MARCHE PUBLIC DE SERVICES

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (CCTP)

Acheteur

État – Ministères de la transition écologique, de l'aménagement du territoire, des transports de la ville du logement – Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) de Bretagne

Représentant de l'acheteur (RA)

Monsieur le Directeur régional de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Bretagne ayant reçu délégation de signature par arrêté préfectoral n°2026/DREAL/DSF-Marchés

Objet de la consultation

RÉALISATION DE SONDAGES GÉOTECHNIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES ET D'ÉTUDE DE SOLS

Le présent CCTP comporte 41 pages

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

SOMMAIRE

Pages

I - GÉNÉRALITÉS.....5

I.1 - Objet du marché.....5
I.2 - Consistance des prestations.....5
I.3 - Mode d'élaboration des opérations.....6
I.4 - Ouvrages des concessionnaires.....7
I.5 - Signalisation des chantiers.....7
I.6 - Tenue des chantiers.....7
I.7 – État des lieux.....7
I.8 – Plan d'Assurance Qualité (PAQ).....8
I.9 - Plan de Respect de l'Environnement (PRE).....8

II - SONDAGES ET ESSAIS IN SITU.....8

II.1 - Sondages.....8
II.1.1 - Conditions générales d'exécution.....8
II.1.2 - Exécution des sondages.....8
II.1.3 - Conditions particulières d'exécution.....10
II.1.4 - Prélèvement d'échantillons remaniés.....12
II.1.5 - Prélèvement d'échantillons intacts.....13
II.1.6 - Compte rendu de sondage.....14
II.2 - Essai in situ.....15
II.2.1 - Sondages au pénétromètre statique.....16
II.2.2 - Sondage au pénétromètre dynamique.....17
II.2.3 - Sondage pressiométrique normal.....18
II.3 - Essais d'eau dans les sondages.....23
II.3.1 - Généralités.....23
II.3.2 - Essai d'eau type Lugeon.....23
II.3.3 - Essais d'eau type Lefranc.....27
II.3.4 - Essais de transmissivité.....32
II.3.5 - Essais de pompage.....34

III - ESSAIS EN LABORATOIRE.....34
III.1 - Normes pour essais en laboratoire.....34
III.2 - Quantités de matériaux.....36
IV - GÉOPHYSIQUE.....36
IV.1 - Radar géologique.....37
IV.2 - Sismique réfraction.....37
IV.3 - Mesures électriques (tomographie de résistivité électrique TRE).....37
V - PRESTATIONS D'ÉTUDES.....39
V.1 - Missions de type G1 : étude géotechnique préalable.....39
V.1.1 - Généralités sur le rapport des études de type G1.....39
V.1.2 - Étude géotechnique préliminaire de site (G1 ES).....40
V.1.3 - Étude géotechnique phase Principes Généraux de Construction (G1 PGC).....40
V.2 - Mission de type G2 : étude géotechnique de conception.....40
V.2.1 - Étude géotechnique d'avant-projet (G2 AVP).....40
V.2.2 - Étude géotechnique d'avant-projet (G2 PRO).....41
V.3 - Référentiels.....41

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

I - GÉNÉRALITÉS

I.1 - Objet du marché

Le présent marché concerne la réalisation de reconnaissances et études des sols sur le plan géologique, géotechnique et hydrogéologique dans le cadre d'études d'infrastructures routières.

Il comprend :

* des investigations géotechniques :
  - sondages et essais in-situ (chapitre II),
  - essais en laboratoires (chapitre III),
  - reconnaissances géophysiques (chapitre IV)
* des missions d'ingénierie géotechnique :
  - prestations d'études et d'expertise (chapitre V).

I.2 - Consistance des prestations

Le présent article a pour objet d'énumérer les prestations qui sont à la charge du titulaire du marché. Il fait référence à la classification des missions d'ingénierie géotechnique types définies dans la norme NF P 94-500 de novembre 2013. Il est cependant spécifié que les articles du présent CCTP restent prépondérants en cas de divergence avec les indications de ladite classification.

Dans la nature des travaux entrent toutes les fournitures, les matériels, le personnel, les transports, les façons et les mises en œuvre nécessaires à l'exécution des campagnes de reconnaissance, objet du marché.

Le marché comprend essentiellement :

A. Pour les investigations géotechniques :

Dans la nature des investigations géotechniques entrent toutes les fournitures, les matériels, le personnel, les transports, les façons et les mises en œuvre nécessaires à l'exécution des campagnes de reconnaissance, objet du marché.

La prestation d'investigations géotechniques (chapitres II,III et IV) comprend l'exécution des sondages, les prélèvements d'échantillons, les essais et mesures en place ou en laboratoire, selon un programme défini au préalable dans le cadre d'une mission d'ingénierie géotechnique.

Elle se conclut par un compte-rendu factuel donnant les coupes des sondages, les procès-verbaux d'essais in-situ et en laboratoire, les résultats des mesures.

1. La préparation, l'amenée, l'installation et le repli en fin de chantier :

   a) déclarations préalables réglementaires auprès des services publics et concessionnaires (DICT)

   b) des ateliers de forage pour essais pressiométriques, sondages à la tarière et à la pelle, sondages carottés, forages destructifs et pénétrométriques ;

   c) de l'ensemble du matériel annexe nécessaire à l'exécution des différents essais et aux enregistrements automatiques éventuels ;

2. La réalisation des accès jusqu'aux lieux de sondage ;

3. L'exécution à la main d'avant-trous, si nécessaire, pour la recherche d'ouvrages de réseaux enterrés ;

4. L'exécution des forages à travers les terrains de toute dureté avec, si nécessaire, tubage provisoire ou emploi de boue de forage ;

5. Le prélèvement d'échantillons remaniés, intacts et paraffinés, ainsi que la fourniture et le transport jusqu'au laboratoire d'essais des conteneurs pour la conservation de ces échantillons et des caisses ;

6. L'exécution des différents essais in-situ ;

7. L'équipement éventuel des forages pour essais de pompage, essais pressiométriques, etc ;

8. Le bouchage soigné des forages, complété, si nécessaire, par des injections de coulis de ciment jusqu'au niveau du sol initial ;

9. L'établissement des diagrammes, comptes-rendus de sondages et d'essais in-situ donnant la coupe des sondages et les caractéristiques des sols suivant le code de figuration normalisé ;

10. L'éventuelle analyse des eaux rencontrées lors des sondages ;

11. Le nettoyage des chaussées souillées par les engins ;

12. La préparation et l'exécution des différentes reconnaissances géophysique (ex : sismique réfraction, méthode électrique, géoradar, etc...), et leur interprétation ;

13. Le contrôle général de ces travaux et de la mission en vue de définir les actions à entreprendre et les options à prendre en cours de réalisation ;

14. Les analyses et essais de sols en laboratoire ;

15. La présentation des résultats des différents forages, essais et mesures.

B. Pour les prestations d'études (missions d'ingénierie géotechnique) :

1. Des études géotechniques préalables type G11, G12, comportant la rédaction d'un mémoire par opération. Ce type de mission est rémunéré par une partie forfaitaire et une partie proportionnelle au montant des investigations géotechniques qui lui correspondent (sondages et essais, chapitres 1 et 2 hors prix 301-306).

Pour ces études, les visites sur site ou réunions sont réputées comprises dans les prix du bordereau.

2. Des études géotechniques de conception / projet (type G2).

Ce type de mission est rémunéré par des prix horaires d'ingénieurs, techniciens ou secrétaires. Il peut nécessiter en préliminaire la réalisation d'investigations géotechniques rémunérées aux prix des chapitres 1, 2 et 4.

3. Des études géotechniques de supervision géotechnique d'exécution (type G4).

Ce type de mission est rémunéré par des prix horaires d'ingénieurs, techniciens ou secrétaires.

4. Des diagnostics géotechniques en cas de désordre / ou problématique spécifique (type G5).

Ce type de mission est rémunéré par des prix horaires d'ingénieurs, techniciens ou secrétaires.

I.3 - Mode d'élaboration des opérations

Le titulaire du marché établira, pour chaque opération à partir des documents particuliers fournis par le Maître d'ouvrage, une proposition technique détaillée définissant les essais, investigations et études nécessaires à la réalisation de la mission demandée :

- type, nombre, implantation et profondeur des sondages,
- essais et mesures in-situ,
- équipement des sondages,
- essais en laboratoire,
- investigations géophysiques,
- programme d'exécution et délai global de l'étude, etc...

Il annexera à cette proposition tous les plans ou documents nécessaires à la bonne définition de l'intervention et à l'exécution des investigations.

La proposition sera chiffrée au moyen des prix unitaires portés au Bordereau des Prix du marché.

I.4 - Ouvrages des concessionnaires

En principe, les sites objet des reconnaissances seront situés hors de l'emprise de constructions existantes ou de zones viabilisées.

Lorsque le maître d'ouvrage a effectué, dans le cadre de ses études, une enquête préalable auprès des concessionnaires (DT), celle-ci sera communiquée au titulaire au moment de la commande.

Dans tous les cas, le titulaire est tenu de procéder aux déclarations préalables réglementaires auprès des services publics et concessionnaires (DICT) et de prendre rendez-vous avec les concessionnaires.

Dans le cas où il sera connu ou suspecté la présence de réseaux, le titulaire du marché effectuera le piquetage de ceux-ci contradictoirement avec les concessionnaires en présence du représentant du maître d'ouvrage à partir des renseignements fournis par les concessionnaires.

Chaque fois que cela sera nécessaire, le titulaire procédera à l'exécution à la main d'avant-trous pour la recherche des réseaux enterrés avant la réalisation des forages proprement dits.

I.5 - Signalisation des chantiers

En cas d'intervention sur une voie ouverte à la circulation publique, le titulaire du marché est tenu de mettre en place la signalisation réglementaire. Celle-ci est fournie par le maître d'ouvrage dans les conditions indiquées à l'article 7 du CCAP du marché. Cependant, la réalisation d'un alternat géré par feux tricolores ou manuellement par piquets k10 est rémunérée par un prix du bordereau.

Pour les travaux situés en bordure de voie circulée, le titulaire fournira et mettra en place la signalisation nécessaire définie avec le maître d'ouvrage.

I.6 - Tenue des chantiers

Le titulaire du marché devra maintenir, en tout temps, les chantiers libres d'accumulation de détritus ou matériaux détériorés ou rebutés. En particulier, les boues de forage seront soit décantées et les sédiments évacués à la décharge, soit pompées et évacuées par citerne.

Il devra maintenir la chaussée et les passages pour piétons dans un état permanent de propreté.

Les matériels, matériaux et installations non indispensables à la poursuite des investigations devront être évacués du chantier.

Le titulaire devra, en fin d'intervention, remettre le chantier et les emplacements mis à sa disposition dans leur état initial.

Le titulaire s'efforcera dans la détermination de l'implantation des sondages :

- de tenir compte des contraintes d'occupation/d'exploitation du site et d'en limiter les conséquences,
- de limiter la gêne occasionnée aux riverains/usagers,
- de limiter les dégâts occasionnés aux bois, cultures, prairies et espaces publics.

I.7 – État des lieux

Le titulaire devra établir, en début et en fin de campagne, ou en cours d'intervention et quand cela est possible, des constats amiables de dégâts occasionnés aux cultures, bois et prairies, espaces publics contradictoirement avec les exploitants, propriétaires ou gestionnaires concernés, le maître d'ouvrage et le titulaire, sur demande du maître d'ouvrage sollicité par les personnes concernées.

Ce constat, dont le maître d'ouvrage fournira un modèle, fait apparaître le numéro de la parcelle, la surface endommagée, et la culture en place. Il est envoyé au maître d'ouvrage une fois cosigné, pour établissement par ce dernier de la convention d'indemnisation.

Le constat est réalisé à l'occasion de la réalisation de la prestation en cause et ne suppose donc pas de déplacement spécifique.

I.8 – Plan d'Assurance Qualité (PAQ)

Les procédés d'exécution seront décrits dans le PAQ. Ce dernier définira en particulier :

• la liste détaillée des moyens (matériels, personnels,...) qu'il compte utiliser ;

• les modes opératoires des essais et mesures qu'il compte appliquer.

Des pénalités définies au CCAP seront appliquées en cas de non-fourniture du PAQ.

I.9 - Plan de Respect de l'Environnement (PRE)

Le titulaire définira les procédures et méthodes qu'il compte utiliser pour préserver l'environnement ou le restituer identique à l'origine pour chacune de ses interventions.

Des pénalités définies au CCAP seront appliquées en cas de non-fourniture du PRE.

II - SONDAGES ET ESSAIS IN SITU

II.1 - Sondages

II.1.1 - Conditions générales d'exécution

Il sera fait référence à la norme NFP 94-510-1 / NF EN ISO 22475-1 : reconnaissance et essais géotechniques. Méthodes de prélèvements et mesurages piézométriques. Partie 1 : principes techniques pour le prélèvement des sols, des roches et des eaux souterraines.

Le titulaire du marché communiquera au maître d'ouvrage tout incident important, toute constatation de nature à modifier les prévisions ou prescriptions du bon de commande de l'opération.

Le titulaire du marché prendra toutes dispositions pour permettre au maître d'ouvrage de vérifier ces constatations.

Il proposera, s'il y a lieu, les modifications à apporter à l'exécution qui lui paraissent découler de ces constatations et précisera l'incidence sur les modalités contractuelles.

Le programme d'exécution de l'opération sera adapté en fonction de ces constatations. En cas d'augmentation du montant de l'étude, les modifications devront faire l'objet d'un nouveau bon de commande.

II.1.2 - Exécution des sondages

Les sondages seront réalisés à l'aide d'appareils spéciaux de perforation qui doivent dans tous les cas permettre :

- de repérer les niveaux et de reconnaître la nature des couches traversées,

- la prise d'échantillons intacts sans modification sensible de la compacité ni de la teneur en eau naturelle, ou remaniés.

Le titulaire du marché reste seul responsable du choix de la méthode utilisée pour arriver aux résultats demandés.

Le diamètre extérieur de départ des forages sera toujours supérieur à 101 mm et devra permettre dans tous les cas :

- le prélèvement d'échantillons d'un diamètre minimum de 80 mm,
- la pose de piézomètres de diamètre intérieur utile libre de 50 mm.

La profondeur exacte de chaque forage sera déterminée en accord avec le maître d'ouvrage.

II.1.2.1 - forages carottés

Les forages carottés seront réalisés en découpant le terrain par rotation ou par poinçonnement à l'aide d'un carottier muni à sa base d'une couronne diamant.

Les forages rotatifs seront utilisés dans les sols fins dotés d'une certaine cohésion ou dans le rocher.

Les forages par poinçonnement réalisés soit par vérinage ou par battage, soit par vibrofonçage, seront utilisés dans les sols à granulométrie grossière.

L'usage des carottiers simples avec fluide de forage sera limité au strict nécessaire.

D'une façon générale, tous les carottiers, qu'ils soient rotatifs ou poinçonneurs, devront permettre le prélèvement d'échantillons intacts.

Le carottage des terrains sera effectué en continu et les carottes placées dans des caisses. Pour chaque passe de carottage, on notera les profondeurs sur les cloisons longitudinales séparant les différents compartiments.

Le pourcentage de récupération de carottes ne pourra pas être inférieur à 80 % en moyenne.

Il n'est pas prévu au présent contrat de sondage carotté réalisé par vibro-percussion.

II.1.2.2 - Forages destructifs

Les forages destructifs seront réalisés par battage, rotation ou vibration d'outils spéciaux .

Le titulaire du marché pourra exécuter ce type de forage pour :

- la réalisation d'essais géotechniques, essais d'eau,
- la recherche de cavité,
- la distinction des différentes compacités du rocher,
- la mise en place de piézomètre.

II.1.2.3 - Sondages à la pelle mécanique

Les sondages à la pelle mécanique sont destinés au prélèvement d'échantillons pour essais de laboratoire. Le titulaire devra indiquer le type de pelle mécanique qu'il compte utiliser pour l'exécution des fouilles dont la profondeur est fixée à 4 m au maximum.

Le but des reconnaissances au moyen de fouilles à la pelle mécanique est de fournir la coupe la plus complète possible des terrains rencontrés. Le titulaire indiquera soigneusement les difficultés survenues au cours du creusement, les changements d'aspect, de consistance et de nature, avec indication des profondeurs.

Des échantillons seront prélevés dans chaque faciès rencontré, pour réalisation d'essais géomécaniques en laboratoire. Après réalisation des coupes terrains, les fouilles à la pelle seront rebouchées méthodiquement et soigneusement, en plaçant les matériaux dans l'ordre où ils ont été extraits. Ils seront compactés au fur et à mesure du rebouchage.

Le titulaire devra fournir :

- un reportage photographique couleur des fouilles à la pelle sera réalisé,
- un relevé de coupe des terrains mis à jour par la fouille,
- les indications relatives aux venues d'eau (niveau d'apparition de l'eau en fond de fouille, niveau de stabilisation du niveau d'eau, temps de stabilisation).

En aucun cas le titulaire ne laissera un sondage à la pelle ouvert sans protection. Chaque sondage doit être soigneusement remblayé avant de se déplacer sur un autre point sauf sous demande expresse du maître d'ouvrage ou de son représentant.

II.1.2.4 - Sondages à la tarière continue

Les sondages à la tarière sont destinés au prélèvement d'échantillons pour obtenir une coupe géologique du terrain et en sortir des échantillons à fins d'analyses pédologiques en laboratoire.

Les sondages à la tarière seront réalisés à l'aide d'une tarière hélicoïdale à âme pleine, par passes de 0,50 m à 1,00 m maximum et exécutés de 0 à 15 mètres de profondeur diamètre 150mm et de 0 à 10 mètres de profondeur diamètre 300mm. Ils devront permettre la description précise des terrains, la réalisation d'une coupe géologique avec une précision de 0,25 m et le prélèvement d'échantillons remaniés mais représentatifs. Les échantillons remaniés seront homogènes, d'un volume suffisant pour la réalisation des essais d'identification et de comportement des sols, seront prélevés tous les mètres maximum, et à chaque changement de terrain. Ils seront conditionnés et étiquetés.

Le titulaire se réfèrera aux prescriptions de la norme expérimentale XPP94-202 ou de sa mise à jour.

II.1.3 - Conditions particulières d'exécution

II.1.3.1 - Aménagement des accès et mise en station au point de forage

En règle générale, les points de forage ou d'essais sont réputés normalement accessibles au matériel courant de type camion tout-terrain, 4 x 4, 6 x 6, engins à chenille, etc...

En cas de difficultés d'accès, le titulaire du marché sera tenu d'aménager une piste d'accès à ses engins, rémunérée par le prix n°101 « aménagement spécifique d'accès ».

Toutes les autres situations (sites difficiles), qui nécessitent des travaux lourds, remblais, déblais importants n'entrent pas dans le cadre des présents travaux.

Le titulaire soumettra à l'agrément du maître d'ouvrage, avant tout commencement, les mesures de protection des zones humides et des milieux aquatiques situés à proximité des lieux de ses interventions, qu'il envisage de mettre en place pour protéger ces milieux spécifiques. Ces mesures entrent dans le cadre des présents travaux et ne font pas l'objet d'un prix particulier au bordereau des prix.

II.1.3.2 - Matériaux et matériel

Le titulaire du marché fournira au besoin au maître d'ouvrage, avant tout commencement d'approvisionnement et d'utilisation, la provenance, la nature et la qualité des matériaux qu'il compte employer sur le chantier.

II.1.3.3 - Fournitures

Toutes les fournitures nécessaires à l'exécution des forages et essais (énergie, carburant, ...) font partie des prestations.

L'alimentation en eau est comprise dans les fournitures. Elle pourra se faire par citernage rémunéré par le prix n°101 dans le cas où il n'existe pas de possibilités de raccordement à une bouche d'eau existante dans un rayon de 150 mètres du sondage.

Dans le cas contraire, le titulaire du marché fera son affaire des démarches, de raccordements et de l'amenée de l'eau au droit des sondages.

II.1.3.4 - Rebouchage des forages

L'entreprise procédera, une fois les forages terminés, au comblement de ces derniers et si nécessaire à l'aide d'un coulis de ciment.

En terrain aquifère, en particulier, cette opération sera effectuée à l'aide d'un mélange argile-ciment afin de rétablir la continuité des couches imperméables traversées.

Les mêmes précautions seront à prendre pour les forages réalisés sur les pentes afin d'éviter que les eaux de précipitations pénètrent dans le sol, compromettant la stabilité du versant.

II.1.3.5 - Piézomètres

Les piézomètres devront être posés conformément à la norme NF EN ISO 22475-1.

Le corps des piézomètres sera constitué en acier ou en matière plastique PVC type eaux usées de 50 mm de diamètre intérieur minimum disponible.

Les joints seront étanches et leur assemblage ne devra pas constituer un obstacle à la mise en place des filtres ou de bouchons.

La partie inférieure du piézomètre sera crépinée. La longueur et la position des crépines seront définies en cours de travaux en fonction de la coupe des terrains, et position de la nappe.

La crépine sera entourée sur toute la hauteur d'un massif de gravier filtrant. L'étanchéité du piézomètre sera assurée par un bouchon de bentonite séché d'une hauteur minimum de 2 mètres, disposé immédiatement au-dessus du massif de gravier.

Les piézomètres seront protégés à leur partie supérieure soit :

- par des bouches à clé en acier de qualité courante dans le cas de sondages sur trottoirs ou surfaces circulées,

- par un tube d'acier de 100 mm de diamètre intérieur, scellé au sol et muni d'un obturateur fileté cadenassé retenu par une chaîne et dépassant de 1 mètre dans le cas de « terrain vague ».

La colonne d'eau devra mesurer deux mètres minimum.

En cas d'absence d'eau, le forage sera arrêté à 10 mètres de profondeur.

La prestation devra prévoir la purge et le nivellement de l'ouvrage (altitude rattachée en m NGF).

Le poseur fournira une fiche descriptive de l'ouvrage comprenant a minima les informations suivantes : profondeur, hauteur de crépine, terrains rencontrés, venues d'eau, etc.....

Pour les piézomètres, la tête de forage devra respecter les spécifications de l'article 8 de *«l'arrêté du 11/09/2003 portant application du décret n° 96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration en application des articles " articles L. 214-1 à L. 214-3 " du code de l'environnement et relevant de la rubrique " 1.1.1.0 " de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié » :*

- les piézomètres devront comporter une margelle bétonnée conçue de manière à éloigner les eaux de leur tête. Cette margelle sera de 3 m² au minimum, et de 0,30 m de hauteur au-dessus du niveau du terrain naturel et implantés sur une limite de propriété,

- la tête des sondages s'élèvera au moins à 0,5 m au-dessus du terrain naturel et sera cimentée sur 1 m de profondeur comptée à partir du niveau du terrain naturel,

- un capot de fermeture ou tout autre dispositif approprié de fermeture équivalent sera installé sur la tête du forage. Il devra permettre un parfait isolement du forage de toute pollution par les eaux superficielles.

II.1.3.6 - Boue de forage

Afin d'éviter tout risque de colmatage des piézomètres, l'emploi de la boue à base d'argile sera prohibé pour l'exécution ou pour le réalésage de tout forage qui devra être équipé d'un piézomètre ainsi que ceux où des essais de perméabilité seront prévus.

Ces forages ne pourront donc être réalisés qu'à l'eau claire ou sous boue biodégradable.

II.1.3.7 - Tubage provisoire

Les têtes de sondage et les formations ébouleuses naturelles ou qui viendraient à l'être au contact de l'eau introduite dans les sondages, seront tubées au fur et à mesure de l'exécution du forage. Il sera également possible de traverser ces formations à l'aide d'une boue biodégradable (exclusivement) pour éviter toute contamination des sols sous-jacents.

II.1.3.8 - Repérage / nivellement

Le titulaire du marché fera procéder au piquetage préalable des sondages ou essais et fera effectuer le relevé tel que réalisé des têtes de forage en coordonnées Lambert III et en nivellement qui sera rattaché au nivellement général de la France (N.G.F. normal ou IGN 69).

II.1.3.9 - Essais in situ

Les essais, destinés à mesurer « in-situ » les caractéristiques physiques et mécaniques du sous-sol, seront réalisés conformément aux sous-chapitres II.2et II.3 du présent CCTP.

Le choix des essais sera déterminé en fonction du but recherché et des caractéristiques du site.

Le titulaire du marché proposera au maître d'ouvrage le type et le nombre d'essais à réaliser ainsi que les méthodes employées et les moyens mis en œuvre.

Les essais pourront être réalisés en cours ou après la réalisation des sondages mécaniques.

II.1.3.10 - Essai en laboratoire

Le choix des essais sera déterminé en fonction de l'ouvrage projeté.

II.1.4 - Prélèvement d'échantillons remaniés

Avant tout prélèvement d'échantillons, il sera procédé au nettoyage de la surface sur laquelle le prélèvement est prévu : élimination de tout matériaux étrangers à l'échantillon.

Si les échantillons remaniés sont destinés à des essais simples d'identification géotechnique en laboratoire, la méthode de prélèvement doit permettre d'obtenir un échantillon de granulométrie représentative du terrain.

Les quantités prélevées doivent permettre l'exécution de l'ensemble des essais de laboratoire pour lesquels ils sont prévus.

II.1.4.1 - Conditionnement et étiquetage

Aussitôt les prélèvements effectués, ceux-ci seront placés dans des emballages étanches.

A chaque échantillon est jointe une fiche sur laquelle seront portées d'une façon inaltérable les indications suivantes :

- nom du chantier,
- numéro du forage,
- date de prélèvement,
- niveaux ou profondeurs entre lesquels l'échantillon a été prélevé,
- nature approximative du sol.

II.1.4.2 - Conservation et transport

Les manutentions et le stockage doivent être conduits de façon à ne pas détériorer les emballages et les étiquetages. Également, il sera veillé à ce que les échantillons destinés au laboratoire ne soient pas soumis au gel ou à évaporation importante.

Les sols extraits seront soigneusement conservés dans des caisses en bois compartimentées et munies de couvercles.

Les échantillons seront acheminés au laboratoire d'essais, de manière à conserver leur orientation (haut/bas) et leur verticalité pour les échantillons intacts prélevés en carottage.

Sur les caisses fournies par le titulaire du marché seront notés de façon inaltérable :

- le nom du chantier,
- le numéro du sondage,
- le numéro d'ordre de la caisse pour le sondage considéré,
- les profondeurs extrêmes des terrains contenus.

Dans le cas de sondages carottés, la totalité des carottes est placée dans les caisses et pour chaque passe de carottage, on notera les profondeurs sur les cloisons longitudinales séparant les différents compartiments.

Chaque caisse ne devra pas comporter plus de 4 m de longueur de carottes.

De plus, les différentes passes de carottage seront séparées par une cale transversale.

A l'emplacement de chaque échantillon envoyé au laboratoire, on mettra deux cales de séparation et on notera sur la cloison longitudinale « échantillon ».

Pendant la durée de la campagne de reconnaissance, les caisses seront conservées à l'abri dans des conditions permettant d'éviter la dégradation, la destruction ou la disparition de leur contenu.

A l'issue de cette campagne, ces caisses seront transportées au dépôt du titulaire du marché ou en un lieu déterminé par le maître d'ouvrage. La durée de conservation, hors cas particuliers où elle est effectuée par le maître d'ouvrage, sera d'au moins trois mois. En outre, le maître d'ouvrage devra être avisé par écrit au moins 15 jours à l'avance de la date prévisible de destruction des carottes.

II.1.5 - Prélèvement d'échantillons intacts

Le prélèvement d'un échantillon intact devra être fait à un niveau inférieur à celui du fond du sondage et si ce dernier est tubé, à un niveau inférieur à celui du bas du tubage, pour éliminer le remaniement sensible des sols.

Les échantillons seront acheminés au laboratoire d'essais, de manière à conserver leur orientation (haut/bas) et leur verticalité pour les échantillons intacts prélevés en carottage.

II.1.5.1 - Exécution du prélèvement

Les appareils et les méthodes de prélèvement seront proposés par le titulaire du marché au maître d'ouvrage en fonction de la nature présumée des terrains.

Le diamètre de départ des forages devra permettre, dans tous les cas, le prélèvement d'échantillons d'un diamètre minimum de 80 mm.

Les caractéristiques géométriques des carottiers non rotatifs seront conformes à la norme ISO 22475-1.

La méthode d'enfoncement des carottiers doit être celle qui conduit au remaniement le plus faible.

La pénétration totale du carottier ne doit en aucun cas être supérieure à la longueur intérieure du carottier.

La mise en flexion ou en vibration du train de tige est interdite.

Si l'enfoncement se fait par fonçage, il sera effectué sans aucune interruption ni mise en rotation du carottier. La vitesse de fonçage sera comprise entre 15 et 30 cm/seconde en fonction de la consistance des sols pour réduire au minimum la déformation de la carotte.

L'emploi du carottier rotatif simple est interdit.

L'entrepreneur emploiera :

- dans les sols cohérents allant de l'argile consistante au rocher, le carottier rotatif double,

- dans les sols de consistance moyenne, le carottier devra comporter une gaine de conditionnement,

- dans les sols mous, des carottiers munis d'une gaine ou faisant office de gaine enfoncée par poinçonnement.

II.1.5.2 - Fiches de carottes

Pour chaque prélèvement, le titulaire du marché établira une fiche de carottage qu'il remettra au laboratoire après y avoir porté les indications suivantes :

- référence du chantier,

- entreprise chargée du prélèvement,

- numéro de sondage,

- date de prélèvement,

- niveau de prélèvement,

- type et caractéristiques du carottier utilisé,

- méthode d'enfoncement du carottier,

- longueur d'enfoncement du carottier,

- longueur de la carotte conservée ,

- observations sur les difficultés rencontrées au cours des opérations de prélèvement et notamment prises du fait de la présence d'eau dans les forages,

- niveaux inférieurs et supérieurs du prélèvement.

Il indiquera les éléments suivants :

* pour un enfoncement du carottier réalisé par battage :

- le poids de la partie frappée (carottier et accessoire qui lui sont liés),

- le poids de la partie frappante (mouton et ses accessoires),

- la hauteur de chute du mouton,

- les longueurs d'enfoncement cumulées en fonction du nombre de coups de mouton.

* pour un enfoncement réalisé au vérin :

- la vitesse de fonçage,

- l'effort de fonçage,

- la variation de cet effort en fonction de la pénétration du carottier.

Le titulaire du marché fournira des photographies couleur des caisses de carottes, faisant apparaître clairement les carottes prélevées, le nom du chantier, le numéro du sondage, l'ouvrage concerné, l'échelle des profondeurs et tous les éléments nécessaires à la compréhension ainsi que l'échelle calorimétrique.

II.1.6 - Compte rendu de sondage

Pour chaque forage, le titulaire du marché établira une coupe de sondage qu'il remettra au maître d'ouvrage. Cette coupe de sondage mentionnera :

- la désignation du chantier,

- la numérotation du sondage et la référence du plan de situation permettant de le récupérer,

- en cas de sondage non vertical, l'inclinaison par rapport à la verticale descendante et l'azimut,

- la date du début et de la fin de l'exécution du sondage.

La coupe de sondage mentionnera en particulier dans ces colonnes spécifiques :

- le repérage en profondeur et en altitude par rapport à un point de référence fixe, des renseignements portés sur la coupe de sondage,

- la description détaillée des terrains traversés,

- la représentation symbolique des couches de terrain comme figurées dans la norme,

- les attributions géologiques essentielles des dépôts et assises,

- la ou les méthodes de perforation avec leur profondeur d'utilisation et la nature de l'outil utilisé,

- le ou les diamètres du trou,

- le ou les tubages avec leurs profondeurs et diamètres respectifs,

- l'indication du fluide de perforation,

- la pourcentage de récupération pour les sondages carottés,

- les vitesses instantanées de perforation mesurées sur des passes courtes ou enregistrées pour les forages destructifs,

- l'indication des niveaux haut et bas des échantillons intacts prélevés et du mode de prélèvement utilisé,

- les observations concernant les arrivées d'eau et les pertes du fluide de perforation,

- le relevé de niveau de l'eau ou du fluide de perforation dans le forage ainsi que la profondeur de la base du tubage et du fond du forage en début et en fin de journée ou de poste,

- les renseignements éventuels sur l'équipement piézométrique (diamètre du piézomètre, niveaux haut et bas de la crépine, dispositif d'étanchéité, mesures datées du niveau hydrostatique, ...),

- pour les sondages en terrains rocheux, l'indication de la densité de fracturation,

- l'indication des niveaux des différents essais effectués en cours de forage (prélèvements d'eau, mesures de perméabilité, photographies, diagraphies, essais mécaniques in-situ, ...)

- l'indication des incidents de forage.

Par ailleurs, le titulaire du marché établira un cahier de chantier où seront consignées toutes les observations pouvant être faites en cours de forage mentionnant, outre les données demandées ci-avant :

- la vitesse ou difficultés de perforation,

- les incidents,

- les niveaux auxquels des pertes ou des venues d'eau se sont produites,

- les forages inachevés ou abandonnés.

II.2 - Essai in situ

Normes AFNOR

Sauf indications contraires dans les paragraphes suivants, les essais seront conformes aux normes en vigueur ou de leur mise à jour :

- NF EN ISO 22476-4 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais en place - Partie 4 : essai pressiométrique dans un forage préalable selon la procédure Ménard

- NF P 94-113 Essai au pénétromètre statique

- NF EN ISO 22476-2- Reconnaissance et essais géotechniques - Essais en place - Partie 2 : essai de pénétration dynamique

- NF EN ISO 22282-4 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géohydrauliques - Partie 4 : essais de pompage

- NF EN ISO 22282-3 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géohydrauliques - Partie 3 : essais de pression d'eau dans des roches (essai Lugeon)

- NF EN ISO 22282-2 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géohydrauliques - Partie 2 : essai de perméabilité à l'eau dans un forage en tube ouvert 5 (essai Lefranc)

II.2.1 - Sondages au pénétromètre statique

II.2.1.1 - Définition

Exécuter un sondage au pénétromètre statique consiste à faire pénétrer dans le sol, par vérinage à vitesse constante, une pointe conique portée par un train de tiges et à mesurer, de manière continue ou à intervalles déterminés :

- la résistance à la pénétration du cône,
- la force totale d'enfoncement et d'arrachement,
- la force de frottement,
- les déviations du train de tiges dans le sol.

Le pénétromètre statique normalisé, les pénétromètres traditionnels et le mode opératoire sont décrits par la norme NP 94113.

La résistance à la pénétration du cône q_c est obtenue en divisant la force sur le cône Q_c (ou effort de pointe) par la surface Ac de la plus grande section droite de la pointe :

$q_c = Q_c/A_c$

II.2.1.2 - Caractéristiques et limites de l'appareillage

La norme européenne recommande un pénétromètre-type. Si on utilise un autre appareil, on devra mentionner sur les feuilles d'essai les caractéristiques qui le différencient du pénétromètre-type.

Le diamètre du cône, la force totale maximale et la force maximale sur le cône susceptibles d'être développés par l'appareil, devront figurer obligatoirement sur les feuilles d'essai.

Chaque sondage sera conduit jusqu'à la profondeur indiquée par les documents particuliers du marché, exception faite des cas où la résistance du sol atteint les valeurs maximales limites de capacité de l'appareil.

Si un sondage ne peut atteindre la profondeur prévue, le titulaire du marché en avisera le maître d'ouvrage, lequel prendra les décisions nécessaires après concertation avec le titulaire du marché.

II.2.1.3 - Procédure d'essai

La procédure d'essai est fixée dans le mode opératoire de l'essai normalisé.

Il est rappelé que :

- la vitesse de fonçage ou vitesse de pénétration est fixée à 2 cm/s avec une tolérance de 0,5 cm/s,
- l'intervalle entre deux lectures ne doit pas excéder 0,20 m de pénétration,
- les appareils de mesure doivent avoir les précisions définies par la norme européenne.

II.2.1.4 - Présentation des résultats

Les résultats d'un sondage au pénétromètre statique seront présentés sous forme d'un graphique donnant, exclusivement en échelle arithmétique, en fonction de la profondeur atteinte par le cône de pointe, la résistance à la pénétration du cône qc ainsi que les valeurs des autres paramètres qui peuvent avoir également été mesurés.

Le choix de l'échelle pour la représentation de qc devra permettre d'apprécier à 10 Pa près les valeurs inférieures à 2 MPa.

Le graphique portera les indications suivantes :

- le type de l'appareil et de son système de mesure,
- le numéro d'identification du sondage,
- la ou les dates d'exécution,
- la cote de départ et, éventuellement, les coordonnées dans un système de référence précisé,
- l'indication des profondeurs et durées des éventuelles interruptions,
- le niveau de l'eau dans le sondage après extraction.

II.2.2 - Sondage au pénétromètre dynamique

II.2.2.1 - Définition

Exécuter un sondage au pénétromètre dynamique consiste à faire pénétrer dans le sol par battage une pointe métallique portée par un train de tiges et à mesurer à intervalles d'enfoncement réguliers l'énergie nécessaire correspondante.

Il existe un pénétromètre et un essai de référence dits de type B et décrits par la norme NF P 94-115.

Tout pénétromètre dynamique comprend un mouton de masse M tombant d'une hauteur fixe H. Le mouton frappe une enclume solidaire du train de tiges et produit ainsi l'enfoncement de la pointe. On note le nombre de coups « Nd » nécessaire pour faire pénétrer la pointe sur une hauteur « h ».

La résistance dynamique apparente q_d est calculée par la formule des Hollandais qui s'écrit :

qd = M/M+M' M.gH/A.e

dans laquelle :

M est la masse frappante

M' est la masse frappée (somme des masses des tiges, de l'enclume, de la tige guide et de la pointe)

A est la surface de la plus grande section droite de la pointe

g est l'accélérateur de la pesanteur

e est l'intervalle moyen d'enfoncement

II.2.2.2 - Caractéristiques et limites de l'appareillage

II.2.2.2.a -

Quel que soit le pénétromètre utilisé, le diamètre du cône, celui des tiges, la masse du mouton le plus lourd et la hauteur de chute fixée dans la norme, devront figurer obligatoirement le diagramme d'essai.

II.2.2.2.b -

Chaque sondage du pénétromètre dynamique sera conduit jusqu'à la profondeur indiquée par les documents particuliers du marché, exception faite des cas où la résistance dynamique apparente du sol « qd » dépasse 100 MPa.

Si un sondage ne peut atteindre la profondeur prévue, le titulaire du marché avisera le maître d'ouvrage, lequel prendra les décisions nécessaires après concertation avec le titulaire du marché.

II.2.2.2.c -

On devra mentionner sur les feuilles d'essai, les caractéristiques essentielles de l'appareil et du processus d'essai en particulier les valeurs de tous les paramètres entrant dans le calcul de qd.

II.2.2.2.d - Mouton

Le mouton sera levé par un dispositif qui le libérera automatiquement en position haute de façon que sa hauteur de chute soit constante et sa vitesse initiale négligeable. La chute du mouton sera absolument libre.

II.2.2.2.e - Enclume et tige-guide

L'enclume et la tige-guide seront parfaitement solidaires entre elles et avec le train de tiges. L'axe de l'enclume, de la tige-guide et du train de tiges sera unique et vertical.

II.2.2.2.f - Tiges

Les tiges seront lisses, bien droites et leur assemblage se fera de manière à éviter tout jeu au niveau des raccords. Les raccords auront le même diamètre extérieur que les tiges. Celles-ci seront marquées, soit de manière permanente, soit avant leur battage, à intervalles réguliers correspondant à « H ».

II.2.2.2.g - Pointe

La pointe aura une forme cylindro-conique. Le cylindre aura un diamètre égal à sa hauteur. Le cône aura un angle au sommet de 90°. Le diamètre de la pointe sera supérieur à celui du train de tiges de 20 mm ± 2 mm.

II.2.2.2.h - Procédures d'essai

Les procédures d'essai sont fixées par les normes NF P 94-115, NF EN 1997-1 :2004 et NF EN 1997-2.

II.2.3 - Sondage pressiométrique normal

II.2.3.1 - Définition

II.2.3.1.a - Sondage pressiométrique normal

On appelle sondage pressiométrique l'ensemble des deux opérations suivantes :

- le forage permettant la mise en place correcte de la sonde pressiométrique normale,
- la réalisation des essais pressiométriques proprement dits et leur enregistrement numérique.

II.2.3.1.b - Essai pressiométrique normal

L'essai pressiométrique normal est un essai de chargement statique du sol en place, réalisé à l'aide d'une sonde cylindrique dilatable radialement. Il permet d'obtenir une relation contrainte-déformation du sol en place dans l'hypothèse d'une déformation plane et de déterminer les trois paramètres usuels suivants :

- un module de déformation du sol,
- une pression dite « pression de fluage »,
- une pression dite « pression limite ».

II.2.3.2 - Mise en place des sondes

II.2.3.2.a - Prescriptions générales

La méthode et le matériel utilisés devront être choisis de telle sorte que :

- le sol à la paroi demeure pratiquement intact,
- le diamètre du forage soit adapté au diamètre de la sonde,
- la réalisation du forage soit conforme aux prescriptions du paragraphe suivant.

Les essais devront être réalisés immédiatement après l'exécution d'une longueur de forage. Il sera fait référence à la norme NF EN ISO 22476-4 pour définir la longueur maximale de forage autorisée avant réalisation des essais correspondants.

II.2.3.2.b - Réalisation d'un forage

Les méthodes de réalisation du forage dépendent de la nature des sols étudiés. Il sera fait référence à la norme NF EN ISO 22476-4 pour déterminer la méthode de réalisation des forages préalables aux essais. Les valeurs maximales tolérées des paramètres de forage seront les suivantes pour les natures de sol énumérés ci-dessous:

- couple 200 mN,
- vitesse de rotation : 60 tr/mn,
- pression sur l'outil : 0,2 Mpa,
- pression d'injection de boue : 0,5 Mpa,
- débit d'injection : 15 litres/mn.

Rappel ci-dessous d'éléments de la norme :

Vases et argiles molles

Le forage sera réalisé, soit à la tarière à main avec injection axiale simultanée de boue sous faible pression, soit éventuellement avec un outil rotatif désagrégateur dans des conditions analogues à celles de la tarière à main.

L'injection de boue sera maintenue pendant la remontée de l'outil.

Tout forage avec injection d'eau claire sera interdit.

La mise en place de la sonde par refoulement du sol sera interdite.

La longueur maximale de forage autorisée ne sera pas supérieure 1 mètre.

En cas de déformation de la paroi du forage empêchant l'introduction libre de la sonde, le tubage préalable de la partie du forage située au-dessus de la zone d'essai, sera indispensable.

Argiles moyennement compactes

Le forage sera réalisé à la tarière à main à sec ou avec injection de boue, à la tarière hélicoïdale continue à outil d'attaque légèrement débordant ou à l'outil désagrégateur avec injection de boue. Pour les sondages à la tarière, s'assurer que l'outil soit parfaitement affûté et à ce que le sol soit découpé et non refoulé.

Tout forage avec injection d'eau claire sera interdit.

La mise en place de la sonde par refoulement du sol sera interdite.

La longueur maximale de forage autorisée avant réalisation des essais correspondants sera de 3 mètres.

Argiles compactes

Le forage sera réalisé soit à l'outil désagrégateur rotatif ou éventuellement rotopercutant avec soufflage axial d'air comprimé ou injection de boue, soit à la tarière hélicoïdale continue avec outil d'attaque légèrement débordant, soit par carottage avec injection de boue.

Tout forage avec injection d'eau claire sera interdit.

La mise en place de la sonde par refoulement du sol sera interdite.

Tout forage par refoulement du sol sera interdit.

La longueur maximale de forage autorisée sera de 5 mètres.

Limons

Limons au-dessus de la nappe

Le forage sera réalisé, soit à la tarière à main, à sec ou éventuellement avec injection de boue, soit à la tarière hélicoïdale continue ou, éventuellement, à l'outil désagrégateur avec injection de boue.

Le battage ou le vibrofonçage d'un carottier sera toléré.

Limons sous la nappe

Le forage sera réalisé à la tarière à main avec injection de boue ou éventuellement, soit à l'outil désagrégateur avec injection, soit par carottage avec injection de boue.

Tout forage avec injection d'eau claire sera interdit.

La mise en place de la sonde par refoulement du sol sera interdite.

La longueur maximale de forage autorisée sera celle qui permet la réalisation de tous les essais pressiométriques correspondants durant le même poste de travail.

Sables lâches

Situés au-dessus de la nappe

Le forage sera réalisé à la tarière à main avec ou sans injection de boue ou éventuellement, soit avec une tarière hélicoïdale continue à sec en maintenant la rotation aussi bien à la descente qu'à la remontée, soit à l'outil rotatif désagrégateur avec injection de boue dans des conditions analogues à celles de la tarière à main.

Situés sous la nappe

Le forage sera réalisé à la tarière à main avec injection axiale simultanée de boue sous faible pression, ou éventuellement avec un outil rotatif désagrégateur dans des conditions analogues à celles de la tarière à main.

Tout forage avec injection d'eau claire sera interdit.

La longueur maximale de forage autorisée avant réalisation des essais correspondants sera de 1 m.

Sables moyennement compacts et compacts

Le forage sera réalisé, soit à la tarière à main, avec ou sans injection de boue, soit à la tarière hélicoïdale continue, soit à l'outil désagrégateur avec injection axiale de boue.

Dans les sables compacts, on pourra utiliser la rotopercussion, soit avec un soufflage axial d'air comprimé, soit avec injection de boue lorsque les sables seront sous la nappe.

Le battage ou le vibrofonçage d'un carottier sera toléré.

Lorsque ces matériaux, sous la nappe, contiennent de gros éléments, on pourra réaliser l'essai dans un tube fendu mis en place par battage ou par vibrofonçage.

Lorsque la mise en place du tube fendu ne peut plus être faite par battage ou par vibrofonçage, on réalisera au préalable

un forage pilote de plus petit diamètre, puis on reprendra la mise en place normale du tube fendu.

La longueur maximale de forage autorisée sera de 5 mètres.

Sols grossiers

Entrent dans cette catégorie :

- les sables et graviers,
- les galets, cailloux et blocs,
- les remblais grossiers.

Le forage sera réalisé par l'une des méthodes suivantes :

- tarière hélicoïdale continue,
- outil désagrégateur rotatif avec injection centrale de boue,
- outil désagrégateur rotopercutant avec soufflage axial d'air comprimé,
- battage ou vibrofonçage d'un carottier.

Lorsque l'équilibre des parois n'est pas assuré, il faudra recourir à l'emploi du tube fendu. Sa mise en place sera faite par battage ou par vibrofonçage.

La longueur maximale de forage autorisée sera de 5 mètres.

Lorsque la mise en place du tube fendu ne pourra plus être faite par battage ou par vibrofonçage, on réalisera au préalable un forage pilote de plus petit diamètre, puis on reprendra la mise en place du tube fendu.

Roches

Le forage sera réalisé par toute méthode habituelle permettant d'obtenir un trou bien calibré.

La longueur maximale de forage autorisée sera de 5 mètres.

II.2.3.3 - Réalisation de l'essai pressiométrique normal

II.2.3.3.a - Déroulement de l'essai

Une fois la sonde mise en place, on lui appliquera des paliers de pression croissants, chaque palier étant maintenu une minute, et on notera les déformations volumétriques correspondants, à 30 secondes et à une minute au cours de ce palier.

Le nombre de paliers doit être au moins égal à 7. Ces essais seront enregistrés numériquement.

Pour chaque essai on tracera la courbe pressiométrique qui traduira la variation de la déformation volumétrique de la cellule de mesure en fonction de la pression appliquée.

Pour s'assurer de la validité de l'essai, on vérifiera l'ordre de grandeur de la déformation volumétrique de la sonde correspondant au contact avec la paroi du forage. Cette déformation volumétrique devra être inférieure à la moitié du volume initial de la sonde.

II.2.3.3.b - Les corrections à réaliser seront les suivantes :

Correction de pression pour un volume donné, afin de tenir compte de la pression propre de déformation de l'ensemble membrane-gaine plus éventuellement celle du tube fendu (courbe d'étalonnage).

Pour les essais au rocher, il sera tenu compte également de la correction de volume pour une pression donnée, destinée à éliminer les déformations internes des différents organes constituant l'appareil.

Lorsque la sonde est équipée de tubulures coaxiales, cette correction ne se justifiera que pour les essais dans lesquels la pression maximale est supérieure à 2,5 Mpa.

Les pressions lues devront être corrigées de la différence de charge hydrostatique correspondant à la position relative du manomètre et de la cellule de mesure.

Aucune correction ne sera nécessaire à l'égard du niveau statique de la ou des nappes d'eau, les mesures étant exprimées en contraintes totales.

II.2.3.3.c - Fréquence des essais

La fréquence des essais, c'est-à-dire le nombre d'essais pressiométriques par sondage, sera fixée par le maître d'ouvrage sur proposition du titulaire du marché.

Les essais, sauf cas particulier et justifié, ne devront pas être espacés de plus de 1,00 m au cours d'un même sondage.

Il sera réalisé un étalonnage par forage.

II.2.3.3.d - Dépouillement des essais

Le dépouillement des essais et le calcul des caractéristiques pressiométriques seront faits par le bureau d'études qui a réalisé les essais.

On pourra, sur ce point, se référer au chapitre « calculs et résultats » du mode opératoire MS.IS.2 publié par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées sous le titre « Essai Pressiométrique Normal ».

II.2.3.4 - Présentation des résultats

Chaque essai sera remis au maître d'ouvrage sous une présentation conforme à la norme avec en particulier la courbe de l'essai pressiométrique . De plus, ils seront présentés sous forme d'une coupe de sondage pressiométrique comportant les éléments suivants :

- la désignation du chantier,

- la numérotation du sondage et la référence du plan de situation permettant de le repérer,

- la date du début et de la fin de l'exécution du sondage,

- le repérage en profondeur et en altitude par rapport en un point de référence fixe, rapporté au système géodésique local officiellement en vigueur, des renseignements portés sur la coupe de sondage,

- la description sommaire des terrains traversés,

- la ou les méthodes de perforation avec leur profondeur d'utilisation et la nature de l'outil utilisé,

- le ou les diamètres du trou,

- l'indication du fluide de perforation,

- la résistance à l'avancement (nombre de coups pour un enfoncement donné) en cas d'utilisation d'un dispositif de forage pour battage,

- les observations concernant les arrivées d'eau et les pertes du fluide de perforation,

- l'indication des niveaux des essais pressiométriques effectués,

- le ou les types de sondes utilisés,

- les valeurs des caractéristiques pressiométriques calculées à chacun de ces niveaux,

- le niveau de l'eau ou de la boue dans le sondage en fin d'exécution, cette indication ne préjugeant pas du niveau statique de la nappe,

- les renseignements éventuels sur l'équipement piézométrique .

II.2.3.5 - Carnet de mesures

Si le maître d'ouvrage l'exige, le titulaire du marché sera tenu de fournir les carnets de mesures sur lesquels figurent en particulier les mesures relatives à l'étalonnage des sondes.

Le titulaire est tenu de conserver les enregistrements numérique pendant dix ans.

II.3 - Essais d'eau dans les sondages

II.3.1 - Généralités

II.3.1.1 - Définition

II.3.1.1.a - Principes généraux

Les essais d'eau dans les sondages se font :

- en isolant, par un moyen approprié, une portion du forage qui constitue alors une « cavité » de forme géométrique simple, généralement appelée « poche »,

- puis en provoquant, par tout moyen approprié, un échange d'eau entre terrain et forage à travers les parois de la « poche », en mesurant le débit en fonction de la pression d'eau.

On distingue :

- les essais d'eau ponctuels qui sont conduits de façon à fournir des évaluations de la perméabilité moyenne au voisinage immédiat de la poche d'essai ; les perméabilités apparentes se déduisant de débits spécifiques en régime à peu près stabilisé,

- les essais de transmissivité qui sont conduits de façon à fournir les évaluations de la transmissivité de l'aquifère avec lequel la poche d'essai communique, les transmissivités apparentes se déduisant des variations du rabattement en fonction du temps.

Les articles suivants traitent de trois sortes d'essais d'eau :

- NF EN ISO 22282-3 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géohydrauliques - Partie 3 : essais de pression d'eau dans des roches (essai Lugeon)

- NF EN ISO 22282-2 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géohydrauliques - Partie 2 : essai de perméabilité à l'eau dans un forage en tube ouvert 5 (essai Lefranc)

- NF EN ISO 22282-4 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géohydrauliques - Partie 4 : essais de pompage (transmissivité)

II.3.1.2 - Domaine d'application

Le titulaire du marché définira les objectifs des essais d'eau, les programmes à suivre si les terrains reconnus par les sondages sont conformes aux prévisions et la conduite à tenir en cas de faits nouveaux et proposera ce programme au maître d'ouvrage.

II.3.2 - Essai d'eau type Lugeon

II.3.2.1 - Définition

L'essai type Lugeon (NF EN ISO 22282-3), consiste à injecter de l'eau dans le forage, sur une hauteur définie, non tubée, successivement sous plusieurs pressions définies pendant des durées définies et à mesurer les débits injectés dans le terrain.

L'interprétation utilise principalement des graphiques pressions-débits, où sont reportés les débits à la fin de chaque palier de pression en fonction des surpressions dans la poche d'essai par rapport à la pression d'eau naturelle.

Cet essai sera destiné à étudier le comportement du terrain rocheux sous de forts gradients et les possibilités d'injections de coulis d'étanchement ou de consolidation.

II.3.2.2 - Caractéristiques de l'appareillage

L'appareillage comprend :

II.3.2.2.a - Un système d'obturation

Le système d'obturation utilisé pour isoler la cavité dans le forage, devra être mis en place avec une précision de diamètre 0,1 m. Il comprendra :

1. un « obturateur » destiné à limiter la cavité à son extrémité la plus voisine de l'entrée du forage, et éventuellement un deuxième obturateur placé à l'autre extrémité de la cavité si cette seconde extrémité ne correspond pas au fond du forage (voir paragraphe 2.2.).

Chaque obturateur devra constituer un bouchon sur une hauteur de forage d'au moins 1m .

2. un dispositif permettant de faire dilater radialement le ou les obturateurs, afin d'assurer leur bon contact avec les parois du forage durant tout l'essai d'eau.

3. le dispositif d'obturation devra être conçu de manière à ne pas se déplacer sous la pression d'eau introduite dans la poche d'essai.

II.3.2.2.b - Système d'injection d'eau

Le système d'injection d'eau comprendra :

1. une réserve d'eau claire ou éventuellement un branchement sur une canalisation d'alimentation en eau,

2. une pompe ou un dispositif de mise en pression présentant au moins les caractéristiques maximales suivantes fixées par le Maître d'ouvrage en accord avec le titulaire du marché :

- pression maximale,
- débit correspondant.

La pompe devra être munie d'un dispositif de dégagement (bipasse) comportant une vanne à fermeture progressive, afin que l'on puisse régler facilement la pression d'injection.

Entre la pompe et le dispositif de dégagement (bipasse), on devra installer un accumulateur hydraulique de volume suffisant pour régulariser la pression à ± 5 % lorsqu'on utilisera une pompe à pistons.

3. les flexibles et conduites permettant d'amener l'eau jusqu'à la cavité. Ces flexibles et conduites devront être parfaitement étanches.

II.3.2.2.c - Un système de mesure

Qu'il soit équipé de cadrans indicateurs, lus par un opérateur ou d'un dispositif enregistreur, le système de mesure devra posséder les caractéristiques suivantes :

a) la mesure du débit doit être rigoureusement conforme aux exigences de la norme.

Pour les débits atteignant ou dépassant la dizaine de litres par minute, cette précision sera facilement obtenue au moyen d'un compteur d'eau volumétrique muni d'une grande aiguille.

Pour les faibles débits, on utilisera comme réserve d'eau un récipient de faible section, ce qui permettra de déduire le volume d'eau injecté de la baisse du niveau dans le récipient. Dans ce cas, il faudra que la pompe et le circuit de dégagement ne présentent aucune fuite.

L'appareillage devra être étalonné à l'arrivée sur le chantier, et après tout incident en cours d'essai.

b) la mesure de la pression pourra se faire, soit directement dans la « poche » d'essai, soit indirectement en corrigeant de la charge d'eau et des pertes de charge une mesure faite en tête de forage.

La précision acceptable sera :

. de ± 5% en cas de mesure directe,

. de ± 3% sur la mesure faite en tête de forage, en cas de mesure indirecte.

L'exactitude devra être vérifiée à l'arrivée de l'appareillage sur le chantier et ultérieurement après tout incident en cours d'essai. Ces vérifications se feront par comparaison, soit avec une « balance de pression », soit avec un « manomètre de contrôle » soumis systématiquement tous les 6 mois à la vérification d'un organisme officiel et conservé à l'abri des chocs par l'entrepreneur.

II.3.2.3 - Préparation d'un essai

II.3.2.3.a - Hauteur d'une cavité

La hauteur de la cavité d'essai sera comprise entre 3 et 5 mètres.

II.3.2.3.b - Forage

Le forage sera effectué à l'eau claire sur la hauteur de la cavité et l'essai Lugeon sera réalisé à l'avancement par palier.

II.3.2.3.c - Nettoyage

Le forage sera nettoyé avant essai pour éliminer tous les sédiments dus à la perforation.

II.3.2.3.d - Équipement du forage

1. On mettra en place simultanément dans le forage le système d'obturation et le conduit d'injection d'eau.

Durant cette opération, il faudra veiller :

. à rendre étanches les filetages des tiges utilisées pour injecter de l'eau,

. à bien noter les longueurs de tous les éléments introduits dans le forage, avec une précision suffisante pour que la position de la cavité soit connue à ± 0,1 m.

2. Ensuite, on provoquera la dilatation radiale du ou des obturateurs au moyen des pressions mécaniques ou hydrauliques prévues pour assurer l'étanchéité.

3. On déterminera le niveau de stabilité de la nappe au niveau de la poche.

4. Au branchement de la pompe et du dispositif de mesure. On devra avoir successivement à la sortie de la pompe :

- un accumulateur hydraulique (s'il s'agit d'une pompe à pistons),

- un dispositif de dégagement (bipasse),

- une vanne précise,

- un compteur ou tout autre détecteur de volume d'eau,

- un flexible le plus court possible,

- un manomètre,

- le train de tiges avec les obturateurs et éventuellement un détecteur de pression au niveau de la « poche » d'essai.

II.3.2.4 - Déroulement d'un essai

II.3.2.4.a - Mesure des absorptions d'eau sous pressions croissantes

La mesure sera réalisée conformément aux exigences définies dans la norme NF EN ISO 22282-3.

II.3.2.4.b - Mesure des absorptions d'eau sous pressions décroissantes

La mesure sera réalisée conformément aux exigences définies dans la norme NF EN ISO 22282-3.

II.3.2.4.c - Anomalies observées en cours d'essai

Toute anomalie observée en cours d'essai devra être immédiatement signalée au géotechnicien.

II.3.2.5 - Feuille d'essai

Tous les renseignements concernant l'essai seront consignés sur une feuille d'essai conforme à celle demandée dans la norme et tenus sur le chantier à la disposition du maître d'ouvrage. Toutes les cotes y figurant devront être rapportées à un point de référence fixe.

Tous les renseignements se rapportant aux conditions dans lesquelles aura été effectué l'essai seront consignés sur la feuille d'essai, notamment :

- la désignation du chantier et le nom,
- la date d'exécution de l'essai,
- le numéro d'ordre de l'essai dans le forage correspondant,
- l'identification du forage, son inclinaison par rapport à la verticale descendante et son repérage en plan,
- les distances entre l'origine du forage et les points suivants :
- le début et la fin de la poche d'essai,
- le fond du forage au moment de l'essai,
- le diamètre de l'outil de forage au niveau de la poche d'essai,
- la cote du niveau statique de la nappe,
- la cote du manomètre
- les caractéristiques des conduites utilisées entre le manomètre et les obturateurs : diamètre intérieur, longueur, nombre et dimensions des raccords éventuels,
- le type d'obturateurs utilisés, leur longueur et leur pression de blocage,
- la nature du terrain sur la longueur de la cavité,
- un croquis résumant le montage utilisé pour l'injection d'eau et indiquant avec précision l'emplacement de la prise de pression.

Le report des mesures faites se présentera :

- soit sous forme d'un tableau donnant les précisions, les durées, les lectures du compteur d'eau, les fuites d'eau repérées dans l'espace annulaire entre conduites et parois de forage,
- soit sous la forme de graphiques enregistrés avec indication des échelles, accompagnés de toutes remarques, notamment sur les fuites éventuelles des obturateurs.

II.3.2.6 - Présentation des résultats

Pour chaque essai, le titulaire du marché établira un procès-verbal d'essai qu'il remettra au maître d'ouvrage. Ce procès verbal reproduira, entre autres, les conditions d'essai.

II.3.2.6.a - Calcul des pressions vraies d'injection

Les calculs devront être conforme à la norme.

II.3.2.6.b - Tracé d'un diagramme

Après avoir fait ces corrections, on établira un diagramme représentatif en portant :

- en abscisses : les débits,
- en ordonnées : les pressions par rapport au niveau statique de la nappe.

Pour un chantier donné, il conviendra de mieux choisir une seule échelle pour les abscisses et une seule échelle pour les ordonnées, ou à la rigueur deux échelles si les résultats sont trop différents, de manière à faciliter la comparaison visuelle des résultats.

II.3.2.6.c - Représentation chiffrée

A partir du diagramme précédent, on évaluera le nombre « d'unités d'absorption d'eau » appelées « unités Lugeon ».

Une « unité Lugeon » représente conventionnement l'absorption de 1 litre par minute et par mètre linéaire de longueur de la cavité sous une pression de 1 MPa.

Nota : L'essai type Lugeon est le test d'absorption d'eau spécifique du rocher, c'est-à-dire d'un matériau fissuré et par là même hétérogène. En conséquence, il n'y a généralement pas de relation directe avec la perméabilité moyenne du terrain. Dans certain cas, on pourra admettre la relation très approximative suivante : 1 unité Lugeon (UL) # 10^{-7}m/s.

Lorsque l'essai est limité à des valeurs inférieures à 1 MPa, la détermination des « unités Lugeon » se fera alors par extrapolation du diagramme de l'essai.

Cette extrapolation est très approximative car le diagramme représentatif est rarement linéaire ; c'est pourquoi la représentation chiffrée en « unité Lugeon », commode pour comparer plusieurs essais entre eux, ne pourra jamais se substituer entièrement au diagramme de l'essai qui doit toujours accompagner la représentation chiffrée en « unités Lugeon ».

II.3.3 - Essais d'eau type Lefranc

II.3.3.1 - Définition

L'essai type Lefranc-Mandel (norme NF EN ISO 22282-2) consiste à modifier le niveau d'eau dans le forage, puis à mesurer :

- soit le débit en maintenant le niveau d'eau constant,
- soit la variation naturelle du rabattement d'eau en fonction du temps.

La perméabilité se déduit du rabattement spécifique moyen.

Elle est interprétée en régime permanent.

En terrain peu cohérent, il faut éviter l'éboulement des parois du forage par des dispositifs appropriés.

Cet essai sera utilisé pour mesurer, sous faible gradient, en régime permanent, la perméabilité des terrains peu cohérents.

II.3.3.2 - Caractéristiques de l'appareillage

L'appareillage comprend :

Un système d'isolement de la cavité d'essai :

Ce système utilise généralement les tubages qui accompagnent le matériel de perforation. Il faut toutefois vérifier la bonne étanchéité de ces joints et parfaire leur étanchéité en garnissant les filtrages d'un produit approprié lors de chaque utilisation.

L'étanchéité devra être d'autant meilleure que la perméabilité à mesurer sera faible.

Un système pour faire varier rapidement le niveau d'eau :

La variation rapide du niveau d'eau en début d'essai est normalement une baisse de niveau.

Cette baisse peut obtenue, suivant la perméabilité du terrain et la profondeur de la nappe, au moyen de divers procédés, par exemple :

- en utilisant une pompe dont l'aspiration est munie d'un clapet anti retour efficace,

- en utilisant un récipient de dimensions inférieures au diamètre intérieur du tubage, type curette notamment,

- en soulevant rapidement un corps qui avait été auparavant immergé dans l'eau du forage.

Un système de mesure :

Le système de mesure pourra être ou non enregistreur.

Un système non enregistreur est constitué par :

- une sonde de détection du niveau d'eau au millimètre près, avec câble gradué à intervalles réguliers,

- une réglette graduée en millimètres permettant d'extrapoler entre deux graduations de la sonde, la précision de la lecture étant donc de l'ordre du millimètre,

- un chronomètre permettant des mesures à la seconde près.

En cas d'utilisation d'un système enregistreur, la précision requise pour le repérage du niveau d'eau doit être meilleure que 2 mm. La mesure du temps doit pouvoir être lue à la seconde près.

II.3.3.3 - Préparation d'un essai

La préparation de la cavité d'essai aura deux objectifs distincts :

- isoler par un tubage étanche la partie du forage qui ne doit pas être testés lors de l'essai,

- assurer une bonne stabilité des paroi du forage sur la hauteur testés, et en particulier empêcher l'entrée de sable dans le tubage.

II.3.3.3.a - Cas où un tubage est enfoncé à force au fur et à mesure du forage

La base du forage sera équipée d'une trousse coupante de diamètre légèrement supérieur au diamètre extérieur du tubage dans sa partie courante, afin que le terrain se trouve comprimé au niveau de la base du tubage, assurant ainsi la meilleure étanchéité possible entre le tubage et le terrain.

Pour confectionner une cavité de quelques décimètres de longueur :

- la base du tubage sera enfoncée jusqu'au niveau prévu pour l'extrémité inférieure de la cavité, le forage n'étant pas prolongé au-delà,

- l'intérieur du tubage sera nettoyé avec les outils normaux de perforation, le tubage étant maintenu plein d'eau,

- on mettra alors en place, au fond du tubage, un volume de gravier calibré 5/10 très perméable suffisant pour constituer la cavité d'essai définie ci-après,

- on remontera le tubage de quelques décimètres, en prenant soin que le sabot du tubage ne remonte pas au-dessus du gravier.

On constituera ainsi une cavité de dimensions connues sous le sabot du tubage.

Pour confectionner une poche de plus grande longueur :

- la base du tubage sera enfoncée jusqu'au niveau prévu pour l'extrémité inférieure de la cavité d'essai, le forage n'étant pas prolongé au-delà,

- l'intérieur du tubage sera nettoyé avec les outils normaux de perforation, le tubage étant maintenu plein d'eau,

- on mettra alors en place, au fond du tubage, un tube crépiné, fermé à sa base, plus long que la « poche » d'essai, entouré d'une toile filtre, ou bien de 2 toiles filtres superposées (une toile à mailles fines sur une toile à mailles plus grosses), si le sable à filtre est très fin,

- on remontera le tubage d'une quantité égale à la longueur de la cavité.

La longueur du tube crépiné sera nettement supérieure à la longueur de la cavité de façon que son extrémité supérieure reste toujours au-dessus d'une infiltration éventuelle de sable fin dans l'espace annulaire tube crépiné-tubage.

Si la nature du terrain est telle que ne puissent se produire sur la hauteur de la poche d'essai ni éboulement des parois du forage, ni remontée de sable, on pourra réaliser une poche d'essai en nettoyant le forage immédiatement au-dessous du sabot du tubage avec les outils normaux de perforation. On devra vérifier, après essais, que la poche d'essai a gardé sa profondeur initiale.

II.3.3.3.b - Choix de la méthode d'essai utilisée

Il existe deux méthodes d'essais, A et B, par extraction d'eau du forage et deux méthodes d'essai, C et D, par ajout d'eau dans le forage.

Les méthodes C et D par ajout d'eau dans le forage ne pourront être utilisées qu'avec l'accord du maître d'ouvrage ou de ses représentants sur proposition du titulaire du marché, car très souvent l'ajout d'eau provoque un colmatage par suite :

- soit du dépôt des sédiments de perforation qui se trouvent encore dans le forage au moment de l'essai,

- soit du dépôt des traces même imperceptibles d'argile qui se trouvent en suspension dans l'eau utilisée,

- soit d'un dégagement de gaz dissous au contact des sables fins ou moyens.

II.3.3.4 - Déroulement d'un essai

II.3.3.4.a - Méthode A par extraction d'eau du forage

Cette méthode sera employée pour le détermination des sols dont les perméabilités sont inférieures à 10^{-4}m/s.

La méthode A par extraction d'eau de forage consistera :

a) à installer le système destiné à faire varier rapidement le niveau d'eau,

b) à noter le niveau statique apparent,

c) à provoquer l'abaissement rapide du niveau de l'eau dans le forage,

d) à provoquer la remontée du niveau d'eau en fonction du temps :

- soit naturellement avec une précision de l'ordre du millimètre pour les profondeurs et de la seconde pour les temps. En début de remontée, le nombre des mesures sera le plus grand possible compatible avec le temps nécessaire à la lecture ; les mesures pourront ensuite être espacées progressivement lorsque la vitesse de remontée diminuera, à condition que l'intervalle entre deux mesures ne dépassent pas 5 centimètres et que la fréquence de mesure reste d'au moins une toutes les minutes. Les mesures seront arrêtées lorsque le niveau d'eau sera stabilisé.

  La stabilisation du niveau d'eau sera atteinte lorsque la vitesse de remontée de l'eau dans le forage sera inférieure au 1/20ème de celles mesurées au cours du début de la remontée en prenant le soins d'éliminter les premiers points de mesure s'ils sont aberrants.

- soit avec un système de mesure enregistreur,

- recommencer une deuxième fois les opérations c/ et d/, si la remontée est rapide (inférieure à 15 mn.).

Si la perméabilité est très faible, on procèdera de la manière suivante :

- on ne mesurera la remontée que pendant 10 mn,

- on versera dans le forage une quantité d'eau propre, calculée pour faire remonter brutalement le niveau de la moitié de ce qui manquera pour retrouver le niveau statique;

- on mesurera la remontée durant 10 mn,

- on versera dans le forage une seconde quantité d'eau propre, calculée de façon à atteindre le niveau statique à quelques décimètres près,

- on mesurera la remontée durant 10 mn.

II.3.3.4.b - Méthode B par pompages à plusieurs débits

Cette méthode sera employée pour les sols dont la perméabilité est supérieure à 10^{-4}m/s.

La méthode B par pompages à plusieurs débits consiste :

a) à installer une pompe présentant une caractéristique « hauteur manométrique-débit » suffisante, munie d'un dispositif de dégagement (bipasse) et d'une vanne, de façon que l'on puisse régler facilement le débit, avec une précision de 3 %, et une colonne de tube 1 » et 3 » destinée au libre passage de la sonde de détection de niveau,

b) à noter le niveau statique apparent,

c) à pomper un débit faible Q1' de façon que l'abaissement du niveau de l'eau dans le forage ne dépasse pas quelques décimètres, jusqu'à stabilisation du débit et du niveau et à noter débit et niveau, puis à recommencer pour des débits d'environ 2.Q1', 3.Q1', etc... , sans que l'abaissement final du niveau de l'eau dépasse 2 mètres,

d) à noter le niveau statique apparent après l'arrêt des pompages.

II.3.3.4.c - Méthode C par ajout d'eau dans le forage

Cette méthode pourra être employée avec l'accord du maître d'ouvrage pour des sols aux perméabilités inférieures à 10^{-4} m/s pour autant que ne se produise pas de colmatage.

La méthode C par ajout d'eau dans le forage consistera :

a) à noter le niveau statique apparent,

b) à verser rapidement de l'eau très claire dans le forage,

c) à mesurer la baisse du niveau en fonction du temps :

- soit manuellement avec une précision de l'ordre de 2 mm pour les profondeurs et de la seconde pour les temps. En début de descente, le nombre de mesures est le plus grand possible qui soit compatible avec le temps nécessaire à la lecture ; les mesures pourront ensuite être espacées progressivement lorsque la vitesse de descente diminuera, à condition que l'intervalle entre deux mesures de profondeurs ne dépasse pas 5 cm et que la fréquence des mesures reste d'au moins une toutes les minutes. Les mesures seront arrêtées lorsque le niveau d'eau sera stabilisé.

  On considèrera que la stabilisation du niveau d'eau est atteinte lorsque la vitesse de remontée de l'eau dans le forage est inférieure au 1/20ème de celles mesurées au cours du début de la remontée en prenant soin d'éliminer les premiers points de mesure s'ils sont aberrants.

- soit avec un système de mesure enregistreur,

- à recommencer une deuxième fois les opérations b/ et c/ afin de vérifier s'il n'y a pas eu colmatage ou décolmatage, auquel cas il y a lieu de recommencer les opérations b/ et c/ une troisième fois, puis éventuellement une quatrième fois.

L'appréciation du colmatage ou du décolmatage pourra se faire de différentes façons :

* en cas d'enregistrement de la baisse du niveau H en fonction du temps, on superposera les deux graphiques en faisant coïncider les échelles des niveaux H, et en décalant les échelles de temps, de façon que les deux courbes se coupent. Il suffira alors de tracer de nouveaux axes par le point commun pour pouvoir comparer les deux courbes, dont les ordonnées par rapport aux nouveaux axes ne devront pas différer de plus de 20 % s'il n'y a pas colmatage,

* en cas de mesures manuelles, si on a la possibilité de tracer immédiatement dle diagramme, on pourra admettre qu'il n'y a pas colmatage si les points représentatifs de chaque essai sont sensiblement alignés (à l'exception éventuellement des tous premiers), et si les pentes des alignements des deux essais diffèrent de moins de 20 %,

* en cas de mesures manuelles, si on n'a pas la possibilité de tracer immédiatement de diagramme, il faudra reporter les points de mesure sur un diagramme « profondeurs en fonction du temps ».

II.3.3.5 - Feuille d'essai

Tous les renseignements concernant l'essai seront consignés sur une feuille d'essai.

Toutes les cotes y figurant doivent être rapportées à un point de référence fixe.

Sur cette feuille d'essai qui sera tenue à la disposition du maître d'ouvrage devront figurer les éléments suivants :

II.3.3.5.a - Le rappel des conditions de l'essai

Tous les renseignements se rapportant aux conditions dans lesquelles aura été effectué l'essai seront consignés sur la feuille d'essai, notamment :

- la désignation du chantier ;

- la date d'exécution de l'essai ;

- le numéro d'ordre de l'essai dans le forage correspondant ;

- l'identification du forage, son inclinaison par rapport à la verticale descendante et son repérage en plan ;

- les distances entre l'origine du forage et les points suivants :

- le début et la fin de la poche d'essai,

- le fond du forage au moment de l'essai;

- le diamètre de l'outil de forage au niveau de la poche d'essai ;

- le diamètre intérieur du tubage utilisé ;

- la méthode de réalisation de l'étanchéité forage-tubage au niveau du sabot ;

- la liste de tous les équipements descendus dans le forage avec leurs cotes principales : diamètres extérieurs de la pompe ou du flexible d'aspiration, avec indication des profondeurs des changements de diamètres extérieurs et intérieurs de la colonne de tubes servant à descendre le détecteur de niveau, etc... ;

- la cote du repère par rapport auquel les profondeurs d'eau sont mesurées ;

- la cote du niveau statique apparent de la nappe au début de l'essai ;

- la cote du niveau d'eau dit stabilité en fin d'essai ;

- la nature du terrain au niveau moyen de la cavité d'essai ;

- un croquis résumant le montage utilisé pour l'essai

II.3.3.5.b - Le report des mesures faites

Ces mesures pourront se présenter :

- soit sous forme d'un tableau de chiffres, donnant les profondeurs d'eau en fonction :

- du temps (méthodes d'essai A et C);

- du débit stabilité (méthodes d'essai B et C),

- soit sous forme de graphiques enregistrés avec indication des échelles, accompagnés de toutes remarques utiles ;

- soit sous forme de « tops » sur une bande de papier.

II.3.3.6 - Présentation des résultats

Pour chaque essai, le titulaire du marché établira un procès-verbal d'essai qu'il remettra au Maître d'ouvrage.

II.3.4 - Essais de transmissivité

II.3.4.1 - Définition

Les essais de transmissivité consistent en un pompage, à débit ou rabattement constant, suivi d'une remontée de niveau dont la durée doit être au moins aussi grande que celle du pompage.

On étudie la dérivée du rabattement spécifique en fonction du temps.

II.3.4.2 - Appareillage

La cavité d'essai pourra être réalisée comme pour un essai Lefranc-Mandel, ou être constituée par la prise d'alimentation d'un piézomètre ou d'un puits filtrant.

L'essai pourra être fait par pompage ou remplissage. Sauf accord du maître d'ouvrage, le matériel installé devra permettre de pomper ou d'injecter un débit constant à 10 % près.

II.3.4.3 - Appareils de mesure

Les niveau d'eau devront être mesurés à ± 2 mm près.

La mesure des débits devra être exacte à 5 % près. La fréquence des mesures sera telle que le volume total pompé ou injecté sera connu à 10 % près.

Les temps seront mesurés à la seconde près.

II.3.4.4 - Préparation d'un essai

Le nettoyage de la cavité ou du puits d'essai sera fait par pompage jusqu'à clarification complète de l'eau extraite.

Le volume pompé devra être au moins égal au volume d'eau contenu dans le forage.

La densité des eaux pompées devra être mesurée avec un précision de 0,1 %.

La remontée consécutive du niveau d'eau sera observée pendant une durée au moins double de celle du pompage de nettoyage.

II.3.4.5 - Premier essai

II.3.4.5.a -

La durée du pompage ou du remplissage devra satisfaire à la relation suivante :

$t_p=V_p/Q_f$

t_p est le retard dû au volume propre du puits,

V_p est le volume d'eau contenu dans le forage entre le niveau initial et le niveau final (sans oublier l'eau contenue dans le filtre),

Q_f est le débit moyen pendant le dernier tiers de la durée de pompage ou de remplissage.

Être au moins égale à 5 fois la durée écoulée entre la fin du pompage ou du remplissage et la première mesure significative.

Le sondeur devra veiller que les niveaux d'eau ne soient pas perturbés par :

- la remontée de bulles d'air après un pompage par émulsion ;
- la chute des sédiments si l'eau pompée est trouble ;
- des variations de température ou de salinité ;
- l'eau ruisselant le long du tubage après l'arrêt d'un remplissage ;

qui rendraient les mesures inopérantes car non significatives.

II.3.4.5.b -

Les niveaux d'eau après l'arrêt du pompage ou du remplissage seront suivis pendant une durée au moins double de celle du pompage ou du remplissage

II.3.4.6 - Second essai

La durée du pompage ou du remplissage sera au moins le double de la durée correspondante choisie pour le premier essai.

Les niveaux d'eau après l'arrêt du pompage ou du remplissage seront suivis pendant une durée au moins égale à celle du pompage ou du remplissage correspondant à cet essai.

II.3.4.7 - Feuille d'essais

Tous les renseignements se rapportant aux conditions dans lesquelles auront été effectués les essais seront consignés sur la feuille d'essais, notamment :

. la désignation du chantier ;

. la date d'exécution de l'essai ;

. le numéro d'ordre de l'essai dans le forage correspondant ;

. l'identification du forage, son inclinaison par rapport à la verticale descendante et son repérage en plan ;

. les distances entre l'origine du forage et les points suivants :

. le début et la fin de la cavité d'essai,

. le fond du forage au moment de l'essai,

. le diamètre de l'outil de forage au niveau de la cavité d'essai ;

. le diamètre intérieur du tubage utilisé ;

. la méthode de réalisation de l'étanchéité éventuellement forage-tubage au niveau du sabot ;

. la liste de tous les équipements descendus dans le forage avec leurs cotes principales : diamètres extérieurs de la pompe ou du flexible d'aspiration, avec indication des profondeurs des changements de diamètres extérieurs et intérieurs de la colonne de tubes servant à descendre le détecteur de niveau, etc... ;

. la cote du repère par rapport auquel les profondeurs d'eau sont mesurées ;

. la cote du niveau statique apparent de la nappe au début de l'essai ;

. la cote du niveau d'eau dit stabilité en fin d'essai ;

. la nature du terrain au niveau moyen de la cavité d'essai ;

. un croquis résumant le montage utilisé pour l'essai ;

. la densité résumant le montage utilisé pour les essais ;

. la turbidité des eaux en fin de pompage ;

. la présence de bulles d'air après pompage par émulsion ;

. les retombées d'eau le long des tubages après remplissage ;

. les variations naturelles de la nappe.

Le report des mesures faites se présentera sous la forme d'un tableau donnant les profondeurs d'eau en fonction du temps ainsi que les valeurs des débits de pompage ou de remplissage en cours d'essais.

Pour chaque essai, le titulaire du marché établira un procès-verbal d'essai qu'il remettra au Maître d'ouvrage. Ce procès-verbal reproduira, entre autres, les conditions définies dans cet article.

II.3.5 - Essais de pompage

Ces essais sont destinés à estimer les paramètres hydrodynamiques des aquifères pour les ouvrages touchant ces aquifères ou pour ceux dont l'incidence sur la nappe est de nature à entraîner des conséquences sur l'environnement.

Ces essais sont réalisés dans un sol aquifère dont la perméabilité est telle que le pompage provoque, pour une durée de trois à huit heures, un rabattement de la surface piézométrique.

Son domaine d'application est :

- les sols grenus,
- les sols fins ou rocheux traversés par un réseau de discontinuités.

Ces essais permettent de déterminer :

- la transmissivité T de la couche aquifère,
- le facteur d'emmagasinement S,
- le rayon d'action R_a du pompage.

Pour la réalisation et interprétation de ces essais, le titulaire du marché devra se conformer à la norme NF EN ISO 22282-4 et proposer au maître d'ouvrage, selon le problème posé, le dispositif particulier à mettre en œuvre.

III - ESSAIS EN LABORATOIRE

III.1 - Normes pour essais en laboratoire

Les références normatives des essais prévus au bordereau sont présentées pour chaque essai dans le tableau suivant :

ESSAIS	NORMES
Préparation et description de l'échantillon	NF 31-110
Teneur en eau	NF P94-050
Teneur en carbonate	NF EN ISO 10693
Teneur en matières organiques méthode par calcination	NF P94-047
Densité sèche	NF EN ISO 17892-2
Poids spécifique des grains	NF EN ISO 17892-3
Essai au bleu de Méthylène	NF P94-068/ P18-622-9
Limites d'Atterberg	NF EN ISO 17892-12

Essai de propreté de sable	P 18-622-8 / NF EN 933-8
Teneur en liant hydraulique	-
Analyse granulométrique	NF EN ISO 17892-4
Analyse granulométrique par sédimentation	NF P94-057 / NF EN ISO 17892-4
Optimum Proctor Normal (5 points)	NF P94-093
Optimum Proctor Normal et poinçonnement CBR (3 moules)	NF P94-078/NF P94-093
Indice Portant Immédiat	P94-078
Essai triaxial non consolidé non drainé	NF P94-070/ NF EN ISO 17892-9
Essai triaxial consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle	NF P94-070/ NF EN ISO 17892-9
Cisaillement consolidé non drainé	NF P94-071-1
Essai oedométrique (avec Cv entre 2 et 4 bars)	XP P 94-090 / NF EN ISO 17892-5
Perméabilité mesurée au perméamètre	XP P94-512-11 / ISO 17892-11
Essai de dégradabilité	NF P 94067 / NF EN 17542-1
Essai de fragmentabilité	NF P 94066 / NF EN 17542-2
Essai MDE	NF EN 1097-1
Essai de Los Angeles	NF EN 1097-2
Essai de recherche de fibre d’amiante	NF X 43 050
Essai au phicomètre	NFP 94-120 / NF EN ISO 22476-16
Aptitude au traitement mixte	NF P94-100
Étude de niveau 1	GTS
Analyse d’eau	-
Essai de résistance à la compression simple sur roche	NF P 94-420
Essai de résistance à la traction indirecte sur roche - Essai Brésilien	NF P 94-422
Essai de cisaillement sur plan de discontinuité	XP P94-424
Essai d’abrasivité Cerchar	NF P94-430-1

Il n'existe pas de norme pour les analyses d'eau. Cette analyse est effectuée pour la recherche de la composition chimique de l'eau de la nappe par analyse des ions majeurs (agressivité des eaux vis-à-vis des bétons et matériaux de construction).

Elle comprend :

- le dosage des chlorures, des sulfates, des carbonate, des nitrates et des cations (sodium, calcium, potassium, magnésium),

- la mesure du pH, du titre alcalimétrique (T.A.C), du titre hydrotimétrique (T.H), de la résistivité et de la température.

III.2 - Quantités de matériaux

Désignation	Quantité de matériaux à prévoir
Essais d'identification :	
- sur sols courants (diamètre max. < 20 mm)	3,0 kg
- identification complète	
(W, gd, gs, IP, granulo. + sédimento.)	
-· sur sols très graveleux et cailloux (diamètre max. > 20 mm)	
- granulométrie	10 à 30 kg
Essais de compactage	
- Ø max. < 5 mm	15 kg
proctor en 5 points dans le moule Proctor	
(Ø = 101,5 mm)	
- Ø max. > 5 mm : on tamise à 20 mm	
proctor en 5 points dans le moule C.B.R.	35 à 40 kg
(Ø = 152 mm)(< 20 mm)	
· essai C.B.R. 3 points (< 20 mm)	20 kg
Essais mécaniques sur sols	
Deux exemples sur carottes Ø 70 à 80 mm	
- programme complet	
. identification + RC + oedomètre + triaxial et échantillon de cisaillement	longueur 70 cm
(matériaux homogène)	
(carottes Ø 90 mm, longueur 50 cm suffisante)	
- programme restreint	
. identification + triaxial (matériaux homogène)	longueur 50 cm

IV - GÉOPHYSIQUE

Pour certains cas de reconnaissance, explicités par le domaine d'application indiqué ci-après, il sera fait appel à la méthode géophysique par radar. Cette méthode sera appliquée conformément au "code de bonne pratique de la géophysique", de l'Association pour la qualité en Géophysique Appliquée (AGAP) de mars 1992, première édition.

IV.1 - Radar géologique

Domaine d'application : Reconnaissance des sols et structures de la tranche 0 à 15 mètres de profondeur (fonction de la teneur en eau et/ou d'argile du milieu encaissant) ; localisation et détection de tout événement provoquant un changement de comportement diélectrique des matériaux, recherche de ferraillage, de vides, poches d'eau, fractures, substratum, évènements locaux tels que tuyaux, fûts…

Principe : émission d'impulsions électromagnétiques brèves qui se réfléchissent partiellement sur les interfaces entre milieux de constantes diélectriques différentes. Les échos sont enregistrés. Le dispositif est constitué d'antennes émettrice et réceptrice. Les fréquences utilisées vont de quelques dizaines de MHz à quelques Ghz.

Résultats fournis :

Rapport d'analyse et d'interprétation incluant en fonction des objectifs assignés à l'étude :

- un plan de récolement pour les recherches de réseaux,
- des planches d'analyse et d'interprétation pour les pré-diagnostics d'état d'ouvrage,
- des profils en long interprétés et/ou plans dans le cadre des études structurales et géologiques,
- les fichiers de mesure restitués à un format exploitable,
- l'indication du pas de mesure, la distance entre profils,
- les traitements apportés

Pour les mesures, le titulaire devra fournir un repérage DGPS ou un couplage avec un codeur de distance.

IV.2 - Sismique réfraction

Domaines d'application : Reconnaissance d'aquifère, de substratum rocheux, de zones fracturées ou karstiques (vides), de terrains rippables.

Principe : Mesure des temps de trajets, dans les matériaux, d'une impulsion mécanique de compression entre une source sismique située en surface et des récepteurs (géophones) également placés en surface pour des distances croissantes entre l'impulsion et les récepteurs. Les impulsions seront constituées de 5 tirs dont 2 lointains. L'entreprise devra obtenir toutes les autorisations nécessaires avant utilisation d'explosif.

Résultats fournis :

Rapport d'analyse et d'interprétation incluant en fonction des objectifs assignés à l'étude :

- description pour chaque profil des couches de sous-sol individualisées par leur épaisseur et leur vitesse d'ondes mécaniques de compression longitudinale (ondes P.),
- les fichiers de mesure restitués à un format exploitable,
- l'indication du pas de mesure, la distance entre profils
- les traitements apportés.

Pour les mesures, le titulaire devra fournir un repérage DGPS ou un couplage avec un codeur de distance.

IV.3 - Mesures électriques (tomographie de résistivité électrique TRE)

Domaine d'application : Reconnaissance du sous-sol lorsqu'il existe des contrastes ou variations de résistivité entre les couches de terrain.

Principe :

- Sondage : analyse de la résistivité apparente du sous-sol mesurée par un quadripôle (AB, MN), pour une succession de valeurs d'écartement du dispositif.

- Panneau : analyse de la résistivité apparente du sous-sol mesuré par un panneau constitué par un nombre important d'électrodes reliées entre elles.

Résultats fournis :

description des couches du sous-sol à partir de la distribution des résistivités à la verticale d'un point donné,

les fichiers de mesure restitués à un format exploitable,

l'indication du pas de mesure, la distance entre profils

les traitements apportés.

Pour les mesures, le titulaire devra fournir un repérage DGPS ou un couplage avec un codeur de distance.

V - PRESTATIONS D'ÉTUDES

D'une manière générale, il sera fait référence aux Eurocodes 7 « calcul géotechnique » pour le calcul des ouvrages et des études de tracé ainsi que des référentiels cités au § V.3

V.1 - Missions de type G1 : étude géotechnique préalable

V.1.1 - Généralités sur le rapport des études de type G1

Le rapport à produire définira dans une première partie le cadre géologique, géotechnique et hydrogéologique du site, où l'opération est envisagée et donnera les objectifs et les justifications de la reconnaissance des sols qui a été réalisée.

Cette partie pourra être établie à partir de la consultation :

- des organismes officiels tels le Service des Mines, le BRGM, les sites internet d'informations géotechniques,

- des documents tels les cartes géologiques, de carrières, et rapports géotechniques, issus des archives du Bureau d'Études, d'ouvrages réalisés, susceptibles de fournir des informations sur le site, son environnement et sur le mode de fondation ou de réalisation.

Le rapport comportera ensuite l'ensemble des résultats de la reconnaissance sous la forme des cahiers suivants :

- plan d'implantation des sondages avec indication du nivellement z,

- coupes et profils géologiques et géotechniques corrélant les résultats des sondages, des essais et mesures et définissant la position et les dimensions des divers éléments et formation reconnus,

- dossier photographique de toutes les caisses de carottes le cas échéant,

- dossier photographique de la visite sur site,

- essais de laboratoire donnant toutes les courbes et résultats d'essai avec les tableaux récapitulatifs des valeurs mesurées par zone et par formation géologique,

- essais et mesures in-situ.

Il comportera par ailleurs autant que de besoin les parties suivantes :

- l'étude des différents régimes de circulation des nappes d'eau,

- l'étude de la sensibilité au gel des sols de surface le cas échéant,

- l'étude de l'agressivité des sols et des eaux à l'égard de la nature des matériaux prévus pour l'ouvrage projeté,

- l'étude des problèmes et sujétions du fait de futurs travaux de terrassement en déblais ou en remblais,

- des exemples de pré-dimensionnement de quelques ouvrages géotechniques type envisagés (notamment : soutènements, fondations, amélioration de sols),

Il comprendra en outre, une note de synthèse définissant :

- le mode de réalisation des terrassements et du réemploi des matériaux le cas échéant,

- le mode de fondation ou l'horizon géologique, le mieux adapté pour l'ouvrage projeté (niveaux et types des fondations, taux de travail admissibles des sols, calcul des tassements prévisibles),

- les dispositions constructives appropriées,

- les précautions à prendre en cours de travaux,

Enfin, une conclusion générale mettra en évidence les problèmes essentiels liés à la nature des terrains et aux conditions hydrogéologiques reconnus en vue de la réalisation de l'ouvrage projeté.

V.1.2 - Étude géotechnique préliminaire de site (G1 ES)

Conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013, la mission du titulaire du marché comporte obligatoirement une enquête documentaire visant à établir les connaissances géologiques et géotechniques disponibles sur le site (cartes géologiques, photos, informations orales auprès de témoins éventuels, archives…) ainsi qu'une visite du site et des alentours.

Cette mission permet d'effectuer un premier classement de l'ouvrage projeté dans une catégorie géotechnique au sens de l'Eurocode 7 partie 1 et de son annexe nationale NF P 94-251-2.

Si les premiers résultats de l'enquête documentaire sont insuffisants pour caractériser le modèle géologique préliminaire du site, cette mission doit aussi comporter la définition, la réalisation le suivi et l'interprétation d'investigations géotechniques.

La mission doit permettre de réduire autant que possible les risques géologiques à ce stade qui reste préliminaire.

La mission comporte la fourniture d'un rapport avec modèle géologique préliminaire, certains principes généraux d'adaptation du projet au site et une première identification des risques.

Le rapport sera fourni au format numérique pdf. Les plans (ex : plan d'implantation des sondages, profils en long géotechniques, etc.) seront fournis au format pdf et au format dwg/dxf.

V.1.3 - Étude géotechnique phase Principes Généraux de Construction (G1 PGC)

Conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013, la mission du titulaire du marché pourra comporter une phase Principes Généraux de Construction (PGC).

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

La mission définit si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réalise ou en assure le suivi technique, et en exploite les résultats.

La mission comporte la fourniture d'un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'études (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, amélioration de sols)).

Le rapport sera fourni au format numérique pdf. Les plans (ex : plan d'implantation des sondages, profils en long géotechniques, etc.) seront fournis au format pdf et au format dwg/dxf..

V.2 - <u>Mission de type G2 : étude géotechnique de conception</u>

V.2.1 - Étude géotechnique d'avant-projet (G2 AVP)

Conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013, la mission du titulaire du marché doit permettre la mise au point de l'avant projet de l'ouvrage en définissant les hypothèses géotechniques à prendre en compte et en identifiant les principes généraux de construction (terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains…) ainsi que les incidences sur les avoisinants et existants.

Cette mission permet de compléter le modèle géologique. Elle inclut la définition, le suivi et l'interprétation d'investigations géotechniques complémentaires et indispensables pour atteindre les objectifs qui lui sont fixés.

La mission comporte la fourniture d'un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, certains principes généraux de construction.

Le rapport sera fourni au format numérique pdf. Les plans (ex : plan d'implantation des sondages, profils en long géotechniques, etc.) seront fournis au format pdf et au format dwg/dxf.

V.2.2 - Étude géotechnique d'avant-projet (G2 PRO)

Conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013, l'objet de cette mission est d'établir le projet des ouvrages géotechniques.

Cette mission comporte la phase projet :

- définir un programme d'investigations géotechniques spécifique ;

- fournir les notes techniques, les méthodes d'exécution, certaines notes de calcul de dimensionnement ;

- fournir une approche des quantités, délais et coûts d'exécution.

La phase Assistance aux Contrats de Travaux (ACT) pour la mission G2 n'est pas demandée au titulaire.

La mission comporte la fourniture des rapports intermédiaires et d'un dossier récapitulatif de la mission qui sera remis au format numérique pdf. Les plans (ex : plan d'implantation des sondages, profils en long géotechniques, etc.) seront fournis au format pdf et au format dwg/dxf.

V.3 - Référentiels

Les référentiels à utiliser par le titulaire sont les suivants :

– Eurocodes 7 et 8, NFP 94-262 et 94-263,

– GTR, GTS Guide de conception des terrassements, guide drainage, guide de reconnaissance tracé routiers et autoroutes,

V.4 - Missions de type G4 : supervision géotechnique d'exécution

Conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013, l'objet de cette mission est de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution G3 afin de contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. 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 et est confiée avant démarrage de la mission G3.

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, les notes de calculs et de dimensionnements, la définition et plans des ouvrages géotechniques, les méthodes d'exécution et les phasages, des adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle et programme d'investigations complémentaire, du programme d'auscultation et des valeurs seuils et procédures de suivi, en cas de méthode observationnelle proposer des dispositions constructives complémentaires si une de valeurs seuils est atteintes.

- 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).

Cette phase de supervision du suivi géotechnique d'exécution a pour objectif, par une intervention périodique et discontinue sur le chantier, de vérifier que le suivi géotechnique d'exécution, continu et à la charge de l'entrepreneur (sauf dispositions contractuelles contraire) permet de confirmer pendant l'avancement des travaux le modèle géologique et le contexte géotechnique retenus ainsi que la similitude entre le comportement prévu et le comportement observé de l'ouvrage et des ouvrages avoisinants. Elle contribue ainsi à la maîtrise de tous risques géotechniques. Les modalités d'intervention de l'ingénierie géotechnique doivent être définies ou proposées et validées par le maître d'ouvrage (ou son mandataire) avant le démarrage de la mission G3.

Le bureau d'études en charge de cette supervision donne un avis sur :

- le contexte géotechnique observé dans le cadre d'investigations complémentaires et/ou lors des travaux de réalisation des ouvrages géotechniques, ce contexte observé étant synthétisé dans le cadre du suivi géotechnique d'exécution .
- le comportement de l'ouvrage et des avoisinants concernés tels qu'observés dans le cadre du suivi géotechnique d'exécution
- toute adaptation ou optimisation (solutions variantes ou adaptations aux conditions réelles de chantier) que l'entreprise serait amenée à proposer si le comportement observé ne serait pas conforme aux prévisions faites au stade de l'étude géotechnique d'exécution ;
- Utilité et définition d'une éventuelle campagne d'investigation complémentaire proposée par l'entrepreneur dans le cadre du suivi géotechnique d'exécution .
- l'opportunité d'une mission de diagnostic géotechnique (mission G5) dans le cas de survenance d'un risque non identifié ;
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE (Dossier géotechnique de fin de travaux à intégrer au dossier de suivi des ouvrages exécutés) et sur les documents fournis pour le DIUO (recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques exécutés à incorporer au dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage).

A noter qu' il est souvent recommandé de confier cette mission G4 au bureau d'études qui a réalisé la mission G2 pour une efficacité optimum, des exceptions à cette recommandation pourront avoir lieu notamment si l'entrepreneur des travaux est lié au prestataire.

Le rapport sera fourni au format numérique pdf. Les plans (ex : plan d'implantation des sondages, profils en long géotechniques, etc.) seront fournis au format pdf et au format dwg/dxf.