermiques d'exécution (G3)

Cette mission sera confiée à l'entrepreneur, elle cherche notamment à diminuer les risques géothermiques, en mettant en pratique des solutions de correction, ainsi que des mesures d'adaptation et de correction.

Cette étape inclut deux phases interactives :

➤ Phase étude

Cette phase repose sur une étude rigoureuse des ouvrages géothermiques ; elle comprend l'établissement d'une hypothèse géotechnique ainsi que la définition et le dimensionnement des ouvrages géothermiques.

Dans cette phase, nous saurons étudier les méthodes et les conditions d'exécution. En cas de nécessité, nous serons à même à définir une démarche d'investigation bien précise.

Un dossier d'exécution des ouvrages géotechnique provisoire sera préparé ; il comprend notamment les plans de réalisation, le phasage ainsi que le suivi. [8]

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi. [1]

➤ Phase Suivi

Cette phase consiste à suivre en permanence les auscultations et l'exécution des ouvrages géothermiques, et en cas de nécessité, on applique les structures de fondations qui ont été définies dans la phase d'étude.

Cette phase inclut aussi le contrôle des données géothermiques et l'élaboration du dossier de fin de travaux et des directives de maintenance des ouvrages. [8]

B. SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4) :

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

➤ Phase Supervision de l'étude d'exécution

Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

➤ Phase Supervision du suivi d'exécution

Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).

Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.[1]

I.8.4.DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3). [1]

▪ I.9. Conclusion :

Ce chapitre présente une définition de la norme française Nfp 94-500 (version novembre 2013) et la structure de la norme et l'enchaînement des missions en général pour tous les projets de génie civil.

Cette norme ne règle pas tous les problèmes, mais fixe un cadre. Un dialogue reste nécessaire avec le géotechnicien.

Ce qui nécessite une bonne compréhension mutuelle : forme et rédaction des marchés, effort des géotechniciens pour vulgariser et expliquer les démarches et les moyens

Chapitre II :

Conception des étapes des études géotechniques

Dans les routes

II.1. INTRODUCTION :

La construction routière comprend toutes les opérations du processus de l'établissement des voies de circulation automobiles en zones urbaines, rurales ou forestières. Cette construction est régie par des normes visant la sécurité des usagers. De plus en plus, un des facteurs les plus importants dans l'établissement de nouveaux systèmes (corridors) routiers est l'impact que la nouvelle route aura sur l'environnement et surtout sur le système hydrologique local. Afin de bien planifier un projet de construction routière, il est nécessaire de connaître différents facteurs tels que le volume de trafic et la durée de vie de l'ouvrage. Pour notre cas d'étude, le but recherché est de mentionner les étapes dont le géotechnicien intervient.

II.2. Généralités.

II.2.1. Définition :

ROUTE : Vient de l'appellation romaine " via rupta " qui signifie une voie aménagée. On peut définir une route comme étant une surface spécialement aménagée pour assurer le déplacement des gens et du transport des marchandises par les véhicules. [15]

II.2.2. Structure des chaussées :

Une chaussée est composée de plusieurs couches successives de matériaux, qui doivent répondre à des critères de qualités de plus en plus exigeants, en partant de la partie supérieure du terrassement (PST) pour remonter jusqu'aux couches de roulements.

Le but étant de permettre au sol support de pouvoir résister aux contraintes liées à la circulation des véhicules, en fonction de sa portance et des charges auxquelles on va le soumettre. Chaque couche doit être capable de supporter les charges des couches supérieures, et être suffisamment compactée pour permettre un effet d'enclume lors du compactage. [15]

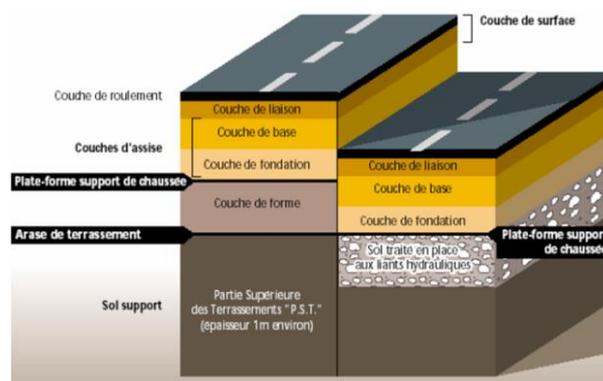


Figure 4:synthèse des couches de chaussées [16]

Chapitre II : Conception des étapes des études géotechniques dans les routes

Chaque couche constituant la chaussée doit répondre à une qualité de mise en œuvre qui comprend:

- Le respect des épaisseurs de couches.
- Le respect de la géométrie de l'ouvrage. (Profils en long et en travers)
- Les tolérances de réglage de matériaux.
- Le respect des objectifs de compactage et de densification des couches

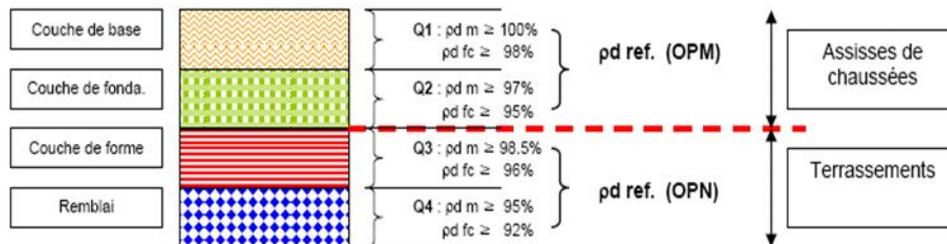


Figure 5: les objectifs de compactage sont les suivants [16]

La densification des couches de liaison et de roulement doit être **maximale**. (100%)[16]

II.2.2.1. Chaussées souples :

Du fait de l'absence de cohérence des couches qui composent les chaussées souples, elles sont très flexibles, elles se déforment au passage des charges roulantes; ceci a pour effet de localiser les pressions sur le sol sous adjacent dans un faible rayon autour de l'axe de charges; pour cela il faut augmenter l'épaisseur des couches de la chaussée pour qu'elles diffusent ces pressions, et réduisent la valeur maximale autour de l'axe de la chaussée. La chaussée à assise traitée fonctionne comme une quasi-dalle répartissant les efforts sur une grande surface. [15]

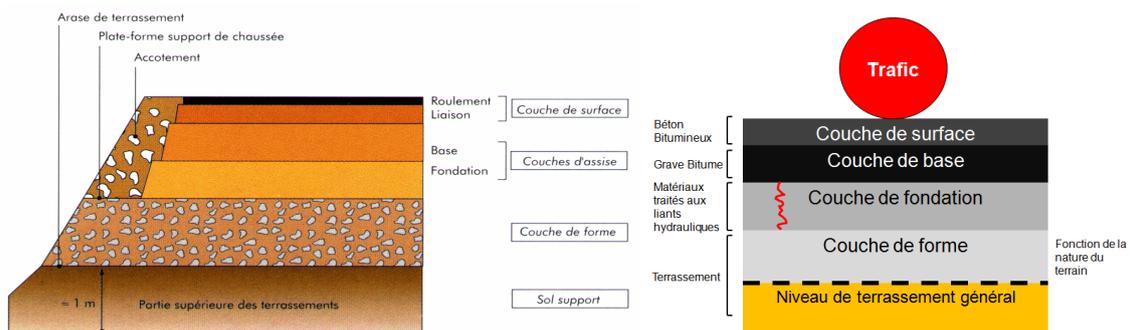


Figure 6: coupe type d'une chaussée souple [17]

II.2.2.2. Chaussées rigides :

La pression qui règne sur ces dalles au passage des charges ne dépend guère de l'épaisseur de la dalle, ces pressions sont largement réparties sous la charge et la déformée de la dalle est une faible dépression très étalée. Pour diffuser ces pressions, il faut combiner entre l'épaisseur et résistance du béton de la dalle. [15]

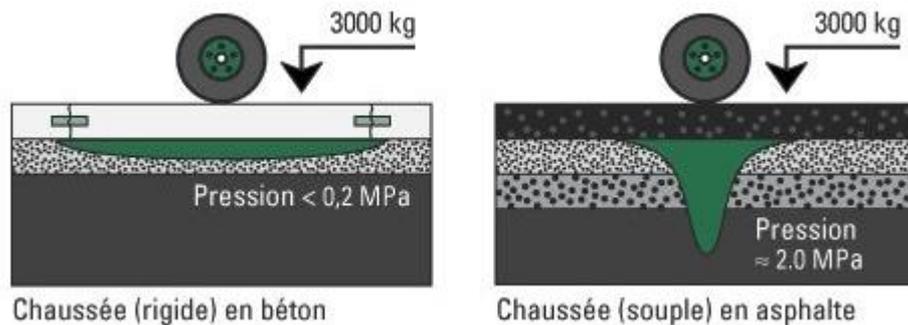


Figure 7: coupe type déférence de la résistance [15]

Vu sa rigidité, le béton étale la charge sur une grande surface et limite les pressions exercées sur la couche de forme.

II.2.3. Rôle des couches:

Le but des différentes couches, est de répartir l'effort mécanique sur le sol et d'assurer une décroissance de la charge transmise jusqu'au sol de fondation [15].

Couche de forme : (si requise) A pour but:

- Augmenter l'homogénéité de la plate-forme.
- Empêcher les remontés d'eau (anticapillaire).
- Empêcher les remontées d'argiles (Anti-contaminant).
- Nivelier le fond de forme.
- Permettre un bon compactage du corps de la chaussée.

Corps de chaussées : Partie résistante de la structure transmettant convenablement les pressions qui en résultent sur le terrain naturel, il est composé par la couche de base et la couche de fondation.

Couche de roulement : A pour but:

- Transmettre les charges de roulement.
- Imperméabiliser la chaussée.
- Donner un uni à la surface.
- Diminuer la glissance (rugosité) en absorbant les efforts horizontaux tangentiels.

II.2.4. TERMINOLOGIE ROUTIERE [15] :

Le vocabulaire relatif aux travaux routiers comporte un certain nombre de termes spécifiques qui est indispensable de connaître :

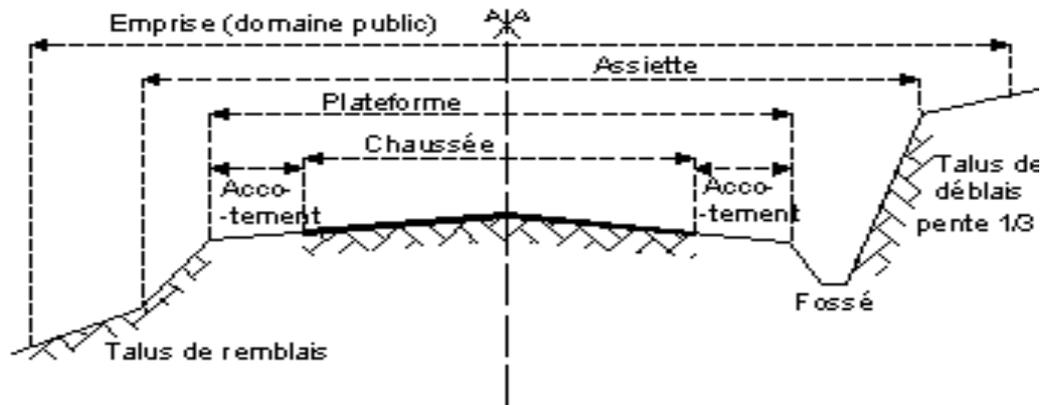


Figure 4 : profil en travers type [15]

II.2.4.1. Chaussée :

C'est la surface revêtue ou non de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules.

II.2.4.2. Accotements :

Ce sont des bandes latérales qui encadrent la chaussée, elles peuvent être dérasées; Ils permettent la circulation des eaux pluviales et la protection des couches de la route contre les infiltrations des eaux; ou surélevées (par exemple trottoir). Ils incluent aussi les bandes de guidage.

II.2.4.3. Plate-forme :

C'est l'ensemble, chaussée et accotements, y compris éventuellement les terres pleines centrales (TPC) et les pistes cyclables.

II.2.4.4. Remblais :

Quand la route est construite au-dessus du TN, on dit qu'elle est en remblai.

II.2.4.5. Déblais :

Quand la route est construite au-dessous du TN, on dit qu'elle est en déblai.

II.2.4.6. Fossés :

Ce sont les excavations aménagées de part et d'autre de la plate-forme, ils sont destinés à assainir la plate-forme et à évacuer les eaux de ruissellement.

On réalise les fossés :

- Quand la route est en déblai
- Quand la route est au niveau du TN
- Quand la route est en remblai mais le talus aboutit au TN à contre pente

II.2.4.7. Dévers :

C'est l'inclinaison transversale de la route :

- En alignement droit : le dévers sert à évacuer les eaux superficielles.

Chapitre II : Conception des étapes des études géotechniques dans les routes

- En accotement : permet à la fois d'évacuer les eaux de ruissellement et d'équilibrer la force centrifuge.

Pour les normes marocaines les dévers à adopter en alignement pour les chaussées est de 2.5%, celui de l'accotement est de 4 %.

II.2.4.8. Talus :

Se sont les parois de déblai et remblais. Les talus en remblai sont en général réglés à une pente de 3/2 (3 dans la base et 2 en hauteur) Pour les déblais la pente est en général de 1/1

II.2.4.9. Assiette : c'est la surface du terrain réellement occupée par la route et ses annexes. C'est dans un profil déterminé des sections droites y compris les talus de déblais et remblais, les fossés et toute dépendance et ouvrages accessoires affectés au domaine public.

II.2.4.10. Emprise :

C'est la surface du terrain juridiquement affectée à la route et ses annexes (au moins égale à l'assiette ou au moins 30m de largeur)

II.2.4.11. Ouvrages d'assainissement :

Ce sont des ouvrages en béton ou Béton Armé destinés à évacuer les eaux de ruissellement en dehors de l'emprise. On distingue :

- Les buses : ouvrages en Béton à section circulaire.
- Les dalots : ouvrages en Béton Armé à section carrée ou rectangulaire.

II.3. Les études des projets routiers :

De tout temps, l'homme a exprimé le besoin de circuler sans être attaché ni à des conditions météorologiques (saison, pluie, neige...), ni à des obstacles naturels ou artificiels (montagnes, cours d'eau, cités urbaines...). D'une manière générale la route doit offrir aux usagers les conditions du confort, de la sécurité, de la durabilité et de l'économie. Pour offrir ces conditions, le géotechnicien réalise une partie importante des projets routiers.

II.3.1. Etude :

L'étude d'un projet routier a pour but de définir les grandes lignes du projet et d'estimer à plus ou moins 20% le coût du projet, et les méthodes d'études. Dans le cas d'une route neuve le dossier de cette étude comportera deux principaux documents à savoir:

- a) *Un mémoire justificatif* traitant les points suivants :
- L'objet de l'opération
 - Les données topographiques
 - Les données du trafic

Chapitre II : Conception des étapes des études géotechniques dans les routes

- Les données **géotechniques**
- Les données **hydrologiques**
- Le choix de la catégorie
- La description des parties potentielles
- La description technico-économiques et la proposition de la variante à retenir pour la phase suivante

b) *Les plans annexés au mémoire* doit contenir :

- Un plan de situation (Ech 1/ 50.000 à 1/ 10.000)
- Une esquisse des tracés proposés en carte géographique originale à l'échelle de. 1/20.000 à 1/50.000.
- Une esquisse de tracés sur photomosaique au (1/20.000) si les photos existent. et un album des photographies en couleurs

Ces éléments épaulés par **une reconnaissance sur terrain** permettent de fournir :

- L'ensemble des tracés faisables c.-à-d l'inventaire des solutions
- L'identification des points durs pour chaque variante (ex: franchissements, topographie difficile...);
- La fixation d'un nombre de critères pondérés

Le coût joue un rôle déterminant dans le choix (ou l'élimination) de certaines variantes. Les éléments du coût d'un projet routier sont principalement :

- Terrassement: qui dépend de la topographie, de l'importance du linéaire du projet **de la nature du sol...**
- Ouvrages d'art: servant au franchissement (radiers, ponts et viaducs), à l'établissement de l'écoulement naturel (dalots) ou à l'assainissement de la plateforme (buses)
- Chaussée: dont le dimensionnement dépend essentiellement **du sol** et du trafic.

Il résultera de cette étude une première élimination des variantes ne convenant pas et une appréciation de la rentabilité des variantes restantes qui sont généralement de l'ordre de 2 [25].

II.3.1.1.. L'étape 1, l'étude géotechnique préalable (Mission G1) [18]

La mission G1 a pour objet de bien connaître l'état initial du site. Il est obligatoire de procéder à :

- Une enquête documentaire sur le cadre géologique du site,
- Une enquête sur site des avoisinants et de leur impact sur le futur projet (ZIG: Zone d'Influence Géotechnique)

- La réalisation de quelques sondages géotechniques
- L'établissement d'un modèle géologique préliminaire avec les principales caractéristiques géotechniques (phase étude de site ES) ainsi que les principes généraux de construction envisageables (phase PGC) concernant notamment les terrassements, l'identification des risques géologiques et hydrogéologiques.

II.3.2. Étude conception :

II.3.2.1. Avant-projet sommaire (APS) :

Cette étape permet l'élaboration de scénarios relativement détaillés assurant la réponse technique du projet. Leur conception résulte de la participation ou de la consultation d'intervenants de multiples secteurs d'activité. À ce moment, des scénarios seront élaborés pour chaque solution et le choix du meilleur scénario sera fait dans cette étape. Plusieurs études sont abordées dont des études **géologiques, géotechniques, hydrologiques**, topographiques, etc. Elles permettent de préciser les fonctions locales de l'aménagement et de définir le meilleur tracé en comparant plusieurs variantes, ainsi qu'une estimation suffisamment précise des quantités et des coûts associé à chaque scénario pour la réalisation de cette étape. La cohérence des scénarios doit être régulièrement évaluée par rapport aux priorités du maître d'ouvrage. L'échelle de précision permet encore de déplacer le tracé à l'intérieur d'un fuseau, pour les projets importants on parle de bande des 300 m.[26]

II.3.2.2. Phase d'avant-projet – AVP :

Il a pour objectif de définir avec précision les caractéristiques principales de l'ouvrage, d'évaluer son coût avec un degré de précision qui peut être jugé acceptable pour cette phase de l'étude.

Dans le cas d'une route neuve le dossier de cette étude comportera un rapport de présentation et ses annexes dont la composition est la suivante [15] :

Le rapport de présentation doit préciser pour l'ensemble des variantes :

- Objet de l'opération
- Rappel des études et décisions antérieures
- **Description et interpolation des données géologiques et géotechniques** communes à toutes les variantes (**une des missions les plus importantes du géotechnicien**)
- Description et caractérisation des variantes étudiées
- Justification du choix et des caractéristiques de la variante proposée ;

Et pour chaque variante

Chapitre II : Conception des étapes des études géotechniques dans les routes

- L'exposé des contraintes spécifiques de la variante
- Tableau des caractéristiques géométriques en plan et en profil en long
- Détail estimatif chiffré

Les annexes du rapport de présentation, sont composées des éléments suivants :

a) Etude géologique géotechnique :

- Carte générale.
- Compte rendu de reconnaissance visuelle sous forme de schéma itinéraire.
- Cahier des coupes de sondage.
- **Rapport des essais de laboratoire** (essais géotechniques routier : essai Proctor, indice portant immédiat / i CBR, aptitude au traitement des sols, traitement des sols pour remblai, traitement des sols pour couche de forme). [19]

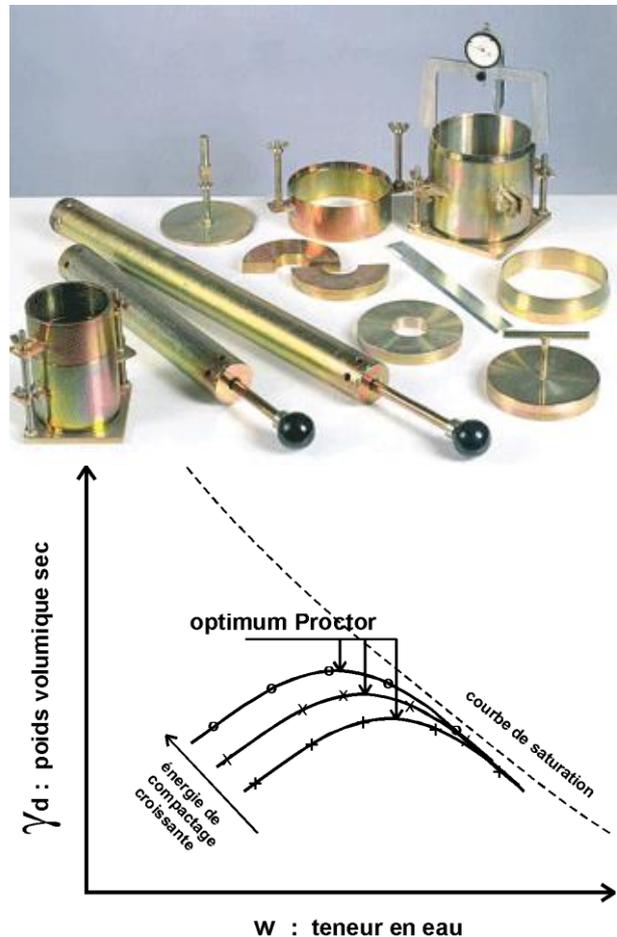


Figure 9: matériel pour essai de Proctor CBR et courbe de compactage [27]

b) Pour l'ensemble des variantes :

- Plan de situation à l'échelle du 1/ 50.000 au 1/ 250.000
- Plan d'ensemble des variantes à l'échelle du 1/ 5.000
- Profil en travers type au 1/ 100 ou 1/ 200

c) Pour chaque variante :

- Plan du tracé à l'échelle 1/ 2.000 au 1/ 5.000
- Profil en long: longueur échelle du tracé en plan hauteur échelle d'altitude
- Cahier des profils en travers au 1/ 100 ou 1/ 200
- Plan des ouvrages de protection à l'échelle du 1/ 25 au 1/ 1.000
- Le tracé en plan et le profil en long seront reproduits par section sur une même planche au format A2 au format A4.

II.3.3.1. Etape 2 : Etude géotechnique de conception G2 -Phase Avant-projet AVP

- Le géotechnicien propose un programme de reconnaissance dont le maillage et la profondeur des investigations sont étroitement liés au contexte géologique local et aux données du projet (charges, terrassements, emprise au sol, ...).
- il précise aussi le modèle géotechnique permettant d'affiner les conditions de fondation de l'ouvrage (avec pré dimensionnement) ainsi que les dispositions constructives associées (terrassements, soutènements, mise hors d'eau, consolidation des terrains en place, amélioration des sols, ...).
- Les risques géologiques majeurs identifiés au cours de l'avant-projet doivent être réduites. La gestion des risques géotechniques est indispensable pour fiabiliser le délai de réalisation, le coût final et la qualité de l'ouvrage en toute sécurité et à la satisfaction du voisinage. Elle doit être permanente et mise à jour tout le long de la vie du projet, et comporter les trois volets habituels pour toute gestion efficace des risques : identification, évaluation, traitement [20]. A la fin de cette partie, le projet est bien défini donc le géotechnicien peut passer à la partie suivante :

II.3.3.2. Etape 2 : Etude géotechnique de conception- phase projet (G2 PRO)

- Avec l'aide du Maître d'œuvre, le choix du (ou des) mode(s) de fondation approprié(s) au projet et au site (au niveau de l'avant-projet G2 AVP, plusieurs solutions pouvant être étudiées) doit se faire.
- Le géotechnicien doit procéder au dimensionnement de l'ensemble des ouvrages géotechniques (fondations, dallage, terrassements, soutènements, mise hors d'eau, voiries, bassins, ...) et fournir des notes techniques sur les méthodes d'exécution ainsi que les valeurs seuils associées.
- il indique également **les mesures de suivi et de contrôle** à mettre en œuvre afin d'assurer la bonne réalisation des travaux.

Pour des ouvrages géotechniques spécifiques tels que parois moulées, parois clouées, amélioration des sols par colonnes ballastées ou sélection des entreprises.

3.4.2. Etape 2 : Etude géotechnique de conception phase projet (G2 PRO)

Inclusions rigides, terrassement en déblai ou en remblai, le géotechnicien doit ensuite assister la Maîtrise d'œuvre quant à l'analyse technique des offres

L'avant-projet définitif complète l'étape de conception d'un projet routier et consiste à élaborer diverses variantes de profil sur le scénario retenu à l'avant-projet préliminaire en vue de recommander un profil optimal. La conception de tous les ouvrages y est également complétée en tenant compte des contraintes et des résultats des études techniques, ce qui permet de déterminer les besoins dans les emprises.

Entre autres, il peut y avoir des études **hydrauliques, géophysiques** ou sur la signalisation routière. Il y a aussi une estimation plus précise des quantités d'ouvrages et des coûts associés à ceux-ci. De plus, il faut demander des autorisations environnementales et entreprendre le processus de déplacement des équipements de services publics. [21]

II.3.3.3. Phase de projet – PRO (Recommandations générales):

L'ensemble des terrassements devra être réalisé conformément aux normes pour la réalisation des remblais et des couches de formes en présence **d'un géotechnicien**

- La terre végétale sera décapée et mise en stock pour les espaces verts.
- Le fond de forme sera **compacté** avant la mise en place de la couche de forme.
- Les plates-formes seront fermées avant chaque période de pluie et chaque arrêt de chantier.
- Les fonds de forme seront pintés dans la mesure du possible et l'eau évacuée dans des fossés provisoires ou définitifs.

On adaptera la profondeur du décaissement en fonction de la cote projet et de l'épaisseur de l'ensemble remblai-couche de forme.

Les autres de couches

II.3.3. ÉTUDES DE RÉALISATION :

Les annexes au rapport de présentation doivent comporter :

Un dossier géologique et géotechnique contenant le rapport de reconnaissance complémentaire effectué au titre du projet d'exécution pour déterminer :

- Les caractéristiques du profil en travers
- Les conditions de réutilisation des déblais en remblais
- Les études spécifiques relatives aux pentes instables, zones compressibles ; de déblais et remblais de grande hauteur.

II.3.3.1 Plans d'exécution, constitués des éléments suivants :

- Plan général des situations
- Plan général du tracé (tracé en plan)
- Plan général du profil en long
- Profil en travers type et P.T. particuliers
- Plan de détail des ouvrages de protection
- Listing des coordonnées des points de l'implantation
- Plan de détail des ouvrages de protection à l'échelle du 1/ 200 au 1/ 100. [15]

II.3.3.2 Etape 3 : Etudes Géotechniques De Réalisation G3 et G4

Des le démarrage des travaux, le géotechnicien doit suivre ces derniers pour qu'ils soient réalisés conformément au cahier des charges établi par le Maître d'œuvre.

Le géotechnicien donne son avis sur l'étude géotechnique d'exécution G3 fournie par l'entreprise et il s'assure que cette dernière a bien pris en compte toutes les dispositions constructives inhérentes au projet, ainsi que son programme d'autocontrôle et d'auscultation.

Le géotechnicien intervient ensuite sur le chantier pour assurer par des visites inopinées la conformité des travaux de l'entreprise avec les décisions prises et, au besoin, réagir en cas d'aléas pouvant encore subsister.

A toutes étapes des projets :

II.3.3.3.Diagnostic géotechnique (G5)

Pendant le déroulement d'un projet (conception ou exécution d'un projet), le géotechnicien doit intervenir pour étudier de façon strictement limitative un ou plusieurs éléments géotechniques particuliers (terrassements, stabilité de talus, soutènements, fondation, dallage ...) dans le cadre d'une mission ponctuelle.

Cette intervention peut nécessiter des investigations spécifiques pour le diagnostic. Ce diagnostic peut être suivi d'une étude de conception (mission G2 PRO) et d'un suivi d'exécution des travaux (mission G4).

II.3.4. Suivi des travaux :

Le but de cette étape est de mesurer et surveiller régulièrement la progression et la conformité du projet et d'assurer la bonne intégration des modifications ou changements approuvés dans le cadre du projet. Elle impose l'établissement des procédures d'exécution qui décrivent la méthodologie, les moyens et les plans de contrôle et de suivi pour l'exécution des différents travaux. L'entrepreneur doit prendre toutes dispositions ou établir tous documents

nécessaires à la réalisation de l'ouvrage, ce qui comporte d'abord l'exécution d'opérations matérielles (aménagement des voies et moyens de transport, logement du personnel, installation du chantier proprement dit, etc.). Cela implique surtout la mise au point de toutes les mesures qui détermineront le déroulement du chantier (programme d'exécution des travaux qui indique notamment les moyens du chantier et le calendrier d'exécution) et la mise au point du plan d'exécution des ouvrages (définissant le dimensionnement des ouvrages et les caractéristiques des matériaux, produits et composants de construction). Ces documents sont tous établis sur la base des pièces contractuelles. [22]

II.4.Conclusions :

Ce chapitre représente les étapes à suivre dans la conception et la réalisation d'un projet routier, ne règle pas tous les problèmes, mais fixe un cadre et facilite l'intégration du génie géotechnique à la maîtrise d'œuvre de l'ouvrage. Un dialogue est plus que jamais nécessaire avec le géotechnicien. La progressivité des études doit impérativement être respectée de manière à obtenir une gestion optimale des risques (y compris juridiques).

Chapitre III

Conception des étapes des études géotechniques

Dans les ponts

III.1.INTRODUCTION :

Le pont est une construction, qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voie de communication, vallée, etc.) en passant par-dessus cette séparation. Le franchissement supporte le passage d'hommes et de véhicules dans le cas d'un pont routier ou d'eau dans le cas d'un aqueduc.

Il fait partie de la famille des ouvrages d'art et leur construction relève du domaine du génie civil.

Toutefois, ce sont généralement des ouvrages de portée supérieure à 8m, qui reposent sur des culées et peuvent comporter plus d'une travée. Ce qui nécessite alors la construction d'une ou de plusieurs piles. Afin de bien planifier un projet de construction du pont, il est nécessaire de connaître différents facteurs tels que L'importance du pont et la durée de vie de l'ouvrage. Pour notre cas d'étude, le but recherché est de mentionner les étapes dont le géotechnicien intervient.

III.2.Types de ponts : [23]

III.2.1.Ponts en bois: sa durée de vie est limitée, il est employé pour les ponts provisoires. Les formes les plus usitées sont les poutres à treillis et les arcs.

III.2.2.Ponts en pierre : étant donné que la construction en maçonnerie résiste très bien aux efforts de compression, et très mal à la traction, la réalisation des voûtes en pierre pour lesquelles chaque section reste constamment comprimée est employée. Par contre, celui-ci est en nette régression parce que les conditions actuelles, principalement de main-d'œuvre et de temps, ne permettent plus la taille de la pierre.

III.2.3.Ponts en béton : le béton non armé a été utilisé comme la pierre de taille pour la réalisation de voûtes, car il n'est pas susceptible de s'opposer aux grands efforts de traction.

III.2.4.Ponts en béton armé: le mode de mise en œuvre du béton armé permet d'envisager la réalisation de toutes les formes d'ouvrages que l'on peut imaginer. Cependant, dans un but d'économie, le projecteur recherche les formes simples qui permettent de réduire au minimum le prix des coffrages.

III.2.5.Ponts en béton précontraint : il permet en particulier de réaliser de travées indépendantes par poutres préfabriquées de plus grande portée et à un prix moindre lorsqu'il y a un grand nombre de poutres identiques. Grâce à celui-ci, des méthodes nouvelles de construction sont apparues, telle la construction par encorbellement, qui permet de supprimer les cintres et les échafaudages.

III.2.6.Ponts en métal : [23]

III.2.6.1.Ponts en fonte et en fer : pour la réalisation des ponts, ces matériaux sont maintenant abandonnés par ce que :

- La fonte est trop fragile, résiste mal à l'application de surcharges dynamiques et se fissure
- Le fer est plus cher et moins résistant que l'acier.

III.2.6.2.Ponts en acier : diverses nuances d'acier, de qualités différentes, permettent la réalisation de ponts métallique modernes. Les pièces métalliques élémentaires (fers plats, cornière...) sont assemblées soit par rivetage, soit par soudure, soit par boulonnage. Un ouvrage métallique réclame une surveillance et un entretien permanents, après son achèvement.

III.2.6.3.Ponts mixtes : ce sont des ouvrages métalliques pour lesquels la dalle de couverture en Béton Armé intervient dans la résistance générale de l'ensemble à la flexion longitudinale.

III.2.6.4.Ponts en alliages légers.

Il existe quelques cas particuliers des grains de poids assez importants.

III.3.Éléments constitutifs des ponts:[23]

Le pont est constitué de deux grandes parties qui sont : la superstructure et l'infrastructure.

La superstructure est constituée de :

III.3.1.Le tablier :

C'est la partie de l'ouvrage supportant la chaussée (ou la voie ferrée) au-dessus de la brèche à franchir. Dans les ponts à poutres, on distingue les ponts à poutres latérales et les ponts à poutres sous chaussée. Que ce soit dans l'un ou dans l'autre cas, une dalle, des entretoises et parfois des longerons, sont associés aux poutres pour former le tablier.

III.3.2.Dalle :

La dalle ou hourdis sert d'élément de couverture ; c'est elle qui reçoit la couche de roulement de la chaussée et les surcharges des véhicules.

Outre celui de couverture, le rôle de la dalle est de reporter les charges permanentes et les surcharges sur les poutres, les longerons et les entretoises.

III.3.3. Entretoise :

Les entretoises intermédiaires ont pour but de solidariser les poutres entre-elles; elles reportent l'effet des charges sur les différentes poutres. Elles doivent être rigides et avoir une hauteur sensiblement identique à celle des poutres (rigidité). Elles sont à âme pleine mais le plus souvent elles sont triangulées car les efforts qui les sollicitent sont faibles et la couverture repose sur les poutres à faible écartement. Entre les entretoises d'appuis et du milieu on place les autres uniformément à une distance de 7 à 10m. Les entretoises d'appuis répartissent les réactions d'appui entre les différentes poutres et transmettent aux appareils d'appuis les efforts dus au vent.

III.3.4. Longerons :

Les longerons, essentiellement utilisés dans les ponts métalliques, sont disposés parallèlement à l'axe longitudinal de l'ouvrage et relient entre elles les différentes entretoises.

III.3.5. Les poutres principales :

Il s'agit de l'organe essentiel porteur de l'ouvrage. Les poutres transmettent aux appuis les efforts des charges permanentes et des surcharges. Elles sont parallèles à l'axe longitudinal du pont.

III.3.6. Poutres latérales :

Elles sont également appelées poutres de rive, poutres maitresses ou, encore, poutres principales.

Dans ce type d'ouvrage, les charges sont supportées par deux poutres parallèles à l'axe longitudinal de la chaussée et situées aux bords extrêmes du tablier.

III.3.7. Poutres sous chaussée :

Pour des raisons d'esthétique, dans les agglomérations, pour dégager la visibilité ou pour réserver un gabarit au-dessus de la brèche, la hauteur de la poutre se trouve être imposée. On a alors recours aux ponts à poutres sous chaussée. Un tel type d'ouvrage comporte un certain nombre de poutres sensiblement identiques, réparties de façon uniforme sous le tablier.

III.3.8. Contreventement :

Le contreventement est constitué par une poutraison croisée horizontale entre poutres latérales destiné à assurer la stabilité du tablier sous les efforts du vent.

III.3.9. La chaussée :

Elle reçoit les surcharges et peut être en béton ou en d'autres matériaux. Le drainage des eaux de pluie est assuré par deux pentes opposées dirigées vers les trottoirs et par les canalisations d'évacuation des eaux à travers les trottoirs.

III.3.10. Profil en travers :

Pour les ponts droits, ce profil normal est celui qui comprend deux pentes de sens contraire de 2 à 3 % raccordées par un arc parabolique sur une largeur de 0,5 à 1,5 m de part et d'autre de l'axe. Pour les ponts courbes, il faut prévoir un devers de 2%.

III.3.11. Profil à long :

Sa pente ne dépassera pas 4% et ne sera pas inférieure à 1% afin de permettre un écoulement normal des eaux.

III.3.12. Le revêtement :

Le revêtement comprend essentiellement une couche d'étanchéité et une couche de roulement.
Couche d'étanchéité en béton

Le béton étant un matériau poreux, même bien comprimé, il n'est jamais parfaitement étanche. Pour protéger les armatures il est nécessaire de disposer d'une chape d'étanchéité sur toute la couverture en béton. L'étanchéité peut être :

Base d'asphalte coulée naturel ou synthétique utilisant des résines ; Par feuilles préfabriquées revêtues d'asphalte ; Par moyens à haute cadence.

III.3.13. Couche de roulement :

La couche de roulement doit, sur un ouvrage d'art comme en section courante, présenter un bon Uni (confort) et offrir des bonnes caractéristiques antidérapantes. Les couches de roulement classiques ne sont pas étanches, il faut alors étudier les dispositions constructives pour éviter la stagnation de l'eau entre la couche de roulement et l'étanchéité proprement dite (drains, pentes, ...).

III.3.14. Les trottoirs :

C'est l'espace latéral du profil en travers dûment identifié par une surélévation par rapport au niveau des voies de circulation des véhicules et dont la fonction principale est de supporter une piste piétonne.

Chapitre III : conception des étapes des études géotechniques dans les ponts

Il est limité, côté circulation par une marche ou par un dispositif de retenue et, côté vide, par un grand corps (ou une barrière de sécurité qui assurera aussi la fonction de sécurité des piétons).

Cette position en surélévation est usuellement utilisée pour faire transiter sur l'ouvrage des canalisations de services publics ou de concessionnaires.

Le trottoir peut être utilisé moyennant certaines adaptations pour permettre une cohabitation comme support d'une piste cyclable.

III.3.15. Le revêtement :

Il dépend de l'utilisation et du type de l'ouvrage. Dans le cas où le trottoir ne comporte pas d'alvéoles, on peut le consulter par le béton maigre recouverte d'asphalte (en ville) ou non revêtu (en rase campagne) ou simplement comblé du sable.

Pour les trottoirs à dalot (dal lette) préfabriqué, il n'y a pas de revêtements.

III.3.16. Les bordures des trottoirs :

Les bordures de trottoir sont généralement en béton (en site urbain, on emploie parfois des bordures en granit, plus robustes) et leurs dimensions sont normalisées. Leur hauteur varie de 20 à 30 Cm, leur poids de 0,56 à 1,65 KN/m et son parement est incliné de 1/20. La bordure est en saillie de 16 à 20m.

III.3.17. Les canalisations :

Les compagnies de gaz, de l'eau, de l'électricité peuvent solliciter de faire franchir leur conduite et leur câble par le pont. On ménage ainsi des galeries visitables sous les trottoirs pour les recevoir. Il faut alors prévoir d'alvéoles en créant des compartiments sous la dalle car certaines canalisations ne peuvent pas être mises côte à côte telles que les conduites des gaz et les câbles électriques.

III.3.18. Les garde-corps :

Ils ont essentiellement pour objet la protection des piétons. Ils doivent être constitués des matériaux non fragiles ; on utilise souvent l'acier doux ou les alliages légers. La hauteur minimale est égale à :

$$H_{\min} = \text{Min} (1,20\text{m} ; 0,95\text{m} + 0,005H \#177; 0,05\text{m}).$$

Avec H = la hauteur en mètre du trottoir au-dessus du sol ou de l'eau.

Jusqu'à une hauteur de 0,60m au-dessus du trottoir, les vides doivent être suffisamment réduits pour qu'on ne puisse pas y faire pénétrer un cylindre de plus de 5cm de diamètre afin d'assurer la sécurité des jeunes enfants.

III.3.19. Canalisation d'eau :

Les eaux de pluie sont évacuées hors du pont par des drains (ouvertures, orifice, tuyaux, conduite...) à travers les trottoirs (conduites à plastique, en métal, en amiante ciment).

III.3.20. Les corniches :

La corniche a essentiellement un rôle esthétique. En plus de ce rôle elle doit également servir de lamier afin d'éviter le ruissellement de l'eau de pluie sur le parement. La corniche en béton peut être coulée en place ou préfabriquée.

L'infrastructure est constituée de :

III.3.21. Les piles et les culées :

Les piles et les culées dépendent des deux éléments qu'elles unissent :

- Le sol
- le tablier

Elles sont donc conçues au mieux, en tenant compte de ces facteurs, ce qui se traduit par la résistance mécanique, la stabilité et l'aspect.

En plus de leur rôle de support des extrémités des ouvrages d'art, les culées doivent souvent soutenir les terres des ouvrages d'accès et sont étudiées en conséquence.

❖ .3.22. Les appareils d'appui :

Sous l'effet des différences de température, ou sous l'application des surcharges, les tabliers se déplacent par rapport aux piles et aux culées. Il est donc nécessaire d'interposer entre eux des dispositifs permettant ces mouvements : ce sont les appareils d'appui.

Ces appareils d'appui peuvent être fixes ou mobiles ; ils sont différents selon que l'ouvrage est en béton armé ou précontraint, à poutres préfabriquées (appuis en Néoprène, par exemple) ou coulé en place (noyau Freyssinet) ou métallique (balanciers ou rotules...).

III.3.23. Le sommier :

Il s'agit de la maçonnerie au-dessus des appuis sur laquelle repose une voûte ou des poutres et servant à transmettre et à répartir les charges des tabliers sur les piles et culées. Il joue le rôle d'une poutre ceinture ou chaînage dans la construction des ponts.

III.3.24. La dalle de transition :

Il s'agit d'une dalle en béton armé placée sous la chaussée à l'entrée du pont, elle est appuyée sur l'arrière de la culée et sur le remblai. Elle a pour rôle d'éviter la dénivellation qui risque de se produire entre la chaussée courante et le pont en cas de tassement du remblai. Si ce

Chapitre III : conception des étapes des études géotechniques dans les ponts

tassement se produit elle remplace une différence brutale de niveau par une légère augmentation de la pente.

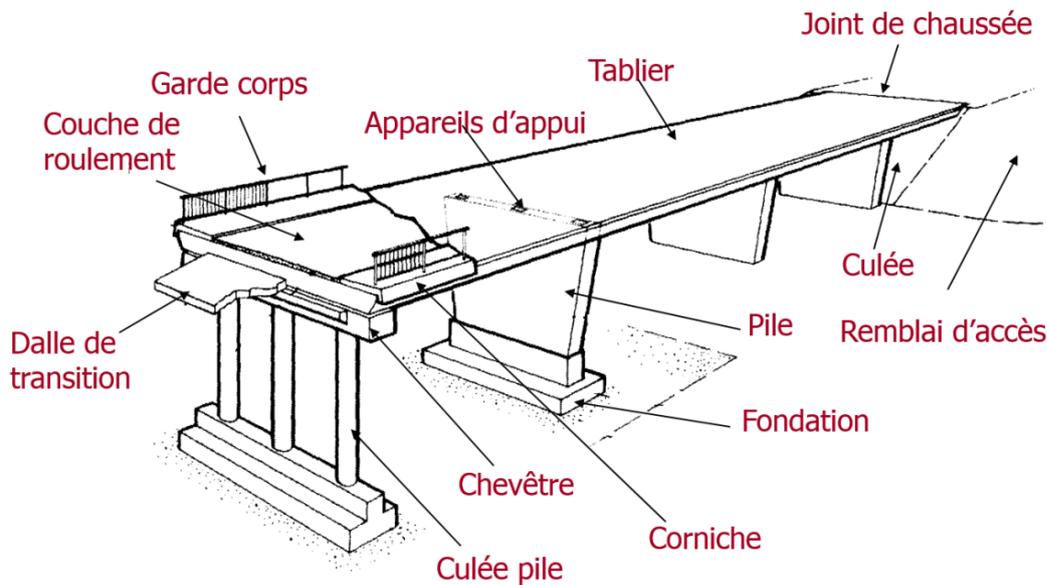


Figure 10 : les éléments constitutifs des ponts [24]

III.4.Étude : [25]

III.4.1.L'établissement du projet d'exécution :

Il a pour objet de définir la solution retenue dans tous ses détails et d'évaluer son coût en vue de l'appel d'offre et de l'exécution des travaux.

La consistance dans chaque phase d'étude est indiquée dans les fascicules applicables à chaque nature d'étude.

Cette phase d'étude comporte :

- ✓ En cas d'insuffisance des données réunies au niveau de l'avant-projet, **les investigations géotechniques et hydrologiques** complémentaires nécessaires à l'étude;
- ✓ L'étude des fondations et des superstructures;
- ✓ L'étude détaillée des parties d'ouvrage accessoires;
- ✓ l'étude du raccordement au réseau routier avec les rectifications du tracé de la route pour l'amélioration de ses caractéristiques géométrique.

Il est établi un dossier de projet contenant, obligatoirement toutes les pièces prévues par l'instruction sur la composition des dossiers de projet en vigueur, et en tout cas:

- Toutes les notes de calculs ; l'utilisation de l'informatique est soumise aux dispositions en vigueur s'y rapportant ; en l'absence de telles dispositions, le logiciel utilisé devra obligatoirement être d'usage courant pour l'exécution d'études pour le compte d'organismes officiels et permettre la stricte application des normes et règlements en vigueur; le Bureau

Chapitre III : conception des étapes des études géotechniques dans les ponts

d'études est en outre tenu de produire toutes les sorties de machine, lesquelles font obligatoirement apparaître toutes les données d'entrée;

- Tous les avant métrés, lesquels doivent justifier toutes les quantités élémentaires d'ouvrages;
- Un détail estimatif en tout point conforme aux dispositions des Cahiers des prescriptions Communes applicables aux travaux des ouvrages de l'espèce.

III.4.2.Norme Technique : [25]

III.4.2.1.Pour le tracé:

Instruction sur les caractéristiques géométriques des routes de rase campagne.

III.4.2.2.Pour l'ouvrage d'art:

La conception et le calcul des éléments en béton armé seront effectués conformément aux prescriptions:

Conception, calcul et épreuves des OA;

-Règles techniques de conception et de calcul des OA en BA;

-Règles techniques de conception et de calcul des OA en BP;

-Règles techniques de conception et de calcul des fondations;

III.4.2.3.Pour la chaussée:

Catalogue des structures de chaussées neuves en cas de raccordement.

Les études seront menées en appliquant les normes techniques ci-après:

III.4.2.4.Proposition pour la phase suivante de l'étude:

Le géotechnicien formulera les dispositions à prendre pour la réalisation de la phase suivante de l'étude.

-Ces dispositions concerneront notamment :

-La consistance des travaux topographiques à réaliser par lui-même.

-Le programme des sondages et essais de laboratoire pour chacune des composantes de chaque partie à étudier.

a)-Mémoire justificatif et explicatif:

Il traite les points ci-après:

- ✓ -Objectif de l'opération;
- ✓ -données Topographiques;
- ✓ -données de Trafic;
- ✓ -données hydrologiques et hydrauliques;

- ✓ -données géotechniques et géologiques;
- ✓ -données spécifiques;
- ✓ -choix de type de l'ouvrage;
- ✓ -choix du tracé de déviation;
- ✓ -évaluation du coût de l'ouvrage;
- ✓ -évaluation économique qualitative;
- ✓ -proposition d'Etude pour les phases ultérieures

b-Plans annexés au mémoire:

- ✓ -Plan de situation échelle 1/50 000 à 1/100 000;
- ✓ -Plan d'implantation à l'échelle du 1/200 à 1 / 1000;
- ✓ -Plan d'ensemble des solutions de construction;
- ✓ -Plan d'ensemble de la déviation;
- ✓ -Coupes schématiques des données géologiques;
- ✓ -Album photographique en couleurs.

III.4.3.L'étape 1, l'étude géotechnique préalable (Mission G1) :

La mission G1 a pour objet de bien connaître l'état initial du site. Il est obligatoire de procéder à:

Elle a pour but de définir les méthodes de constructions et les grandes lignes de variantes étudiées, d'évaluer leurs coûts avec un degré de précision qui peut être jugé acceptable pour cette phase d'étude. Elle comporte les tâches suivantes :

- Détermination des caractéristiques principales des constructions;
- Déviation de la route au moment des travaux pour le maintien de la circulation routière;
- Evaluation du coût de l'ouvrage;
- Production d'un rapport d'étude de définition

L'étude de définition comporte :

- **des études hydrologiques et hydrauliques;**
- **des investigations géologiques et géotechniques**, dans la mesure nécessaire à la définition sommaire des fondations;
- des travaux topographiques;
- la localisation, le choix d'une ou plusieurs variantes de type d'ouvrage et la détermination de leurs dimensions principales;
- l'évaluation des coûts, l'évaluation qualitative des avantages économiques que l'ouvrage est susceptible d'apporter et la comparaison, s'il y a lieu, des variantes;

- le recueil de données spécifique;
- la définition des études à mener aux phases d'étude supérieures.

Il est établi un dossier d'étude de définition comprenant les pièces prescrites par l'instruction sur la composition des dossiers de projet en vigueur.

III.4.4.Étude conception : (Mission G2) [25]

III.4.4.1.Avant-projet sommaire (APS) :

Il a pour objet de définir avec précision les caractéristiques principales des variantes de l'ouvrage, d'évaluer leur coût avec un degré de précision qui peut être jugé acceptable pour cette phase d'étude.

Certaines de ces variantes définies par l'étude de définition peuvent être abandonnées, d'autres étudiées complètement à ce niveau d'étude. Celles étudiées font l'objet d'une appréciation technique et financière complétée par une évaluation économique destinée à guider le choix de la variante à retenir.

Ce niveau d'étude comporte:

- ✓ les travaux topographiques définitifs, à l'exception de l'implantation;
- ✓ **les études hydrauliques et hydrologiques** complémentaires éventuellement nécessaires au dimensionnement de toutes les parties de l'ouvrage;
- ✓ **l'étude géologique et géotechnique** détaillée nécessaire pour la définition et le dimensionnement des fondations;
- ✓ l'étude des fondations;
- ✓ l'adaptation d'un ouvrage;
- ✓ type ou l'étude d'autres ouvrages;
- ✓ l'étude d'esthétique et d'intégration dans le site;
- ✓ l'étude technique des accès à l'ouvrage avec les rectifications
- ✓ du tracé de la route pour l'amélioration de ses caractéristiques géométrique.
- ✓ l'étude des équipements particuliers;
- ✓ l'évaluation des quantités d'ouvrages;
- ✓ l'établissement d'un détail estimatif;
- ✓ l'appréciation économique du projet.

III.4.4.2.Phase d'avant-projet – AVP : Mission G2 [25]

L'étude de l'avant-projet sera menée conformément aux prescriptions des fascicules 3,4,5 et 6 du CPC pour les études du ponts.

Ces prescriptions sont complétées comme il suit:

III.4.4.2.1.Travaux Topographiques:

Les frais des travaux topographiques sont réalisés par le BET et à sa charge. Ils consisteront en:

- Pour l'ouvrage d'art
- pour le lit de l'écoulement
- Pour la déviation: Les plans topographiques seront réalisés à l'échelle 1/2000.

Géotechniques et hydrologiques :

III.4.4.2.2.Reconnaissance géotechnique :

Sur la base **du rapport géotechnique** et suivant la ou les variantes d'ouvrage retenues par l'étude de définition, l'Administration fait exécuter le programme de **sondages et essais de laboratoire** jugés nécessaires à l'étude des fondations de l'ouvrage avec la précision requise pour l'évaluation de leur coût.

Ces sondages et essais tendront à déterminer la nature, l'épaisseur et **les caractéristiques géotechniques** utiles des diverses couches de sol jusqu'à rencontrer une couche suffisamment résistante pour servir d'assise aux fondations; cette dernière est explorée à une profondeur suffisante pour se prémunir des risques de discontinuité, cavités et surprises géologiques diverses; s'il y a des raisons de craindre des surprises pouvant renchérir notablement l'ouvrage, il sera procédé avec l'accord préalable de l'Administration à des sondages et essais complémentaires

Ainsi les sondages ont un double but :

1. **Un but géologique** : car le sondage permet de compléter la connaissance géologique du sous-sol qui sera complété par une coupe géologique.
2. **Un but géotechnique** : le sondage est un moyen d'accès au sol pour le prélèvement d'échantillons intacts destinés au laboratoire.

III.4.4.2.3.Études hydrologique et hydraulique :

le géotechnicien procèdera d'autre part, s'il y a lieu, aux investigations hydrauliques et hydrologiques complémentaires nécessaires à la prévision définitive de la hauteur des crues du cours d'eau franchi par l'ouvrage, tant en vue de l'évaluation des risques d'affouillement que de la détermination du tirant d'air et du débouché superficiel nécessaires. Il s'appuiera à cet effet sur les observations effectuées pendant une période aussi longue que possible. A

Chapitre III : conception des étapes des études géotechniques dans les ponts

défaut d'observations ou si leur fiabilités douteuse pour une raison quelconque, il soumettra à l'accord de l'Administration l'approche théorique la plus indiquée pour établir des prévisions.

Il procède enfin s'il y a lieu aux investigations et calculs hydrauliques nécessaires à l'évaluation des risques d'affouillement avec une précision suffisante, tant pour l'étude des fondations que de celles des protections d'appuis et de berges.

III.4.4.2.4.Etude des fondations:

Les fondations de chacun des appuis de l'ouvrage seront étudiées avec toute la précision permise par les résultats

Le Géotechnicien est tenu d'affecter à l'étude des fondations au moins un ingénieur parfaitement averti des problèmes rencontrés dans le cas spécifique de l'étude en cause.

III.4.4.2.5.Etude du raccordement:

Le géotechnicien procèdera à l'étude du raccordement de l'ouvrage au réseau routier. Ce raccordement sera réalisé en effectuant les rectifications du tracé de la route nécessaires pour l'amélioration de ses caractéristiques géométriques.

Il est établi un dossier de projet contenant, obligatoirement toutes les pièces prévues par l'instruction sur la composition des dossiers routiers.

III.4.4.2.6.Etude d'esthétique:

Dans tous les cas **Géotechniciens** produira une vue perspective permettant d'apprécier l'aspect de l'ouvrage et son intégration au site.

III.4.4.2.7.Equipements particuliers:

Les équipements particuliers de l'ouvrage, appareils d'appui, dalles de transition, garde -corps, étanchéité, joints, appareils d'évacuation des eaux etc... pourront, à ce niveau d'études, n'être définis qu'approximativement dans la mesure toutefois où l'exactitude des notes de calcul ne risquerait pas d'en être affectée

III.4.4.2.8.Evaluation des quantités d'ouvrages:

L'évaluation des quantités d'ouvrages repose obligatoirement sur un avant métré, qui est joint au dossier d'avant-projet.

La distinction entre ouvrages de diverses natures sera, autant qu'il est possible à ce niveau d'étude, fondée sur la liste de prix du Cahier des Prescriptions Communes applicables aux travaux de construction des ouvrages d'art, à défaut ,sur l'usage courant.

III.4.4.3. La phase suivante de l'étude :

Le géotechnicien formulera les dispositions à prendre pour la réalisation de la phase suivante de l'étude.

Ces dispositions concerneront notamment:

- La consistance des travaux topographiques;
- Le programme des sondages et essais de laboratoire pour chacune des composantes de la variante retenue;
- Le programme des études hydrologiques complémentaires.

III.4.4.4. Dossier: géologie et géotechnique:[25]

Le dossier géologique et géotechnique contient des coupes de sondage et un rapport **des essais géotechnique**. Parmi les essais on cite les suivants :

Essais in-situ : il est intéressant d'aller étudier la portance et le tassement des couches sur le terrain, l'intérêt réside dans le fait que :

- l'essai in situ donne des résultats sur le sol à l'état naturel, donc plus réalistes que ceux du laboratoire .mais sans oublier que même l'essai in situ a ses propres limites et inconvénient.
- l'essai in situ aide à mieux comprendre le comportement du sol mais ne se confrontera aux essais de laboratoire car les conditions des essais ne sont pas les mêmes, on propose :
- Essai préssiométriques normal : afin d'avoir une approche plus réaliste sur la portance et le tassement
- Essai du pénétromètre statique : l'essai de pénétration statique fait partie de la gamme de mesure de la résistance du sol in situ)
- L'étude en laboratoire permet de déterminer la caractéristique physique et mécanique qui sera prise en compte dans les calculs des stabilités et de tassement.
- L'étude en laboratoire vient donc compléter et préciser l'étude en place et c'est l'ensemble qui permet d'aboutir à une représentation schématique de la zone à étudier.

Les essais de laboratoire peuvent être classés en deux :

III.4.4.4.1. Les essais d'identifications :(Analyse granulométrique) :

- a) Simples et peu coûteux, permettent de délimiter les couches et sous couches du sol.
- b) Ils peuvent être faits sur des échantillons intacts et remaniés.
- c) L'analyse granulométrique complète se fait en deux étapes : Le tamisage et La sédimentométrie



Figure 11 : analyse granulométrique [26]

III.4.4.2. Les essais mécaniques :

Plus délicats à réaliser, plus long et plus coûteux, leur nombre sera limité mais devra être suffisant pour caractériser les couches de sols mises en évidence par la reconnaissance et les essais en place.

Ils ne peuvent être faits que sur des échantillons intacts

- **Limites d'Atterberg**

- ✚ Limite de liquidité

- ✚ Limite de plasticité



Figure 12 : limite d'Atterberg [26]

Tableau 4 : représente la Contrainte admissible dans le sol[25]

Nature du sol	Contrainte admissible Kg/cm ²
Sable fin moyennement compact	2 à 3
Sable fin assez compact	3 à 6
Sable fin très compact	6 à 12

III.4.5.Plans annexes au rapport:[25]

- Plan de situation à l'échelle du 1/50 000. Ou 1/200 000;
- Vue en plan et définition de l'implantation du 1/100 au 1/500;
- Elévation du 1/100 au 1/500;
- Coupe longitudinale des sections concernées au 1/100 au 1/500;
- Coupe transversale au 1/20 ou 1/50;
- Profil en long:

- a) Longueur: échelle de l'élévation;
- b) Hauteur : échelle quintuple ou décuple de celles des longueurs.

-Plans de la déviation :

- a) Tracé en plan à l'échelle 1/2000;
- b) Profil en long à l'échelle 1/2000;
- c) Plan de la signalisation.

III.4.6.Phase de projet – PRO :

Il est exécuté le programme de reconnaissance géotechnique complémentaire arrêté à la phase d'étude d'avant-projet.

Les reconnaissances géotechniques complémentaires de cette phase d'études ont pour objet de définir aussi exactement que possible les fondations de chaque appui de l'ouvrage ; dans le cas de fondations profondes l'Administration fait procéder aux forages complémentaires de ceux de la phase d'étude de l'avant-projet pour que chaque appui ait fait l'objet d'au moins un forage; si la comparaison des coupes laisse craindre des surprises de nature à entraver l'exécution des travaux, le Bureau d'études propose le programme de reconnaissance spécifique jugée opportune.

III.5.ÉTUDES DE RÉALISATION G3 ET G4 :[25]

Annexe au mémoire:

-Dossier géologie et géotechnique:

Les rapports des reconnaissances complémentaires menées pour les besoins de l'étude du projet d'exécution sont joints au rapport:

-Les coupes de sondage;

-Les résultats des essais de laboratoire ou in situ.

-Dossier : notes de calculs:

Toutes les notes de calcul et de justification de tous les éléments du projet.

-Dossier avant métré détaillé.

III.5.1.Plans d'exécution:

-Plan de situation à l'échelle 1/50 000 ou 1/250 000;

-Plan d'implantation sur document topographique à l'échelle du 1/100 ou 1/500;

-Vue en plan de l'ouvrage avec le raccordement à la voirie et les protections à l'échelle du 1/100 ou 1/500;

-Élévation à l'échelle du 1/100 ou 1/500;

-Coupe longitudinale sur l'axe de la chaussée avec report du terrain naturel et des sondages à l'échelle du 1/100 à 1/500;

-Dessins de détail des protections et autres;

-plan de ferrailage;

-Vue perspective sur fond de plan approprié;

-Plans de déviation :

Tracé en plan à l'échelle 1/1000;

Profil en long à l'échelle 1/1000;

Plan de la signalisation.

III.6.Diagnostic géotechnique (G5)

Pendant le déroulement d'un projet (conception ou exécution d'un projet), le géotechnicien doit intervenir pour étudier de façon strictement limitative un ou plusieurs éléments géotechniques particuliers (terrassements, stabilité de talus, soutènements, fondation, dallage ...) dans le cadre d'une mission ponctuelle. [25]

III.7. Conclusion :

Ce chapitre représente les éléments constitutifs des ponts et représente les tapes géotechnique pour la conception et la réalisation d'un projet pont, ne règle pas tous les problèmes, mais fixe un cadre et facilite l'intégration du génie géotechnique à la maîtrise d'œuvre de l'ouvrage. Un dialogue est plus que jamais nécessaire avec le géotechnicien. La progressivité des études doit impérativement être respectée de manière à obtenir une gestion optimale des risques (y compris juridiques).

Chapitre IV :

Conception des étapes des études géotechniques

Dans les barrages

IV.1.Introduction

Le barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à réguler le débit du cours d'eau et/ou à en stocker l'eau pour différents usages¹ tels que : contrôle des crues, irrigation, industries, hydroélectricité, pisciculture, réserve d'eau potable, etc.

Le barrage est un ouvrage d'Art placé en travers d'un cours d'eau, destiné à retenir et stocker de l'eau ou à la dériver. Les techniques de la fin du XIX e étai début du XX e siècle ne permettaient pas l'édification de retenues de grande capacité. Les premiers barrages ont surtout une fonction de dérivation d'une partie de l'eau (écrémage) vers une conduite forcée ou un canal d'irrigation. L'amélioration des techniques et des bétons dans le premier quart du XX e siècle permet d'envisager la réalisation de retenues plus conséquentes, capables de réguler la production hydro-électrique. Afin de bien planifier un projet de construction barrage, il est nécessaire de connaître différents facteurs tels que La géologie (nature des roches sur lesquelles sera édifié le barrage, agrégats extraits sur place) et la topographie (largeur de la vallée), commande le type de barrage utilisé. Pour notre cas d'étude, le but recherché est de mentionner les étapes dont le géotechnicien intervient.

IV.2. Généralités

IV.2.1.Les principaux paramètres à prendre en compte dans le choix du site et du type de barrage sont les suivants : [9]

- La topographie
- les apports du bassin versant
- La morphologie de la vallée
- Les conditions géologiques et géotechniques
- Le contexte météorologique et le régime des crues
- Les apports moyens en eau et leurs fluctuations saisonnières
- Les caractéristiques topographiques.
- Les risques sismiques

IV.2.2.Les types des barrages : [9]

Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrage-poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On en trouve de trois types :

- homogène,
- noyau,-
- masque.

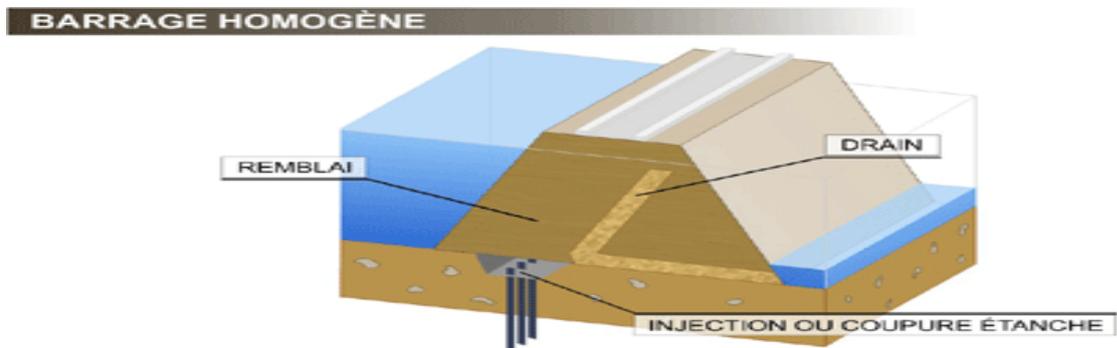


Figure 13: coupe transversale d'un barrage homogène [9]

Barrage homogène

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Selon les ouvrages, la pente des talus sera plus ou moins forte, en fonction notamment des caractéristiques du matériau employé.[9]

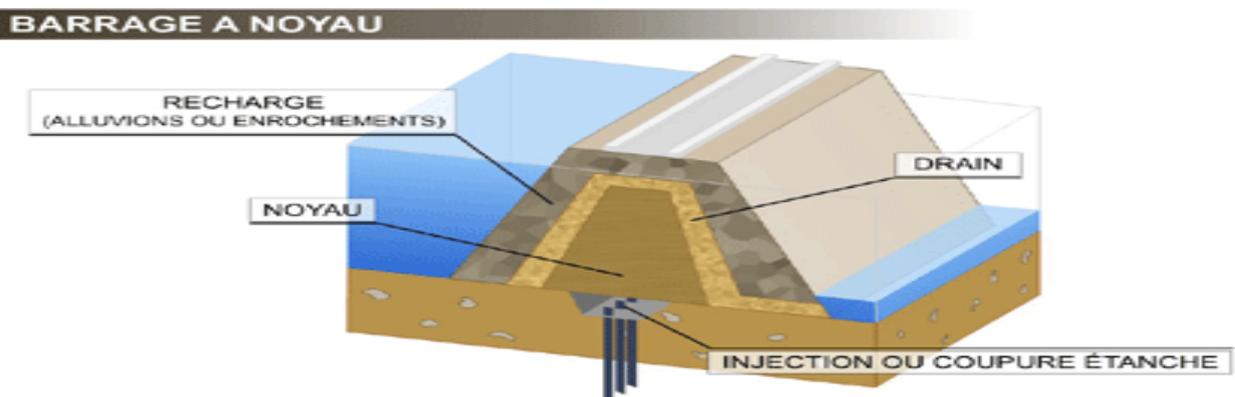


Figure 14: coupe transversale d'un barrage à noyau [9]

- ✓ **le noyau** : partie assurant l'étanchéité, disposée au centre ou parfois à l'amont ;
- ✓ **les recharges** (amont ou aval) : parties construites avec des sols frottant, perméables de préférence, qui assurent la résistance et supportent le noyau ;
- ✓ **les drains** : zones (souvent peu épaisses) de forte perméabilité, aptes à collecter les fuites donc à réduire les pressions interstitielles [10]
- Barrage à noyau

Dans un barrage à noyau, les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central.

Chapitre IV : Conception des étapes des études géotechniques dans les barrages

Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'enrochements.[9]

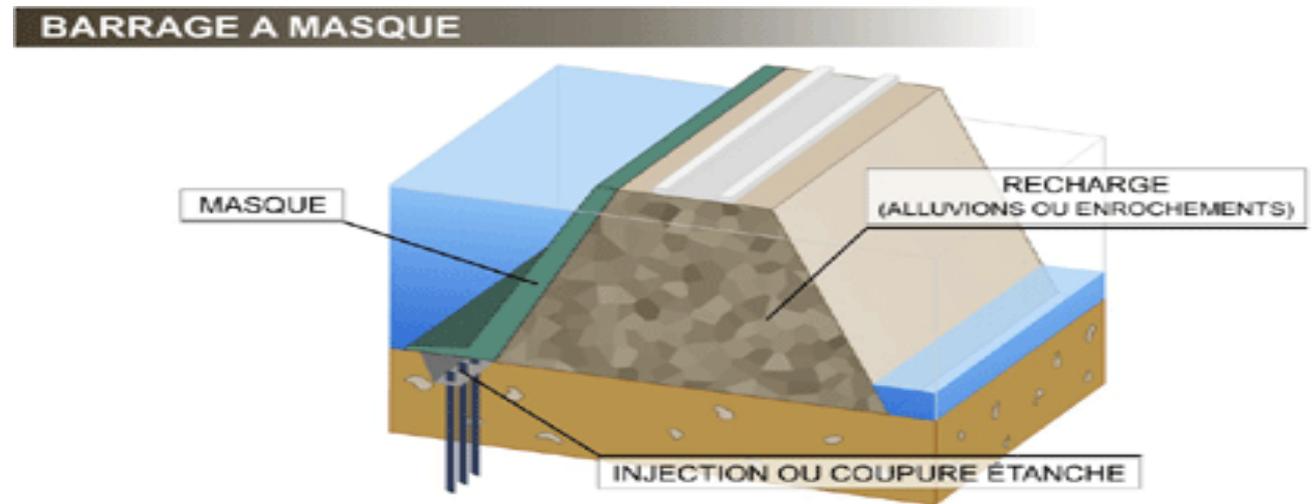


Figure 15: coupe transversale d'un barrage a masque [9]

Barrage à masque

Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des enrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, côté amont. [9]

IV.3.L'étape 1, l'étude géotechnique préalable (Mission G1)

IV.3.1.DEFINITION DE L'ETUDE :

Les prescriptions du présent cahier des charges ont pour but de définir les investigations géotechniques préalables à la réalisation des travaux visant la restauration de la continuité écologique de la Rinceuse à Vermondans. La présente consultation a pour objet :

- La réalisation d'une campagne de sondages de reconnaissance des sols avec tous les essais nécessaires (sondages, essais in-situ et essais en laboratoire) sur le site concerné.
- L'étude structurelle de l'accotement et du pont de franchissement Ces études visent à vérifier:
- l'état et la stabilité de l'accotement et du pont (cote des fondations, sols les supportant, liaisons avec les maçonneries, etc.)
- l'incidence des aménagements envisagés sur les ouvrages • la qualité des terrains du site de projet (nature et répartition des matériaux constitutifs)

Ces études devront :

- permettre de définir les solutions techniques et les recommandations à envisager afin de garantir la pérennité des travaux d'aménagement au droit du site d'étude ;
- être suffisamment précises sur les ouvrages en portant notamment sur le type de fondation, la profondeur d'ancrage, etc. [11]

IV.3.2.ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE G1

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (G2). Elle comprend. [11]

La phase Etude de Site (ES) :

Pour une première identification des risques géotechniques du site Cette étude a pour objectif une première identification des risques géotechniques du site : - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. - Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs. [11]

Les essais

La définition précise du type et du nombre de reconnaissance est laissée à l'initiative de l'ingénieur géotechnicien qui, par sa connaissance et sa propre expérience du terrain, devra proposer dans son offre, une campagne d'essais et démesures appropriés.

Les essais et mesures seront réalisés conformément aux normes et règlements en vigueur à la date de leur exécution.

Les profondeurs minimales des forages seront compatibles avec la destination des ouvrages à réaliser et les solutions envisagées.

Le titulaire veillera à proposer un programme adapté au site et aux aménagements envisagés afin de ne pas proposer un programme surdimensionné qui serait trop coûteux.

Bien évidemment, le titulaire devra veiller à ce que les sondages effectués ne nuisent pas aux fondations des ouvrages. [11]

IV.3.3. La phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Cette phase vise à réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

Il s'agit de :

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG (zone d'influence géotechnique), horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols). [11]

IV.4. ETUDE GEOTECHNIQUE G2

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés.

Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées et doit :

- ✚ Définir si besoin un programme **d'investigations géotechniques** spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- ✚ Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des **risques géotechniques**. [11]

IV.4.1. Phase Avant Projet G2 : (AVP)

Le rapport d'étude devra être fourni en trois exemplaires dont un reproductible.

L'étude fera l'objet d'un rapport comportant, notamment les prestations suivantes (liste non exhaustive) :

- Le contexte géologique et hydrogéologique (exploitation des données bibliographiques).
- Un compte rendu décrivant les méthodes employées, les difficultés éventuellement rencontrées, la fiabilité des résultats obtenus et leur interprétation.
- Le plan d'implantation et le nivellement (x, y, z) des sondages et éléments de reconnaissance réalisés dans le cadre de l'étude.

Chapitre IV : Conception des étapes des études géotechniques dans les barrages

- L'ensemble des relevés et les coupes des sondages avec nature des terrains traversés et niveaux altimétriques (définition des familles de sols homogènes et leur disposition).
- Les résultats des essais en place avec les courbes traduisant les résultats sous forme de diagramme.
- Les résultats des essais en laboratoire sur échantillons intacts et remaniés.
- Le plan de situation et d'implantation des forages.
- Etablissement de la stratigraphie au droit de chaque sondage (notamment sous forme d'un profil en long).
- Les documents photographiques nécessaires à la compréhension des observations. La définition des hypothèses géotechniques nécessaires au pré dimensionnement des ouvrages.
- La définition des sujétions de réalisation des confortements de l'accotement et du pont adaptées aux différentes contraintes du site et des aménagements projetés
- La situation des zones à risques et la définition des problèmes d'exécution et de pérennité résultant des aménagements
- La définition des dispositions générales à prendre en compte vis-à-vis des avoisinants.[11]

IV.4.2.Phase Projet (PRO) :

Sauf cas particulier, la géologie est déjà bien connue à ce stade, et seules des reconnaissances ponctuelles sont généralement nécessaires. Cependant, en cas de modification significative de l'implantation du barrage (ou du seul axe de l'organe d'étanchéité) depuis les reconnaissances d'Avant Projet, de nouveaux forages carottés avec essais d'eau sont nécessaires sur le nouvel emplacement. C'est en revanche à ce stade des études que la plus grande partie des études géotechniques proprement dites (mécanique des sols ou des roches selon le cas) est généralement réalisée et nécessaire : prélèvements d'échantillons et réalisation d'essais de l'laboratoire[11]

IV.5.Moyens mis en œuvre au cours de l'Étude géotechnique de conception (G2), phase Projet

Les études géologique et géotechnique de Projet comprennent tout ou partie des éléments suivants, de manière très variable selon les caractéristiques de chaque ouvrage (importance, complexité, type de barrage...) :

- Reconnaissance complémentaire éventuelle de la fondation du barrage et des ouvrages annexes (en particulier : fondation des ouvrages annexes tels qu'évacuateur de crues, galeries de vidange, de dérivation, de visite, tour de prise, barrages secondaires s'ils n'étaient pas envisagés lors de l'AP), notamment en cas de terrains peu consistants, de changement

Chapitre IV : Conception des étapes des études géotechniques dans les barrages

d'implantation, ou de reconnaissances antérieures insuffisantes (problèmes fonciers par exemple) : tranchées à la pelle, sondages carottés avec essais d'eau et/ou prélèvement d'échantillons « intacts », essais in-situ (pénétrromètre...);

- Reconnaissance détaillée des zones d'emprunt de matériaux par tranchées à la pelle, avec prélèvements pour essais en laboratoire ;

- Essais géotechniques en laboratoire (mécanique des sols et/ou des roches) sur échantillons intacts et remaniés, de la fondation et des emprunts ;

- Analyses chimiques, radiométriques, sur les matériaux d'emprunt ou sur des terrains de fondation.

- Synthèse géotechnique (et géologique le cas échéant) de la fondation et des matériaux d'emprunt, débouchant sur la réalisation de calculs de stabilité permettant de définir le profil du barrage (en terre) ou le niveau de fondation des ouvrages rigides.

- Choix définitif des axes (ouvrages principal et annexes, étanchéité), du type d'ouvrage, de ses matériaux constitutifs.

- Définition précise de la nature et de la forme des organes d'étanchéité, du zonage du barrage le cas échéant, des casiers d'emprunt, des conditions de mise en œuvre des matériaux, des dispositifs d'auscultation de la fondation et du barrage.

- Recommandations pour la conduite des travaux et le suivi de l'ouvrage en service : précautions à prendre, notamment pour la stabilité des versants et talus d'excavations en cours de travaux et lors de vidanges de la retenue ; maîtrise de la teneur en eau pour l'édification de barrages en remblai ; points d'arrêt nécessitant une réception par le géologue avant poursuite des travaux ; dispositions de détail à arrêter en fonction des observations faites lors des travaux. [12]

IV.6.Mission Etude et suivi géotechniques d'exécution G3 :

IV.6.1.Phase Etude géotechnique d'exécution :

L'entreprise s'approprie la phase PRO de la mission Etude géotechnique de conception G2. Elle valide les hypothèses géotechniques et géodynamiques ou argumente sa proposition de prise en compte d'autres valeurs. En fonction de ses moyens, elle construit le scénario de construction du projet, étape par étape et procède aux vérifications nécessaires, statiques et sous séismes, de chaque ouvrage géotechnique en phase provisoire et définitive. Les solutions de traitement sont proposées et justifiées. Si nécessaire, elle procède à des investigations complémentaires en vue de réduire par exemple une incertitude géotechnique. Des investigations complémentaires peuvent également être nécessaires en cas de variante. Elles sont adaptées aux problèmes géotechniques rencontrés. Concernant les justifications aux

Chapitre IV : Conception des étapes des études géotechniques dans les barrages

séismes, elles sont en général faites en situation de projet achevé, sauf dans les zones à forte sismicité, et pour des chantiers de longue durée, cas où les situations intermédiaires sont analysées, en intégrant la possibilité d'occurrence d'un séisme. [13]

IV.6.2.Phase Suivi géotechnique d'exécution :

Le géotechnicien de l'entreprise, attaché au chantier assure un suivi continu de la réalisation des ouvrages géotechniques afin de vérifier la conformité de la géologie, de la géotechnique et des situations de chantier rencontrées avec celles prévues en phase "Etude géotechnique d'exécution".

En cas d'anomalies par rapport à la géologie et la géotechnique attendues et d'anomalies par rapport aux situations prévues, l'entreprise informe le maître d'œuvre et le géotechnicien du maître de l'ouvrage de ce constat, afin que des solutions constructives adaptées soient proposées, étudiées et validées ; il peut également être amené à proposer des investigations complémentaires nécessaires à leurs justifications géotechniques. Dans les cas à risques élevés, les solutions ont déjà été envisagées dans un plan préalable de gestion des risques. Le géotechnicien de l'entreprise met en œuvre tous les moyens nécessaires aux suivis et contrôles, à l'avancement du chantier. [13]

IV.7.Mission Supervision géotechnique d'exécution (G4) :

Le géotechnicien du maître de l'ouvrage :

Valide la mission G2, si ce n'est pas lui qui l'a réalisée, ce qui peut être préjudiciable, car la réalisation de la mission G2 à l'amont permet une forte implication du géotechnicien du maître de l'ouvrage dans le projet et ses orientations. En cas de désaccord, il propose de la refaire, contrôle la mission G3 de l'entreprise.

Il donne son avis (phase Supervision de l'étude d'exécution) :

Sur les hypothèses géotechniques et géodynamiques de justification des ouvrages pris en compte par le **géotechnicien** de l'entreprise.

En cas de désaccord, il argumente sa position et peut demander des investigations complémentaires, sur les notes de calcul de chacun des ouvrages, y compris dans les phases provisoires.

Après démarrage du chantier, le géotechnicien du maître d'ouvrage supervise le chantier par interventions ponctuelles, en concertation avec le maître d'œuvre, sur la base d'un séquencement de ses interventions convenu avec celui-ci.

Il peut demander des points d'arrêts :

Si les conditions de réalisation du chantier sont différentes de celles prévues par l' "Etude géotechnique d'exécution" G3, si les conditions géologiques, géotechniques et

Chapitre IV : Conception des étapes des études géotechniques dans les barrages

hydrogéologiques se révèlent différentes de celles définies lors de l' "Etude géotechnique de conception" G2 et validées par l' "Etude géotechnique d'exécution" G3.

Il analyse et donne un avis sur les essais de contrôle produits par l'entreprise, et peut faire procéder à des contrôles spécifiques en cas de doute sur les résultats.[13]

IV.8.Mission G5 de Diagnostic géotechnique :

Toutes missions G2, G3 ou G4 partielles n'existent pas au sens de la norme 94 500. C'est alors une mission de diagnostic géotechnique, dont l'objet est strictement limitatif. Un problème géotechnique ou géodynamique, bien défini, limité en volume et dans le temps est soumis à un géotechnicien, lequel s'attache à lui apporter une réponse spécifique.[13]

IV.9.CO NCLUSION :

Ce chapitre représente les différents types du barrage en remblai et représente les étapes géotechniques pour la conception et la réalisation d'un projet barrage, ne règle pas tous les problèmes, mais fixe un cadre et facilite l'intégration du génie géotechnique à la maîtrise d'œuvre de l'ouvrage. Un dialogue reste nécessaire avec le géotechnicien. La progressivité des études doit impérativement être respectée de manière à obtenir une gestion optimale des risques.

CONCLUSION GENERALE :

L'étude du sol de terrain présente une grande importance pratique:

Par les risques qu'ils font encourir aux habitations ou aux ouvrages, et l'ampleur de ces risques.

Par la difficulté technique d'y porter remède.

L'étude du sol commence toujours par une étude géotechnique comme tout autre projet, elle se base sur les observations sur le site, les essais réalisés in-situ et les essais au laboratoire qui permettent d'avoir un aperçu globale sur les couches constituant le terrain et leurs caractéristiques en particulier la cohésion et l'angle de frottement, ces dernières nous permettent d'apprécier la surface de glissement et tassement sur laquelle on se base pour proposer des solutions de confortement convenables

En Algérie on est loin du travail qui se fait dans les pays européens

Le LTPE et le LNCH sont les deux seuls organismes qui font un travail administratif à savoir :

- faire test sur des échantillons de sol ramenés des entreprises au Siège du laboratoire
- Il est impératif que les géotechniciens sortent sur le terrain de projet afin de superviser et contrôler les travaux entamés par l'entreprise

Il est souhaitable de créer un guide professionnelle pour ces techniciens comme ça se fait en Europe où les missions sont fixées par la NFP 94-500.

Nous proposons que les lois régissant ce métier soient modifiées afin qu'elles puissent se mettre au conformé avec les lois européennes

Pour finir, on espère que ce travail sera une base et un point de départ pour notre vie professionnelle ainsi que le prolongement des futurs étudiants travaillant dans ce domaine

Bibliographique :

- [1]rapports de la norme NFP 94_500(version Nov. 2013) Ms Houmadi
- [2] « *Fondations et ouvrages en terre* » Philipponnat, Hubert – Edition 2007 – Eyrolles
- [3]« *Forages, sondages et essais in situ géotechniques* » Reiffsteck, Lossy, Benoît - Edition 2012 – Presses des Ponts
- [4]Extrait de la norme Française sur les missions d'ingénierie géotechnique (NF P 94 500 de novembre 2013)
- [5] mygeo. « étude de sol question » <https://www.mygeo.fr/etude-sol-question.php>
- [6] groupe-sae. « études-géotechniques-préalables » <https://www.groupe-sae.fr/fr/missions-g1-es-g1-pgc-etudes-geotechniques-prealables/>
- [7] Ginger-cebtp. « étude-géotechnique-de-conception-g2 » <http://www.ginger-cebtp.com/ingenierie-sols/etude-geotechnique-de-conception-g2/>
- [8] construisons .« missions-geothermiques-5 »<http://www.construcsols.fr/missions-geothermiques-5.html>
- [9]planetetp.« barragesenremblaia122 »<http://www.planetetp.com/barragesenremblaia122.html>
- [10]<http://197.14.51.10:81/pmb/GENIE%20CIVIL/TECHNIQUES%20PARTICULIERES/c5555.pdf>
- [11]eptb-saone-doubs.« geotechnique_vermondans »http://www.eptb-saone-doubs.fr/IMG/pdf/2015_09_ccp_etu_autre_geotechnique_vermondans.pdf
- [12]s_g%C3%A9ologiques_et_g%C3%A9otechniques#Moyens_mis_en_C5.93uvre_au_cours_de_l.E2.80.99Etude_g.C3.A9otechnique_pr.C3.A9alable_mission_.28G1_NF_P_94_500.29.2C_phase_Etude_de_Site_.28ES.29
- [13]syntecingenierie.« Risque_sismique_et_missions »http://www.syntecingenierie.fr/wpcontent/uploads/2017/06/Risque_sismique_et_missions_g%C3%A9otechniques_2017_05_2017.pdf
- [14]scribd. « Memoire-Hydraulique-Barrage-en-terre »<https://www.scribd.com/doc/245036971/Memoire-Hydraulique-Barrage-en-terre>

- [15] [file:///C:/Users/infotech/Downloads/226852935-205781176-Trace-Routier-KETTAR%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/infotech/Downloads/226852935-205781176-Trace-Routier-KETTAR%20(4).pdf)
- [16] wikip . « les-différents-types-de-chausses » <http://www.wikip.fr/structure-de-chausseacutees/les-differents-types-de-chaussees>
- [17] wikip . « les -différents-types-de-chausses » <http://www.wikip.fr/structure-chausse-actées/les-différents-types-de-chausses>
- [18] geotec-sa. « études-géotechniques-préalables ». <http://www.geotec-sa.com/missions-geotechniques/etudes-geotechniques-prealables>:
- [19]slideshare.«missionsgéotechniquesgeotec»<https://fr.slideshare.net/Saamysaami/missions-geotechniques-geotec>
- [20]cotita.«norme_NFP94500_S_DAUPHIN2.pdf»http://www.cotita.fr/IMG/pdf/Présentation_norme_NFP94500_S_DAUPHIN-2.pdf
- [21]transports.gouv.http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/per/0970001/02_2004/03_Juil_%202004_Année_5_No_6.pdf
- [22] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11939/1/Ms.Gc.Fellahi.pdf>
- [23]memoireonline.Conceptionetdimensionnementd'unpont<https://www.memoireonline.com/11/17/10169/Conception-et-dimensionnement-d-un-pont-en-ba.html>
- [24]https://www.google.com/search?q=%C3%89%C3%A9ments+constitutifs+des+ponts&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH8rHhr4PbAhVHaRQKHT6EC4AQ_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgrc=z_ZKNIDMWWiNZM:
- [25] <http://www.apdn.ma/apelloffre/doc/36-14.pdf>
- [26]https://www.google.com/search?biw=1366&bih=654&tbn=isch&sa=1&ei=ZMD4WtDNovgUoXJvsAC&q=Analyse+granulom%C3%A9trique&oq=Analyse+granulom%C3%A9trique&gs_l=img.3..012j0i30k118.6890.25572.0.26228.4.4.0.0.0.456.456.4-1.1.0....0...1c.2.64.img..3.1.454.0...0.IojlG_ajpOE#imgrc=TO2M9i2TcO6cZM:
- [27]Google.«essaideProctor»https://www.google.com/search?q=essai+proctor&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwikwJmeqZDbAhUKVhQKHcp-A1UQ_AUICygC&biw=1093&bih=530