

**RECOMMANDATIONS SUR LA CONSISTANCE DES INVESTIGATIONS
GÉOTECHNIQUES POUR LES ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE CONCEPTION (G2)**

Union Syndicale Géotechnique / SYNTEC-INGÉNIERIE

mai 2016



SYNTEC-INGÉNIERIE





1-1 PRÉSENTATION DES RECOMMANDATIONS

1-1-1 Cadre des recommandations

Les présentes recommandations ont pour objet de définir les grands principes des programmes d'investigations géotechniques à réaliser lors de la mission G2 d'étude géotechnique de conception d'un projet.

Ces recommandations portent à la fois sur la nature des investigations, sur la quantité des investigations et sur l'extension des investigations (profondeur, périmètre à investiguer,...).

Elles ne sauraient, en aucun cas, prévaloir sur les textes réglementaires ou des recommandations professionnelles spécifiques.

1-1-2 Ouvrages concernés

Les présentes recommandations concernent aussi bien les bâtiments que les ouvrages de génie-civil ou les ouvrages linéaires.

Pour certains ouvrages exceptionnels ou certains contextes géotechniques ou encore pour un environnement difficile, les maillages donnés à l'article 2.1 seront probablement insuffisants et devront donc être adaptés au cas par cas.

Le cas particulier des tunnels n'est pas traité car il fait déjà l'objet de recommandations de l'AFTES.

1-1-3 Personnes concernées

Les présentes recommandations s'adressent à tous les intervenants participant à l'acte de construire. La définition et l'appréciation du programme d'investigations géotechniques doivent être élaborées par l'ingénierie géotechnique en charge de la mission de conception géotechnique (G2). S'il est défini initialement par une ingénierie géotechnique spécifiquement missionnée par le Maître d'Ouvrage (AMO ou mission G1 d'étude géotechnique préalable), il devra être validé ou adapté par l'ingénierie géotechnique en charge de la mission G2.

Les maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage doivent pouvoir vérifier si les propositions reçues respectent bien les principes des présentes recommandations, refuser des propositions basées sur des campagnes d'investigations géotechniques trop limitées et veiller ainsi à obtenir, pour leur projet, une information de qualité permettant de limiter les incertitudes et donc les risques géotechniques associés.

1-2 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES POUR L'ÉTABLISSEMENT DU PROGRAMME D'INVESTIGATIONS

« 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 au 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 éventuelles. » (extrait de la norme NF P94.500, révisée en novembre 2013)

« Les reconnaissances de terrain doivent fournir une description des conditions de terrain pertinente pour les travaux proposés et établir une base pour l'évaluation des paramètres géotechniques pertinente pour toutes les étapes de la construction. » (extrait de l'Eurocode 7 de septembre 2007)

1-2-1 Analyse préliminaire

Un programme d'investigations géotechniques doit être établi, à chaque étape et phase des missions géotechniques si nécessaire, en fonction de trois éléments majeurs :

- **la nature de l'ouvrage à réaliser**, tel qu'il est connu dans les différentes phases de sa conception et de sa réalisation : phases Esquisse, Avant-Projet Sommaire, Avant-Projet Détaillé pour les bâtiments, phases Etudes Préliminaires, Avant-Projet pour les infrastructures, puis phases Projet, DCE, Exécution, Maintenance,...

- **L'avancement des études d'ingénierie géotechnique :**

- o Mission d'étude géotechnique préalable G1 – phases étude de site (ES) puis principes généraux de construction (PGC),
- o Mission d'étude géotechnique de conception G2 – phases avant-projet (AVP) puis projet (PRO) et enfin DCE / ACT,
- o Missions d'études géotechniques d'exécution G3 et G4.

- **Le contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique, y compris la Zone d'Influence Géotechnique**, tel qu'il est connu à chaque étape de l'avancement des missions (les résultats des reconnaissances pour une phase doivent être connus pour la définition du programme de la phase suivante).

-1-2-2 Programme d'investigations

A chaque phase des études géotechniques, la mission du géotechnicien comporte la définition ou la validation, dès que nécessaire, des investigations géotechniques spécifiques :

- En étude géotechnique préalable (G1), le programme des investigations géotechniques sera établi après analyse de la bibliographie et autres documents disponibles (cartes..., mais aussi expériences antérieures dans la zone), dans l'objectif d'identifier les risques géotechniques majeurs.
- En phase avant-projet de la mission d'étude géotechnique de conception (G2), si des investigations pour la mission G1 n'ont pas été réalisées, il convient de les prévoir impérativement à ce stade ; si des investigations ont déjà été réalisées, il faut éventuellement les compléter par les investigations nécessaires à une première identification des risques importants.
- En phase projet de la mission G2, les éventuelles investigations auront notamment pour objectif de préciser la caractérisation des paramètres géotechniques et de réduire les incertitudes ainsi que les risques importants par voie de conséquence.

Un programme d'investigations géotechniques sur site doit comporter :

- Un plan d'implantation prévisionnelle des sondages et essais, à adapter éventuellement sur site.
- La profondeur prévisionnelle des investigations, à adapter éventuellement en fonction des terrains rencontrés.
- Les types de sondages, d'essais en place et de matériels à utiliser.
- Les spécificités du mesurage piézométrique et hydrogéologique.
- Les prélèvements d'échantillons et la description des essais en laboratoire prévus.
- Les normes, lois et règlements à appliquer.

Un programme d'investigations sur site peut être complété par les programmes d'essais en laboratoire : essais d'identification, essais géomécaniques et géochimiques (agressivité des milieux vis-à-vis des ouvrages).

1-2-3 Limites aux connaissances apportées par la campagne d'investigations

Toute campagne d'investigations géotechniques comporte un nombre limité de sondages et essais qui ne permettront jamais de lever toutes les incertitudes inhérentes à cette science naturelle. Toutefois, ces incertitudes doivent être réduites de manière économiquement acceptable, selon le contexte du site et du projet : elles devront être prises en compte dans la conception de l'ouvrage géotechnique.

En conséquence, et conformément au contenu de la mission G2 définie par la norme NFP 94-500, les conclusions géotechniques qui reposent sur ces investigations ne peuvent conduire à traiter à forfait le prix des fondations et des ouvrages géotechniques, compte tenu d'hétérogénéités toujours possibles (naturelles ou du fait de l'homme) et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains d'assise.

1-2-4 Pertinence des techniques de reconnaissance et d'essais

L'enquête bibliographique préalable et l'analyse des caractéristiques du projet aura permis d'identifier les différents sujets que l'étude géotechnique doit traiter. Le tableau 1 est destiné à guider l'élaboration du programme d'investigations en fonction des sujets à traiter.

Les types de sondages et essais géotechniques permettant de répondre aux différentes problématiques ont été groupés en trois catégories :

- les **sondages** permettant de visualiser les sols, de prélever des échantillons, d'établir la stratigraphie et la structure géologique des terrains,
- les **essais en laboratoire** qui permettent d'identifier et de classer les sols, ainsi que de mesurer certaines caractéristiques mécaniques ou hydrauliques (notamment déformabilité, résistance, perméabilité),
- les **essais in situ** qui permettent de mesurer certains paramètres géotechniques des sols en place (notamment compacité, consistance, perméabilité, déformabilité, résistance).

Un projet comportant généralement plusieurs problématiques géotechniques, le programme d'investigation doit inclure la mise en œuvre de plusieurs procédés parmi les sondages, essais in situ et en laboratoire.

Afin de permettre un choix éclairé parmi les différentes techniques de reconnaissance disponibles :

- les problématiques géotechniques ont été classées en huit thèmes,
- pour chaque procédé de reconnaissance, sondage ou essai, est indiquée la capacité à répondre à la problématique. Le degré de pertinence est donné par une échelle de valeur avec recommandé (R), satisfaisant (S) ou indicatif (I) :

R	Sondage/essai particulièrement bien adapté. A envisager en priorité.
S	Sondage/essai susceptible de fournir des résultats généralement satisfaisants.
I	Sondage/essai fournissant une information indicative. A n'envisager qu'en complément d'autres moyens d'investigations.

Le degré de pertinence d'un sondage ou d'un essai tel que présenté ci-après ne préjuge pas de sa faisabilité dans le contexte réel. L'appréciation de la faisabilité par le géotechnicien relève de la connaissance des conditions du site.

Les méthodes de reconnaissance indirecte par mesures géophysiques ne sont pas traitées dans le tableau 1. Elles peuvent apporter dans certains contextes des informations utiles notamment sur la succession des couches de terrains et la structure géologique du site. Elles nécessitent dans tous les cas une validation par étalonnage sur des données géotechniques.



PROGRAMME DE RECONNAISSANCE

Le programme d'investigations doit être proportionné aux caractéristiques du projet et à la complexité géotechnique prévisible du site.

Les investigations sont généralement progressives et accompagnent les différentes étapes de la conception, puis de la réalisation des ouvrages géotechniques.

Le tableau 2 ci-après recommande un maillage minimum de reconnaissance pour différentes catégories d'ouvrages, avec les profondeurs minimales associées. Ce maillage a la volonté de couvrir l'ensemble des reconnaissances à mettre en œuvre. Il appartient au géotechnicien de définir pour chaque point de reconnaissance les procédés pertinents qui permettront de répondre aux problématiques identifiées, suivant les indications du tableau 1. Toute éventuelle optimisation du programme doit être dûment justifiée.

Le programme d'investigations géotechniques défini par les présentes recommandations peut s'avérer insuffisant en fonction de la complexité du projet, du contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique, ou de la ZIG, ce qui peut conduire à une densification des points de reconnaissance ou à un approfondissement des sondages pour réduire les incertitudes.

Le maillage est donné dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de conception G2 (intégrant les différentes phases AVP et PRO notamment) : il est essentiel que ce maillage soit respecté lors la phase Projet de la mission G2, les investigations pouvant être réalisées en plusieurs phases (AVP puis PRO par exemple) ou en une seule phase (généralement en phase AVP). Dans ce dernier cas, la non progressivité des investigations peut conduire à réaliser un programme d'investigations surabondant ou, au contraire, à un programme insuffisant qui ne permet pas d'affiner une problématique géotechnique non anticipée lors de l'élaboration du programme initial.

Problématique géotechnique	Sondages		Essais en laboratoire		Essais in situ	
Modèle géologique	Sondage carotté Pelle mécanique Tarière Sondages destructifs avec diagraphies	R S S I	Essais d'identification et de classification	R	Pénétrömètre statique, piézocône Standard Penetration Test Pénétrömètre dynamique	S S I
Terrassement/réemploi Déblai/Remblai Stabilité générale	Echantillon intact ou remanié représentatif, prélevé dans les sondages précédents	R	Essais d'identification, Essais Proctor, de traitements Essai triaxial, Cisaillement rectiligne	R R R	Scissomètre Phicomètre	S S
Capacité portante	Sondage carotté + Echantillon intact Sondage pour essais pressiométriques	S R	Essai triaxial Compression simple Cisaillement rectiligne	S S S	Pressiomètre Pénétrömètre statique Standard Pénétration Test Pénétrömètre dynamique Scissomètre ou phicomètre	R R S I I
Tassement (fondations, dallages,...)	Sondage carotté + Echantillon intact Sondage pour essais pressiométriques	R R	Oedomètre Essai triaxial	R R	Pressiomètre Pénétrömètre statique, piézocône Dilatömètre type DMT	R R S
Soutènement	Sondage carotté + Echantillon intact Sondage pour essais pressiométriques	R S	Essai triaxial Cisaillement rectiligne	R R	Scissomètre ou phicomètre Pressiomètre Piézocône	R S I
Eau souterraine 1-Niveau des nappes	Forage pour piézomètre	R			Piézomètres avec suivi automatique Piézomètres avec suivi manuel Cellules de pression interstitielle	R S S
2- Rabattement	Forage pour essai de pompage et essais d'eau Sondage carotté + Echantillon intact	R S			Essai de pompage, piézomètre Essai d'eau (dont micromoulinet) Piézocône	R S S
Aléa sismique	Sondage carotté + Echantillon intact	R	Essai triaxial cyclique Granulométrie	R R	Cross-hole Standard Pénétration Test Pénétrömètre statique, piézocône	R R R
Retrait gonflement	Sondage carotté + Echantillon intact	R	Essais de retrait, essai de gonflement Essais d'identification	R I		
Reconnaissance de fondations existantes	Fouilles de reconnaissance Sondage carotté Sondage destructif	R S S	Résistance à la compression du béton ou de la maçonnerie	R	Essais Micro-Sismique Parallèle Essai d'impédance Ferrosan, radar	R I I

R : sondages/essais **recommandés**

S : sondages/essais **satisfaisants**

I : sondages/essais **indicatifs** après calibrage

TABLEAU 1 : ANALYSE DE LA PERTINENCE DES TECHNIQUES USUELLES DE RECONNAISSANCE

Programme minimal des investigations géotechniques lors des études géotechniques de conception G2

Ouvrage concerné		Maille en phase PRO (intégrant reconnaissances des phases et missions précédentes)	Dont Maille en phase AVP	Profondeur
Pavillon isolé		1 point de reconnaissance tous les 50 m² avec un minimum de 3 points	1 point de reconnaissance tous les 50 m² avec un minimum de 3 points	5 m sous la base des fondations prévisibles
Bâtiments de logements, bureaux, tertiaires, publics, pavillons en bande, ...		1 point de reconnaissance tous les 200 m² avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 20 m entre points	1 point de reconnaissance tous les 300 m² avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 25 m entre points	5 m sous la base des fondations prévisibles
Bâtiments industriels, commerciaux, logistiques,...	jusqu'à 10 000 m ²	1 point de reconnaissance tous les 400 m² avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 30 m entre points	1 point de reconnaissance tous les 600 m² avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 40 m entre points	2 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur du bâtiment
	au-delà de 10 000 m ²	1 point de reconnaissance supplémentaire tous les 800 m²	1 point de reconnaissance supplémentaire tous les 1 200 m²	2 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur du bâtiment
Voiries (parkings aériens et voiries liées au bâtiment)		1 point de reconnaissance tous les 1 500 m² , avec un minimum de 2 points	selon contexte	3 m sous le niveau définitif de la voirie et 2 m sous le terrain naturel
Ouvrage isolé et ponctuel	Pylônes	1 point de reconnaissance par pylône	1 point de reconnaissance par pylône	5 m sous la base des fondations prévisibles
	Eoliennes terrestres	Suivant Recommandations CFMS du 5/07/2011	Suivant Recommandations CFMS du 5/07/2011	
Ouvrages linéaires	Réseaux enterrés	1 point de reconnaissance tous les 100 ml	selon contexte	1 m sous fond de fouille prévu
	Route / Tramway / digue < 3 m	1 point de reconnaissance tous les 100 ml	selon contexte	5 m sous niveau fini, avec 5m minimum sous TN initial
	Autoroute / Ligne ferroviaire	1 point de reconnaissance tous les 100 ml	selon contexte	5 m sous niveau fini, avec 5m minimum sous TN initial
	Quai / Port / digue > 3 m mur soutènement > 3 m	2 points de reconnaissance (profil) tous les 50 ml	selon contexte	5 m dans substratum
Stations d'épuration		2 à 3 points de reconnaissance par ouvrage, suivant taille de l'ouvrage	1 point de reconnaissance par ouvrage et 1 point de reconnaissance tous les 500 m²	5 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur de l'ouvrage
Silos, réservoirs		1 point de reconnaissance tous les 150 m² avec un minimum de 3 points	1 point de reconnaissance tous les 250 m² avec un minimum de 2 points	6 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur de l'ouvrage
Ouvrages d'art	Ponts	1 point de reconnaissance par appui	1 point de reconnaissance tous les 2 appuis	6 m sous la base des fondations prévisibles
ZIG		1 reconnaissance par mitoyen	au cas par cas	au cas par cas

TABLEAU 2