

MARCHE PUBLIC DE SERVICES

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES COMMUN A TOUS LES LOTS (CCTP)

L'Acheteur

Ministères Transition écologique, Aménagement du Territoire, Transports, ville et logements

Représentant du pouvoir adjudicateur (RPA)

Le Préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Objet du marché

Assistance géotechnique relative aux opérations d'infrastructures routières sous maîtrise d'ouvrage de la DREAL PACA

Table des matières

ARTICLE 1 - Objet du marché.....	4
1.1 - Description du marché.....	4
1.2 - Objet.....	4
1.3 - Qualité, contrôle et prise en charge des matériaux et produits.....	6
ARTICLE 2 - Organisation des prestations.....	6
2.1 - Préparation de chantier.....	6
2.2 - Accès.....	7
2.3 - Signalisation.....	8
2.4 - Procédure d'exécution.....	9
2.5 - Amenées de matériel.....	10
2.6 - Mise en station.....	10
2.7 - Fourniture et approvisionnement d'eau.....	10
2.8 - Remise en état des lieux.....	10
2.9 - Travaux de nuit.....	10
ARTICLE 3 - Forages mécaniques.....	11
3.1 - Sondages carottés.....	11
3.2 - Sondages à la tarière continue.....	12
3.3 - Sondages à la pelle ou au tractopelle.....	12
3.4 - Forages destructifs.....	13
3.5 - Fourniture et pose de tube piézométrique ouvert.....	13
3.6 - Fourniture et pose d'un enregistreur piézométrique (tube ouvert).....	14
3.7 - Fourniture et pose de piézométrie fermé (CPI).....	14
3.8 - Fourniture et pose de tube RAN (Radio Activité Naturelle)	15
3.9 - Fourniture et pose d'inclinomètres.....	15
ARTICLE 4 - Essais in situ.....	16
4.1 - Sondage pressiométrique.....	16
4.2 - Sondages au pénétromètre dynamique.....	17
4.3 - Sondage au pénétromètre statique (CPT).....	17
4.4 - Sondage scissométrique.....	19
4.5 - Essais de perméabilité.....	19
4.6 - Relevés piézométriques.....	20
4.7 - Relevés géologiques.....	20
ARTICLE 5 - Géophysique.....	20
5.1 - Diagraphie de Radio Activité Naturelle.....	21
5.2 - Diagraphie microsismique.....	21
5.3 - Imagerie de paroi en terrain rocheux.....	21
5.4 - Radar géologique.....	21
5.5 - Microgravimétrie.....	22
5.6 - Essais Cross Hole.....	22
5.7 - Dispositif de sismique réfraction.....	23
5.8 - Dispositif de tomographie sismique.....	23
5.9 - Dispositif de MASW (onde de surface).....	23
5.10 - Tomographie de Résistivité Electrique (TRE).....	24
ARTICLE 6 - Essais en laboratoire.....	24
6.1 - Essais d'identification.....	24
6.2 - Essais de résistance en compression.....	25
6.3 - Les essais de compactage.....	25
6.4 - Les essais de résistance au cisaillement.....	25
6.5 - Les essais de compressibilité.....	25
6.6 - Les essais d'aptitude au traitement des sols.....	26
6.7 - Les essais de traitement des sols en couche de forme.....	26

ARTICLE 7 - Essais en travaux.....	26
7.1 - Essais non destructifs sur pieux.....	26
7.2 - Carottage de fondations.....	27
7.3 - Sondage destructifs de fondations profondes.....	27
7.4 - Caméra en forage de fondations.....	27
ARTICLE 8 - Missions d'ingénierie géotechnique.....	27
ARTICLE 9 - RECHERCHE D'AMIANTE DANS LES SOLS ET LES ROCHES.....	29
9.1 - « mission A0 » :.....	29
9.2 - « mission A1 » :.....	29
9.3 - « mission A2 » :.....	30

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES COMMUN A TOUS LES LOTS (CCTP)

Dans la suite du document, le titulaire du présent marché sera désigné par « le titulaire ».

ARTICLE 1 - OBJET DU MARCHÉ

1.1 - Description du marché

Les prestations, objet du présent marché concernent :

- l'exécution d'investigations géologiques, géotechniques et hydrogéologiques, sur la base d'un programme défini par le maître d'ouvrage, mission d'investigation géotechnique au sens de la norme NF P94-500 de novembre 2013 ;
- la réalisation des études d'ingénierie géotechnique suivantes, au sens de la norme NF P94-500 de novembre 2013 :
 - l'étude **G1** en phase études préliminaires ;
 - l'étude **G2** en phase AVP (Avant-Projet géotechnique), PRO et DCE/ACT.
 - La supervision géotechnique d'exécution **G4**, au sens de la norme NF P94-500 de novembre 2013, en phase d'étude d'exécution et en phase travaux.
 - Éventuellement l'étude **G5** de diagnostic géotechnique en phase projet ou sur un ouvrage existant, étant précisé que le maître d'ouvrage se réserve le droit de confier les études G5 à d'autres prestataires lorsque la mission G5 intervient dans la suite de missions antérieurement confiées à un autre prestataire ou lorsqu'elle est susceptible de conduire à l'engagement de la responsabilité du titulaire ou d'un prestataire lié au titulaire.
- Le repérage d'amiante environnementale sur les sols et roches en place conformément au décret n°2017-899 du 9 mai 2017 relatif au repérage de l'amiante avant certaines opérations.

Ces prestations porteront sur des opérations de développement et de modernisation du réseau routier dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par la DREAL PACA. La maîtrise d'œuvre de ces opérations est assurée par la DIRMed (Direction interdépartementale des routes Méditerranée) ou par des organismes privés.

1.2 - Objet

1.2.1 Investigations géotechniques

Les investigations géologiques, hydrogéologiques et géotechniques comprendront :

- des sondages et essais in situ :

- des sondages carottés avec prélèvement d'échantillons (diamètre > 90 mm) intacts non remaniés, sous gaine plastique (classe 1 ou 2) ;
- des sondages carottés avec prélèvement d'échantillons (diamètre > 90 mm) en caisse ;
- des sondages à la pelle ;
- des forages destructifs, avec mesure et enregistrement des paramètres de forage ;
- des sondages d'essais in situ :
 - des sondages pressiométriques avec réalisation des essais ;
 - des sondages au pénétromètre statique ;
 - des sondages au pénétromètre dynamique ;
 - des forages pour pose de piézomètres ou inclinomètres ;
 - la réalisation d'essais de perméabilité ;
- des investigations géophysiques :
 - mesures de radioactivité naturelle ;
 - diagraphies microsismiques à la paroi en terrain rocheux ;
 - imagerie de paroi orientée (méthode optique) en terrain rocheux ;
 - radar géologique ;
 - microgravimétrie ;
 - essais Cross-Hole ;
 - sismique réfraction ;
 - tomographie sismique ;
 - MASW ;
 - Tomographie de résistivité électrique ;
- des essais en laboratoire :
 - essais d'identification ;
 - essais de résistance ;
 - essais de résistance au cisaillement ;
 - essais de compressibilité ;
 - essais de compactage et essais d'aptitude au traitement des sols ;
- des essais sur les structures géotechniques, à réaliser en cours de travaux.

1.2.2 Rapports d'étude G1, G2, G4, G5

Les rapports d'étude devront inclure, dans un même document l'ensemble des coupes de sondages, des PV d'essais et leur analyse (liste non exhaustive, voire article 8). Certains éléments devront être transmis par ailleurs au maître d'ouvrage : les coupes sondeurs au format '.pdf' et les mesures pénétrométriques sous format tableur.

1.2.3 Investigations liées à la recherche d'amiante avant travaux dans les sols et roches

Les investigations donneront lieu à l'établissement d'un programme d'intervention soumis à l'approbation du maître d'ouvrage. L'ensemble des rendus liés devront être transmis au maître d'ouvrage. Les éléments de mission doivent, en tout état de cause, respecter la réglementation en vigueur et les normes françaises associées. L'opérateur de repérage devra présenter les accréditations et compétences lui permettant d'intervenir en milieu amianté conformément à la réglementation en vigueur.

1.3 - Qualité, contrôle et prise en charge des matériaux et produits

La norme française transposant la norme européenne constitue la référence technique qui doit être respectée par les produits.

Lorsqu'une spécification technique est définie par référence à une norme ou à un label, le soumissionnaire prouve dans son offre, par tout moyen approprié, que les solutions qu'il propose respectent de manière équivalente cette spécification.

Lorsqu'une spécification technique est définie en termes de performances ou d'exigences fonctionnelles, le soumissionnaire prouve, par tout moyen approprié, que son offre est conforme à des normes ou documents équivalents qui eux-mêmes correspondent aux performances ou exigences fonctionnelles exigées.

Toute demande formulée par le titulaire et tendant à faire jouer la clause d'équivalence doit être présentée au pouvoir adjudicateur avec tous les documents justificatifs, dans les 30 jours qui suivent la notification du marché.

ARTICLE 2 - ORGANISATION DES PRESTATIONS

2.1 - Préparation de chantier

Préalablement aux investigations, le titulaire organise une reconnaissance des points de sondages envisagés avec un représentant de la maîtrise d'ouvrage ou de la maîtrise d'œuvre. Cette reconnaissance permettra entre autres :

- d'établir les états des lieux avant travaux ;
- de valider les implantations envisagées et les cheminements d'accès aux différents sites. A cet effet, le titulaire doit tenir compte des contraintes d'occupation du site, gêner le moins possible les occupants et riverains et limiter les dégâts aux cultures ; en particulier, en cas d'intervention dans un espace agricole en culture, la date d'intervention devra, sauf contrainte imposée par le maître d'ouvrage, être concertée avec l'exploitant pour éviter d'intervenir dans le mois précédant la récolte. Les implantations pourront être adaptées localement en fonction des contraintes rencontrées (présence de réseaux, organisation des parcelles, accessibilité...) en accord avec le représentant de la maîtrise d'ouvrage ;

- de définir les types de mise en station (normale ou difficile) ;
- de déterminer les impacts sur l'environnement et les mesures à prendre en compte avec le coordinateur environnemental et/ou le maître d'œuvre ;
- de déterminer les démarches administratives à entreprendre pour accéder aux parcelles.

Le titulaire balise les points des différents sondages et essais in situ par des jalons. Le relevé exact des coordonnées rattachées au système de type Lambert 93 (X,Y) et de l'altitude (Z) en mètres N.G.F. des têtes de sondages et fouilles est à la charge de l'entrepreneur. La précision demandée pour les carottages et forages pressiométriques est de 5 cm en X et Y, et 1 cm en Z. Pour les fouilles la précision demandée est de 1 m en X et Y, et 10 cm en Z. Pour les observations géologiques celle-ci est de 3 m en XY et 1 m en Z.

Préalablement à la réalisation de ces interventions, il appartient au titulaire de s'assurer, en lien avec le maître d'ouvrage, du respect des **contraintes administratives et environnementales des terrains concernés**.

Une attention sera particulièrement portée à :

- la déclaration ou à la demande d'autorisation pour les ouvrages concernés par une ou plusieurs rubriques de la nomenclature IOTA (annexe de l'article R. 214-1 du Code de l'environnement) ;
- aux demandes d'autorisation rendues nécessaires pour l'intervention dans les espaces naturels soumis à périmètres de protection fortes (*réserves naturelles régionales ou nationales, périmètres de protection de biotope...*) ;
- aux démarches liées aux périmètres de protection de captages d'eau ;
- aux mesures environnementales prescrites par le coordinateur environnemental, lorsqu'il est mandaté par le maître d'ouvrage, notamment en matière de périodes propices aux interventions (calendrier écologique) ou de zones en défens à respecter. Le titulaire devra se conformer à ces prescriptions.

2.2 - Accès

Le titulaire est tenu de se conformer aux différentes prescriptions telles que les cheminements et la position des sondages dans la parcelle.

En cas de difficultés particulières, le titulaire est tenu d'informer immédiatement le maître d'ouvrage. Il est formellement interdit au titulaire d'entamer toute négociation pouvant engager le maître d'ouvrage, à quelque titre que ce soit, avec les collectivités, les propriétaires et les exploitants. À chaque reconnaissance, le titulaire est tenu de remplir un formulaire d'état des lieux avant et après travaux.

Le titulaire s'occupera de toutes les formalités nécessaires pour obtenir les autorisations (arrêté de circulation, etc.) en préalable à ses interventions et celles lui permettant la mise en place du chantier (restriction de la circulation, condition de stockage des matériaux, stationnement des engins,

balisage, clôture de protection...) auprès des services compétents. Le titulaire est tenu de participer aux formalités préalables à toute pénétration dans les terrains publics ou privés. Par ailleurs, il a à sa charge :

1. les procédures d'autorisation de pénétrer, d'autorisation d'occupation temporaire des propriétés privées, etc.
2. les déclarations d'intention de commencement des travaux et déclarations préalables,
3. la réalisation des plans de signalisation de chantier conformément à la réglementation,
4. les déclarations au titre du Code minier.

Lorsque cela est possible, le maître d'ouvrage communiquera au titulaire les sujétions connues telles que la réglementation particulière sur site, les horaires particuliers, les conditions d'accès, la ou les personnes à contacter. Les horaires particuliers peuvent être soit des horaires décalés, soit des horaires réduits du type travaux sur routes fortement circulées, effectués généralement entre 9h et 16h30.

2.3 - Signalisation

Intervention sur le domaine public routier

La signalisation des sites d'intervention dans les zones intéressant la circulation sur la voie publique est réalisée par le(les) service(s) en charge de l'exploitation de l'axe en question.

Toutefois, le titulaire peut être sollicité pour effectuer cette signalisation lui-même, il doit alors respecter les consignes de l'exploitant de l'axe et faire valider son intervention par ce dernier avant de se rendre sur le terrain. Le cas échéant, le titulaire réalise les démarches nécessaires à l'obtention des arrêtés de circulation nécessaires à son intervention.

Une annexe du présent CCTP détaille les éléments relatifs à la signalisation de chantier.

Selon la nature des prestations et si cela s'avère nécessaire, le titulaire se chargera de réaliser un dossier d'exploitation sous chantier (DESC). Il comprendra notamment :

- un plan de situation ;
- une description synthétique du chantier faisant apparaître l'objet des interventions ;
- la date prévue pour les interventions, leur durée et les éventuels phasages ;
- le mode d'exploitation retenu et sa justification ;
- les schémas de signalisation ;
- une carte des itinéraires de déviation éventuellement utilisés, avec l'accord des autorités administratives des voies concernées ;
- les comptes rendus des éventuelles réunions de concertation qui ont été organisées ;
- les recommandations traitant de la sécurité des personnels ;
- les mesures retenues pour informer les usagers de la route et éventuellement les riverains.

Intervention en dehors du domaine public routier

La signalisation des sites d'intervention est réalisée par le titulaire afin d'assurer la sécurité de son personnel mais aussi celle des tiers pouvant se trouver à proximité des sites.

2.4 - Procédure d'exécution

Les prestations de sondages, les essais in situ, les essais en laboratoire, les travaux et les investigations géophysiques sont exécutés conformément :

- aux normes européennes ;
- aux normes et projets de normes françaises AFNOR ;
- aux méthodes d'essais LCPC ;
- au Code de Bonne Pratique de Géophysique Appliquée (mars 1992), diffusé par l'UFG (Union Française des Géologues), dénommé ci-après « Code de bonne pratique ».

Préalablement au démarrage des travaux de terrain, une procédure d'exécution est soumise à l'agrément du maître d'ouvrage. La procédure doit renseigner les points suivants :

- 1) Les intervenants
 1. Un responsable de chantier doit notamment être désigné par le titulaire et proposé au maître d'ouvrage. Il est chargé d'assurer l'articulation et la coordination de l'ensemble de l'intervention.
 2. La liste des personnes intervenant sur le chantier, avec leur CV.
- 2) Le calendrier d'exécution, qui doit préciser la date et la durée des étapes suivantes :
 1. la préparation des prestations (amenée du matériel...),
 2. la mise en place éventuelle de la signalisation, la réalisation des sondages et essais, la restitution des résultats des essais.
- 3) Le matériel utilisé
- 4) Les modalités particulières de réalisation des essais in situ et en laboratoire
- 5) Les modalités de contrôle interne et externe.

Préalablement à l'intervention et si l'opération est supervisée par un coordonnateur SPS, le titulaire devra respecter les prescriptions d'hygiène et sécurité (visite commune et établissement soit d'un PPSPS soit d'un plan de prévention). Dans tous les cas, il devra veiller à mettre en place des procédures et protections adaptées.

Le titulaire met en place à ses frais l'ensemble des moyens conformes à la bonne exécution de ses prestations, notamment :

- L'outillage ;
- Les équipements de manutention ;
- Les échelles, échafaudages, plates-formes, platelages ;
- Les protections individuelles et collectives le cas échéant ;
- Les matériels de télécommunication ;
- Les tenues de travail ;
- Les véhicules et matériels de balisage.

2.5 - Amenées de matériel

Pour chaque chantier, il est prévu de compter une amenée de matériel pour chaque machine nécessaire à la réalisation des investigations. L'amenée de matériel comprend :

- la préparation du matériel ;
- l'amenée du matériel au site de sondage ;
- le déplacement des engins sur le site, et de site à site ;
- le repli du matériel en fin de chantier.

2.6 - Mise en station

Il est prévu une mise en station sur chaque point de sondage.

Les travaux nécessaires à la mise en station doivent respecter les conditions définies au cours des visites préalables d'implantation. Deux types de mise en station sont distingués :

- en site accessible (possibilité de s'y rendre avec un véhicule de type 4 x 4) ;
- en site difficile (non accessible à un 4 x 4 en conditions normales) c'est-à-dire nécessitant des manutentions, montages et démontages du matériel. La qualification de site difficile doit être validée par le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre avant toute intervention.

2.7 - Fourniture et approvisionnement d'eau

La fourniture et l'approvisionnement en eau sont inclus dans le prix des différents types de forage au mètre linéaire. Les autorisations préalables sont à la charge du titulaire.

2.8 - Remise en état des lieux

En fin de sondage, le titulaire est tenu de remettre les lieux en état, en particulier de procéder à un rebouchage soigné de tous les trous et de prendre toute précaution destinée à éviter tout dommage aux personnes et animaux, et de manière générale à l'environnement (les détritiques ne sont pas laissés sur place, aucun matériau n'est laissé par le titulaire).

L'attention du titulaire est attirée sur les points suivants :

- Il doit veiller à ne provoquer aucune pollution accidentelle des eaux souterraines et superficielles. Les peines prévues par la réglementation générale et en particulier le code de l'environnement ~~la loi sur l'eau~~ incomberont totalement au titulaire.
- Le titulaire est responsable de toute détérioration et des dégâts éventuels apportés de son fait, en particulier en cas de non-respect des cheminements définis jusqu'aux points de sondages. Un état des lieux final est dressé par un représentant de la maîtrise d'ouvrage ou de la maîtrise d'œuvre en présence du titulaire.

2.9 - Travaux de nuit

Sont définis comme travaux de nuit, l'ensemble des opérations de sondages effectuées entre 21 heures et 6 heures du matin. Ils sont généralement liés aux travaux situés sur autoroute et imposés par le gestionnaire de ce réseau. Les horaires de travail sont alors imposés et sont effectués entre

21h30 (signalisation posée) et 5h00 le matin (signalisation levée). Cette plage horaire peut varier en fonction des axes, les dispositions particulières seront précisées dans chaque bon de commande.

Il doit être tenu compte de l'enlèvement et de la remise en place de la sondeuse à chaque poste. La plus-value appliquée tiendra compte de ces contraintes.

ARTICLE 3 - FORAGES MÉCANIQUES

Ces forages sont utilisés pour :

- l'établissement d'une coupe de sol ;
- le prélèvement d'échantillons intacts ou remaniés, devant permettre la réalisation d'essais en laboratoire tel que décrit dans le chapitre 6 du présent document ;
- la réalisation d'essais in-situ ;
- la mise en place d'instrumentation (inclinomètre, piézomètre, etc).

3.1 - Sondages carottés

Les sondages carottés sont réalisés suivant la norme NF EN 22475-1 : Reconnaissance et essais géotechniques – Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques. Par défaut, des échantillons de la meilleure qualité possible (1 ou 2) avec la nature de sol rencontrée doivent être systématiquement recherchés.

Le diamètre minimal de la carotte est de 92 mm (carottage en 120 mm extérieur).

Afin d'éviter le remaniement des terrains, le choix de l'outil de carottage et la pression sur l'outil doivent privilégier le non-remaniement des échantillons.

Une coupe sondeur provisoire (document renseigné manuellement sur le terrain et numérisé) doit être remise au fur et à mesure de l'avancement des travaux de reconnaissance, dès la fin de la réalisation de chaque forage. En phase finale, la description et la représentation en coupe doivent détailler les différents faciès rencontrés verticalement pour une même formation et doivent être établies par un géologue du titulaire. Ce géologue établira également la description de l'altération et de la fracturation (indices AM, ID, FD, RQD) selon les recommandations du GT1 de l'AFTES (2003).

Les photographies des carottes doivent présenter une bonne qualité et doivent comprendre une échelle de colorimétrie. Les photographies doivent être présentées de façon continue, avec mention des cotes de début et de fin de chaque passe de carottage.

Les échantillons intacts (classe 1) sont conditionnées sous gaine PVC rigide, éventuellement transparente. Les longueurs des gaines PVC sont toutes identiques et égales à 1 m. Ils doivent être conditionnés dans leur étui conteneur sans délai et avec soin. Leur conditionnement doit notamment comprendre les éléments suivants :

- paraffinage des extrémités ;
- mise en place de bouchons et de rubans adhésifs aux extrémités ;
- inscription sur l'étui de la désignation du site, de la désignation du sondage et de l'indication

de la partie supérieure de l'échantillon intact ;

- la nature du matériau prélevé ;
- la date de prélèvement.

Le stockage temporaire sur chantier et le transport au laboratoire doit garantir la protection des échantillons intacts contre le gel et les températures élevées, l'humidité excessive ou le dessèchement, et contre les chocs et les vibrations.

Les autres échantillons seront disposés dans des caisses en matériaux imputrescibles, comportant 2 rangées de 1 m de longueur.

Chaque caisse dispose d'un couvercle sur charnières et crochet de fermeture. Une plaque séparatrice en bois sera insérée à chaque reprise de carottage (2 plaques en cas d'absence de carotte avec indication de la cause). Les indications d'identification du chantier, sondage et profondeur sont portées sur le côté et le couvercle (dessus et dessous).

Les discontinuités d'origine artificielle (liées au carottage ou à la mise en caisse) sont portées sur les carottes au moyen d'un marquage indélébile.

Les échantillons n'ayant pas été utilisés pour essais sont conservés dans des conditions telles que leur représentativité n'est pas modifiée, sauf en ce qui concerne la teneur en eau. Ils sont conservés au moins jusqu'à deux mois après la remise du rapport final.

Lorsqu'il s'agit d'une mission d'investigation géotechnique simple, l'ensemble des échantillons sera transporté au CEREMA d'Aix-en-Provence.

3.2 - Sondages à la tarière continue

Le diamètre des tarières continues est compris entre 110 mm et 400 mm. La longueur des passes effectuées est de 1 m maximum. Ces investigations permettront une description précise des différents horizons et le prélèvement d'échantillons remaniés (masse d'au moins 2kg), conditionnement permettant de conserver la teneur en eau et étiquetage.

Les échantillons ainsi prélevés seront mis dans des sacs en plastique, fermés avec une rondelle plastique crantée. Une étiquette par sac devra indiquer la dénomination du chantier, le numéro du sondage, la date de prélèvement et la profondeur en mètre.

Les sacs plastiques devront être conformes aux prescriptions suivantes :

	Dimensions	Épaisseur du film	Usage
sacs « grand modèle »	Minimum 450 x 750 mm	20/100 mm	échantillon complet
sacs « modèle moyen »	250 x 500 mm	10/100 mm	teneur en eau
sacs « petit modèle »	150 x 200 mm	3/100 mm	cuttings

3.3 - Sondages à la pelle ou au tractopelle

Les sondages à la pelle sont effectués à la pelle à chenilles à une profondeur maximale de 5 mètres ou au tractopelle avec une profondeur maximale de 3,5 m. Sauf mention contraire, des échantillons sont prélevés tous les 0,5 m et à chaque changement de couche (masse de 2 à 30 kg selon la demande préalable et le type de sol). Les trous sont rebouchés avec les terres de déblais, la terre

végétale étant repositionnée en dernier lieu.

Une coupe de sondages est établie, faisant notamment apparaître les photographies des 4 faces de l'excavation, la nature des couches de sol, la stabilité des parois et les éventuelles venues d'eau.

3.4 - Forages destructifs

Ces forages sont susceptibles d'être utilisés pour :

- l'enregistrement des paramètres de forage ;
- la réalisation d'essais pressiométriques ;
- les diagraphies RAN ;
- la réalisation d'essais d'eau ;
- la pose de tube piézométrique ou inclinométrique.

Ils doivent être réalisés avec enregistrement de paramètres (a minima pression sur l'outil, couple de rotation, vitesse d'avancement et pression d'injection).

La coupe de forage destructif doit faire apparaître :

- les différentes couches de terrain rencontrées ;
- les outils de forage et leurs caractéristiques (nature et dimensions), les changements d'outils et la cause (par exemple changement de taillant pour cause d'usure, etc.) ;
- les modes de soutien des parois éventuels (boue, tubage) ;
- les enregistrements de paramètres ;
- les zones de venues d'eau ;
- les difficultés particulières (coincements, pertes de remontées, etc.).

Par ailleurs, les enregistrements de paramètres doivent être fournis au donneur d'ordre sous format tableur.

Un échantillonnage des débris de forage ("cuttings") devra être fourni chaque mètre, en sac de 100 g environ.

La méthode de foration pourra être imposée en fonction des objectifs recherchés (par exemple le marteau fond de trou à l'air dans les massifs rocheux, notamment pour diagraphie microsismique).

3.5 - Fourniture et pose de tube piézométrique ouvert

Un seul tube piézométrique est installé par forage. Le tube piézométrique est mis en place par un procédé qui permet d'assurer la continuité de la perméabilité sur la hauteur crépinée.

L'attention du titulaire est attirée sur le fait que l'utilisation de la boue, même biodégradable, est proscrite lors de l'exécution de ce forage.

Le diamètre intérieur des piézomètres est supérieur à 50 mm. La partie crépinée du tube est enveloppée d'une chaussette géotextile jouant le rôle de filtre.

L'espace annulaire entre la crépine du tube piézométrique et le terrain est rempli avec un matériau perméable, présentant une granulométrie adaptée. La partie supérieure du piézomètre sur au moins

0,5 m (et sur toute la hauteur de l'éventuel avant-trou) est comblée par un matériau imperméable (mélange d'argile-ciment par exemple).

Le nettoyage du tube piézométrique est effectué par pompage de préférence à l'émulsion d'air ou le lavage.

Le piézomètre est protégé par un tube métallique hors sol cadenassé ou par un regard de type bouche à eau, cimenté et revêtu de couleur vive.

Une réception du fonctionnement du piézomètre est effectuée en injectant un volume d'eau initial et en vérifiant le retour à l'équilibre. Cette réception doit être formalisée et jointe à la coupe de pose du piézomètre.

3.6 - Fourniture et pose d'un enregistreur piézométrique (tube ouvert)

Les enregistreurs piézométriques pour tube ouvert doivent permettre la mesure et l'enregistrement des niveaux piézométriques avec les capacités minimales suivantes :

- mesure à +/- 1 cm ;
- pas de mesure minimal de 1h ;
- capacité de mémorisation 12 mois au pas de temps de 1h ;
- compensation barométrique (intégrée à l'enregistreur ou à l'aide d'un second capteur) sur chaque site ;
- autonomie électrique supérieure à 6 mois.

L'enregistreur proposé devra être agréé par le maître d'œuvre. La plage de mesure et la position dans le sondage devront être adaptées aux fluctuations piézométriques présagées sur le site.

Le logiciel et les éventuels câbles nécessaires à la collecte des données seront fournis au maître d'œuvre si les relevés ne sont pas inclus dans la mission.

L'enregistreur et les accessoires restent la propriété du maître d'ouvrage en fin de période de mesure, celui-ci pouvant faire poursuivre le suivi par un autre prestataire.

3.7 - Fourniture et pose de piézométrie fermé (CPI)

Les CPI seront de type « corde vibrante ». La plage de mesures sera de 3 bars avec une précision de $\pm 0.1\%$ sur cette mesure.

Cette prestation comprend :

- le tubage provisoire du trou sur toute sa hauteur sauf exception (diamètre intérieur du tubage supérieur ou égale à 80 mm) ;
 - les étapes de mise en œuvre suivantes :
 - la mise en place d'une lanterne en sable grossier propre (diamètre des grains : 0.2 – 2 mm) d'une longueur totale de 3 m.
 - la pose d'un bouchon étanche supérieur de 2 m d'épaisseur minimum ;
- Le tubage provisoire sera remonté simultanément à chaque phase de réalisation des bouchons ou lanternes.

- la fourniture et la pose des CPI ;
- la fourniture et la pose de l'ensemble des accessoires (câbles de connexion, etc.) nécessaires à la pose.

L'entreprise devra utiliser une tête de forage permettant la sortie latérale des tubes et/ou des câbles de la CPI et du capteur automatique sous-jacents. Une tête de protection aménagée avec socle béton, plaque en fonte et cadenas sera mise en œuvre.

L'appareil devra pouvoir réaliser une mesure quotidienne et comprendra également l'ensemble du système (panneaux solaires, enregistreur automatique, régulateur, batteries, câbles, logiciel, etc.). Les certificats d'étalonnage des CPI doivent être fournis au CEREMA.

Le dispositif devra permettre de modifier le pas des mesures (exemple : passage d'une mesure hebdomadaire à une mesure quotidienne).

La station d'acquisition des données devra permettre de stocker 2 mois de mesures à raison d'une mesure journalière.

3.8 - Fourniture et pose de tube RAN (Radio Activité Naturelle)

Le tube de réservation est un tube en PVC 52-60 mm permettant la descente de la sonde de diagraphies en toute sécurité au fond du forage. Ce tube est obturé à sa base.

3.9 - Fourniture et pose d'inclinomètres

On réalisera des forages carottés ou de type destructif d'un diamètre suffisant pour qu'ils puissent être équipés d'un tubage de diamètre intérieur au moins égal à 80 mm.

Le forage sera vidé avant toute pose de tubage.

En outre des spécifications stipulées dans la norme NF P 94-156, les opérations seront effectuées de la manière suivante :

- forage avec une verticalité la plus parfaite et une déviation minimale ;
- tubage provisoire du trou sur toute sa hauteur sauf exception (diamètre intérieur du tubage supérieur à 80 mm) ;
- mise en place des tubes inclinométriques avec étanchéité au droit des manchonnages et bouchon de pied (l'orientation des rainures sera définie par le Maître d'œuvre) ;
- fabrication du coulis de blocage au moyen d'un malaxeur de chantier à haute turbulence (sa composition sera conforme aux spécifications de l'annexe B de la norme NF P 94-156) ;
- réalisation du scellement par mise en place du coulis à la pompe d'injection à la base du forage, jusqu'à substitution complète du fluide de forage, avec reprise éventuelle en cas de ressuage ou perte de coulis après extraction du tubage provisoire, autant de fois qu'il sera nécessaire. Pendant cette opération, le tube sera maintenu en place en le lestant par exemple avec un train de tiges introduit à l'intérieur. Le maintien en force sur la tête du tube est formellement prohibé ;
- dans les terrains karstifiés et fracturés le tube inclinométrique sera préalablement équipé d'une "chaussette" en géotextile de qualité pérenne (risque d'hydrolyse) dont le modèle devra recevoir l'agrément préalable du Maître d'œuvre.

Les tubes rainurés seront de type Glötzl en ABS ou en ABS/EX.

La protection des têtes sera conforme à l'exemple donné dans la norme NF P 94-156 (figure 4).

La réception de pose des tubes inclinométriques sera effectuée par le Maître d'œuvre selon les critères suivants :

1. contrôle par fausse sonde :

- conformité de la longueur du tube avec la cote à atteindre ;
- absence de défaut géométrique du tube ;
- absence de défaut de nettoyage du tube (obturation par du coulis ou de la boue) ;

2. premier relevé donnant la pente approximative du tube, comparée aux critères ci-après :

Longueur du tube	Déviations inférieures à
≤ 15 m	2% (30 cm à 15 m)
≤ 30 m	3% (90 cm à 30 m)

En cas de refus pour non conformité, le forage inclinométrique sera refait à la charge de l'entreprise.

ARTICLE 4 - ESSAIS IN SITU

4.1 - Sondage pressiométrique

Les essais sont réalisés conformément à la norme NF P94-110-1. Seules les techniques de forage recommandées (type « R ») par le tableau C.1 de cette norme sont acceptées.

De plus, afin d'assurer la qualité des essais, les dispositions complémentaires suivantes s'appliquent :

- utilisation de tiges dont le diamètre est nettement inférieur au diamètre du trou de forage ;
- utilisation d'une pompe pour injection de bentonite suffisamment sensible le cas échéant, afin de pouvoir régler le débit et la pression d'injection.

Les essais pressiométriques doivent être réalisés à l'aide d'appareillage pressiométrique standard, permettant l'application de pression d'essais pouvant aller jusqu'à 5 MPa. De plus, l'acquisition des données doit être automatique. Tout essai réalisé sans cet enregistrement est à recommencer aux frais du titulaire.

À la demande du maître d'œuvre, lors des visites de chantier, l'entrepreneur est tenu de présenter les coupes sondeurs, les courbes imprimées ou tracées (même si le système d'enregistrement des données ne permet pas de sortie graphique de la courbe, une visualisation sur site doit être possible). Ces éléments sont par ailleurs transmis électroniquement avec une fréquence quotidienne. Le détail des courbes pression-volume (y compris calibrage et étalonnage) est fourni.

En particulier, les essais suivants ne sauront être facturés :

- les essais pour lesquels la technique de forage préalable n'est pas recommandée (type « R ») par le tableau C.1 de la norme NF P94-110-1 ;
- les essais dont la hauteur de passe préalable n'est pas conforme au tableau C.2 de la norme NF P94-110-1 ;
- les essais présentant de façon concomitante une pression finale inférieure à 5 MPa et un volume inférieur à :
 - 450 cm³ pour la sonde courte ;
 - 600 cm³ pour la sonde longue ;
- les essais dont l'inertie de la sonde est trop importante par rapport à la résistance du sol, conformément au 6.2.5 de la norme NF P 94-110-1 ;
- les essais présentant moins de 8 points de mesure.

Le procès verbal d'essai est établi selon la même norme NF P94-110-1, et précise notamment :

- le fluide de forage éventuel ;
- la longueur des passes de forage ;
- la date et l'heure de réalisation des essais ;
- l'outil utilisé ;
- les caractéristiques géométriques de la sonde pressiométrique et des tubulures.

4.2 - Sondages au pénétromètre dynamique

Les sondages pénétrométriques sont effectués conformément à la norme NF EN ISO 22476-3.

Si le sondage nécessite un équipement monté sur chenilles ou si l'entrepreneur doit réaliser une piste d'accès (plaques ou autres dispositifs) alors la mise en place s'apparente à une mise en place difficile, tel que défini à l'article 2-6 du présent document.

En plus de la coupe de sondages, les mesures réalisées sont fournies au format tableau.

4.3 - Sondage au pénétrométrie statique (CPT)

L'essai est exécuté conformément à la norme NF EN ISO 22476-1.

L'équipement est de type pénétromètre lourd 200 kN et doit être capable d'accéder à des endroits où la portance du sol est très mauvaise. Dans ce cas, l'équipement est monté sur chenilles ou l'entrepreneur réalise une piste d'accès (plaques ou autres dispositifs). Cette mise en place s'apparente à une mise en place difficile, tel que défini à l'article 2-6 du présent document.

Lors de la mise en place de l'équipement, l'entrepreneur veillera à s'assurer de l'absence d'obstacles pouvant empêcher la pénétration (dalle, conduites...). Si nécessaire, il procédera à une pré fouille et il déplacera son équipement en cas de présence d'obstacle.

Lorsqu'un essai est bloqué à moins de 3 mètres de profondeur sur un obstacle infranchissable par simple pénétration, l'essai est déplacé et recommencé au frais de l'entrepreneur. Les dégâts

éventuels ainsi que les conséquences de ceux-ci occasionnés à des tiers (conduites, câbles...) sont à la charge de l'entrepreneur.

La pénétration continuera tant que l'un des critères suivants n'est pas atteint :

- la profondeur maximale fixée est atteinte ;
- le « refus » est atteint, se traduisant par l'une des valeurs suivantes :
 - effort total sur le train de tiges égal à 200 kN ;
 - contrainte sur la pointe égale à 60 MPa.

En cas de blocage du train de tiges dû à une augmentation trop importante du frottement latéral, l'opérateur pratique un coulissage de ce train de tiges pour le briser.

L'entrepreneur n'utilise la pointe mécanique qu'en cas de passage de remblais durs, de silex, de graves pouvant détériorer la pointe électrique. La pointe électrique est obligatoirement utilisée dans tous les autres cas.

Les enregistrements suivants sont réalisés en fonction de la profondeur :

- résistance à la pointe ;
- frottement latéral unitaire et rapport de frottement ;
- temps.

La pointe électrique doit être de type piézocône et permettre l'enregistrement en continu, en plus de la résistance de pointe et du frottement latéral, de la mesure de la pression interstitielle au cours du fonçage, avec une saisie de valeurs tous les 2 cm. La pointe de pénétromètre statique doit être équipée au moins de deux filtres, permettant de mesurer les pressions interstitielles u_1 et u_2 selon la définition de la norme NF EN ISO 22476-1.

Le système de mesure de la pression interstitielle doit être saturé au début de chaque essai. Compte tenu de la nature fine de certains sols, les filtres poreux doivent présenter une dimension de pores garantissant le maintien de la saturation pendant l'essai, sachant que la sonde risque de traverser certaines couches non saturées.

Dans les sols plutôt perméables, les mesures des pressions interstitielles doivent être maintenues jusqu'à une stabilisation qui permettra d'évaluer le niveau piézométrique initial de la nappe (u_0). Dans les couches des sols plutôt peu perméables, pour lesquelles des surpressions sont détectées, il convient de procéder à la réalisation d'essais de dissipation. Pour ce faire, le matériel utilisé devra permettre une visualisation en direct et en continu des paramètres enregistrés par le piézocône de telle manière que l'opérateur, qui disposera des compétences nécessaires, puisse valider la cote de réalisation des essais de dissipation. Les essais comprenant la mesure de la dissipation interstitielle sont réalisés pendant une durée inférieure ou égale à 4 heures.

L'entrepreneur fournit, en fonction du logarithme du temps, l'évolution de la résistance de pointe en parallèle de la pression interstitielle mesurée.

Les données brutes et interprétées de chaque essai (résistance de pointe, frottement, pression interstitielle u_0 , u_1 , u_2 , résultats d'essais de dissipation) seront transmises au format tableur, en plus des éléments joints au rapport.

4.4 - Sondage scissométrique

Le forage, les essais et l'exploitation des essais scissométriques sont réalisés en conformité avec la norme NF P94-112. Par défaut, les essais sont réalisés tous les 50 centimètres dans les sols fins ou les sols organiques.

L'appareil devra être muni d'un dispositif annulant tout frottement parasite sur les tiges. Il sera l'objet d'une réception de la part du Maître d'œuvre.

L'entreprise remettra :

- les feuilles d'essais scissométriques avec la courbe de résistance au cisaillement en fonction du maître-couple où apparaîtront les valeurs de la cohésion c_u , de la cohésion remaniée c_r et de la sensibilité S_t (figure D1 annexe D de la norme) ;
- la présentation graphique des résultats (figure D2, annexe D de la norme).

4.5 - Essais de perméabilité

4.5.1 Essais d'eau en forage

De façon à lever l'incertitude sur l'étanchéité incertaine d'un tubage, l'isolation de la partie supérieure de la cavité est réalisée à l'aide d'un obturateur dilatable ou au moyen d'un bouchon d'argile placé au-dessus de la cavité.

Afin d'éviter les fuites, la gaine de l'obturateur a une longueur supérieure ou égale à 10 fois le diamètre du forage. Son diamètre avant dilatation est supérieur ou égal à 0.7 fois le diamètre du forage. Il doit permettre d'atteindre des pressions de dilatation d'au moins 2 MPa.

Les essais d'eau de type Lefranc ou Nasberg (selon la position de la nappe) sont réalisés conformément à la norme NF EN ISO 22282-2.

En fonction des formations rencontrées, le forage est réalisé avec un taillant étagé ou un tricône et son diamètre est supérieur à 100 mm.

Sauf mention contraire, les essais sont réalisés par pompage. Le régime permanent est dans la mesure du possible favorisé.

Les essais d'eau de type "lugeon" (en terrain rocheux) sont réalisés selon la norme NFEN ISO 22282-3. Leur interprétation sera conduite selon l'annexe B de la norme.

4.5.2 Essais d'infiltrabilité

Des essais d'infiltrabilité à la fosse de type « Matsuo » sont envisagés. Ces essais sont réalisés en deux passes successives conformément au protocole original de l'essai Matsuo qui consiste à mesurer le débit Q permettant de maintenir le niveau d'eau constant à l'intérieur d'une fouille rectangulaire.

Les dimensions de la fouille rectangulaire sont en conséquence les suivants :

Méthode en régime transitoire proposée

Les essais d'infiltration seront réalisés dans des fouilles de 2 m² de surface environ (fond 2 x 1 m) et au minimum 1 m de profondeur. Il s'agit d'un essai à charge variable.

Préalablement à l'essai on procédera à une saturation du sol par un volume d'eau minimal de 2 m³.

Après infiltration de ce volume de saturation l'essai sera conduit avec une hauteur d'eau initiale de 1 m et un volume minimal de 2 m³. Le volume injecté devra être mesuré avec au moins 5 % de précision.

Les niveaux d'eau seront mesurés à des intervalles de temps régulier permettant d'obtenir au moins 10 points de mesure lors de la descente du niveau.

Le protocole d'essai détaillé sera précisé dans la notice technique jointe à l'offre et devra indiquer notamment les méthodes de calcul utilisées, en régime transitoire.

4.6 - Relevés piézométriques

Deux types de relevés sont prévus, manuels et automatiques.

Dans le cas de relevés automatiques, le matériel doit être prévu pour réaliser une acquisition toutes les heures.

Le prestataire précisera dans son offre le type de sonde utilisé, ses caractéristiques ainsi que celles du logiciel associé.

Les mesures automatisées seront fournies dans un format numérique standard (ascii par exemple).

En cas de mission d'investigation géotechnique, le logiciel, et les éventuels câbles de lecture, seront fournis à la DREAL pour que le relevé soit assuré par le CEREMA. L'enregistreur reste la propriété de la DREAL.

4.7 - Relevés géologiques

Les relevés géologiques de terrains sont à réaliser sur le secteur du projet afin de préciser, à l'échelle du projet, les caractéristiques observables du terrain.

Le parcours terrain devra permettre de décrire les affleurements visibles aux environs immédiats du secteur étudié. Cette description est à but géotechnique et comporte :

- la nature des terrains (lithologie) ;
- leur état (altération, fracturation, selon les recommandations du GT1 de l'AFTES 2003) ;
- leur structure (orientation et qualification des discontinuités, failles, etc.) ;
- la localisation des points particuliers (zones humide, sources, puits, zones instables ou douteuses, etc.).

Chaque point d'observation sera positionné (GPS) sur un document cartographique comportant également le positionnement des reconnaissances effectuées.

Le document de synthèse rattachera les observations d'une part aux étages géologiques de la carte BRGM et d'autre part aux observations issues des reconnaissances.

ARTICLE 5 - GÉOPHYSIQUE

L'ensemble des prestations géophysiques sont exécutées conformément au « Code de Bonne

Pratique du 15 janvier 1992 » établie par l'AGAP qualité, téléchargeable sur leur site (<http://www.agapqualite.org/>).

5.1 - Diagraphie de Radio Activité Naturelle

Les mesures RAN sont transmises, en plus des coupes jointes au rapport en version papier et .pdf, sous format tableur.

Le couple constate de temps / vitesse d'acquisition devra permettre une résolution verticale de 0,1 m.

La mesure sera réalisée conformément à la fiche "92.1 DIA 11" du « Code de bonne pratique » AGAP.

5.2 - Diagraphie microsismique

Les mesures à la paroi du forage seront réalisées point par point selon la méthode "LRPC d'Aix-en-Provence" conformément à la fiche "92.1 DIA-31" du « Code de bonne pratique » AGAP.

Il sera réalisé 3 stations par ml avec mesure des temps d'arrivée sur les 2 capteurs avec une résolution de 1 μ s.

En plus des coupes (log) jointes au rapport en version papier et .pdf, les mesures sont transmises sous format tableur.

5.3 - Imagerie de paroi en terrain rocheux

Les mesures sont réalisées trou nu.

Il s'agit d'une imagerie de paroi avec fourniture :

- d'image développée 360° et orientée de la paroi du forage ;
- d'un relevé exhaustif de fracturation (position, orientation en azimut et pendage) ;
- d'une qualification des structures (typologie, ouverture, remplissage, etc).

En plus de la fourniture des logs, tableaux des structures identifiées (position, type, orientation, ouverture) et des images numériques, les informations ci-dessus seront traitées :

- statistiquement en termes d'orientation (identification des familles, directions moyennes et dispersion) ;
- en termes de zone structurale (localisation de pli, faille, détermination de zones homogènes) ;
- de densité de fracturation (indices ID FD RQD établis globalement, par zone structurale et par familles de discontinuité).

La restitution de la trajectométrie du sondage pourra être demandée (exploitation de la mesure d'imagerie).

5.4 - Radar géologique

Les opérations seront conformes à la fiche "92.1-EMA-31" du guide AGAP.

Le radar géologique est réalisé avec des antennes de 200, 400 ou 900 MHz. Il peut être réalisé à partir d'un matériel tracté ou porté par l'opérateur.

Toute campagne de radar géologique fait l'objet préalable d'une planche d'essais, permettant de vérifier la pertinence du matériel envisagée.

Le rapport de la campagne de radar géologique reporte l'intégralité des profils radars et leur interprétation.

Les données brutes seront fournies sous forme numérique ré-exploitable ultérieurement.

5.5 - Microgravimétrie

Les opérations seront conformes à la fiche "92.1-GRA-01" du guide AGAP.

Un taux de reprise minimum de 1,5 doit être recherché. Le rapport doit s'accompagner d'une proposition de campagne de vérification.

Un rendu au format .dwg est réalisé et fourni en plus du rapport.

5.6 - Essais Cross Hole

Les opérations seront conformes à la fiche "92.1-SIS-24" du guide AGAP.

En absence d'une norme française pour cet essai, il doit être réalisé conformément à la norme américaine ASTM D4428/D4428M-14.

Les forages destinés aux essais Cross Hole doivent être de diamètre compatible avec ces essais (entre 100 et 150 mm au maximum). Les forages seront équipés d'un tubage PVC scellé au terrain sur toute la hauteur de la zone d'essai. Le diamètre intérieur du tubage devra être adapté au diamètre des sondes utilisées pour l'essai (habituellement de 50 à 100 mm). Un bouchon en pied devra être mis en place à la base du tubage. Le scellement du tubage au terrain doit être effectué par tube plongeur depuis le fond du forage.

Une tolérance de +/- 1 pour 100 sur l'inclinaison des forages doit être impérativement respectée. Avant les mesures, le titulaire déterminera précisément les positions relatives des sondages (par inclinomètre par exemple). La méthode utilisée devra satisfaire les normes ou procédures d'essai correspondantes.

Les essais sont réalisés selon un dispositif en « triplet » : 1 forage émetteur et 2 forages récepteurs successifs, les trois forages étant alignés.

Un essai Cross Hole est réalisé tous les 1 m. Pour chaque essai Cross Hole, trois acquisitions de vitesse de propagation sont ainsi effectuées :

- Mesure 1 : entre émetteur et récepteur 1 ;
- Mesure 2 : entre émetteur et récepteur 2 ;
- Mesure 3 : entre récepteur 1 et récepteur 2 (vitesse de propagation relative) ;

Il est recommandé de réaliser deux essais séparés, un optimisé pour les ondes P (de fréquence d'échantillonnage du signal plus haute, de temps d'acquisition court, réglage de gain élevé) et un deuxième optimisé pour les ondes S (fréquence d'échantillonnage plus faible, temps d'acquisition plus long, réglage de gain plus bas).

Le matériel opératoire doit permettre d'évaluer à la fois la vitesse des ondes S et les ondes P (permettant de déterminer dans un second temps les propriétés élastiques des sols : G_0 , E_0 et v).

Le détail des mesures acquises par la technique de l'essai Cross Hole sera intégré au rapport compte-rendu d'essai.

Les signaux sismiques bruts devront être fournis sous format numérique standard, permettant une réinterprétation ultérieure.

5.7 - Dispositif de sismique réfraction

Les mesures de sismique réfraction ont pour objectif de déterminer la répartition des vitesses de propagation des ondes de compression (V_p) dans le sous-sol (ou également des ondes de cisaillement V_s sous réserve d'une source adaptée), en termes de succession de couches de vitesses croissantes avec la profondeur.

Les opérations seront conformes à la fiche "92.1-sis-01" du guide AGAP et aux recommandations du « cahier de l'AGAP n°2 Guide sismique réfraction ».

Elles seront réalisées sur la base de dispositifs de 12 ou 24 géophones au moins, dont l'espacement sera adapté à l'objectif de profondeur recherché.

Les enregistrements sismiques bruts, réalisés avec un échantillonnage 1 ms, seront fournis sur support informatique dans un format standard, permettant une réinterprétation ultérieure.

Le prestataire précisera dans son offre les sources utilisées ainsi que les méthodes (intercept, plus-minus, etc...) et logiciels d'interprétation.

Il est rappelé que l'analyse des données en "tomographie sismique", constitue une méthode d'interprétation distincte.

5.8 - Dispositif de tomographie sismique

Les mesures de tomographie sismique ont pour objectif d'établir une image fine de la répartition des ondes de compression (V_p) dans le sous-sol (ou également des ondes de cisaillement V_s sous réserve d'une source adaptée).

Elles peuvent être réalisées en surface ou entre forage. Dans ce cas les dispositions relatives aux sondages sont identiques à celles décrites pour l'essai Cross Hole.

Elles seront réalisées sur la base de dispositifs de 12 ou 24 géophones au moins, dont l'espacement sera adapté à l'objectif de profondeur recherché.

Les enregistrements sismiques bruts, réalisés avec un échantillonnage 1 ms, seront fournis sur support informatique dans un format standard, permettant une réinterprétation ultérieure.

Le prestataire précisera dans son offre les sources utilisées ainsi que les méthodes (intercept, plus-minus, etc...) et logiciels d'interprétation.

5.9 - Dispositif de MASW (onde de surface)

Les mesures de MASW ont pour objectif de déterminer un profil des ondes de cisaillement V_s .

Elles seront réalisées sur la base de dispositifs de 12 ou 24 géophones au moins, dont l'espacement sera adapté à l'objectif de profondeur recherché.

Les enregistrements sismiques bruts, réalisés avec un échantillonnage 1 ms, seront fournis sur support informatique dans un format standard, permettant une réinterprétation ultérieure.

Le prestataire précisera dans son offre les sources utilisées ainsi que les méthodes et logiciels d'interprétation.

5.10 - Tomographie de Résistivité Electrique (TRE)

Les mesures de TRE ont pour objectif de déterminer la répartition des résistivités dans le sous-sol.

Les opérations seront conformes à la fiche “92.1-ELE-31” du guide AGAP.

Elles seront réalisées sur la base de dispositifs dont le nombre d'électrode et l'espacement sera adapté à l'objectif de profondeur et résolution recherché (typiquement 64 électrodes).

Les enregistrements bruts seront fournis sur support informatique dans un format standard, permettant une réinterprétation ultérieure.

Le prestataire précisera dans son offre les méthodes et logiciels d'interprétation.

ARTICLE 6 - ESSAIS EN LABORATOIRE

Le marché porte sur les essais géotechniques en laboratoires suivants :

- essais d'identification ;
- essais de compactage ;
- essais de résistance en compression ;
- mesures de perméabilité ;
- essais de résistance au cisaillement ;
- essais de compressibilité ;
- essais de compression simple ;
- essais d'aptitude au traitement des sols.

Ces différents essais se déroulent suivant les normes en vigueur, rappelées ci-dessous. À l'issue de chaque essai, un rapport de présentation d'essai (dont les éléments sont précisés dans chaque norme d'essai) est établi et transmis au maître d'ouvrage.

6.1 - Essais d'identification

Les essais suivants sont envisagés :

- Teneur en eau pondérale : NF P94-050 ;
- Masse volumique apparente : NF P94-053 ;
- Masse volumique sèche de roche : NF P 94-064 ;
- Limites d'Atterberg : NF P94-051 et NF P 94-052 ;

- Teneurs en matières organiques : XP P94-047 et NF EN 12879 ;
- Granulométrie : NF P94-056 et NF EN 933-1 ;
- Sédimentométrie : NF P94-057 ;
- Valeur au bleu du sol : NF P94-068 ;
- Essai Los Angeles : NF EN 1097-2 ;
- Essai MDE et MDA : NF EN 1097-1 ;
- Sensibilité au gel des roches : NF P18-593 et NF EN 1367-1 ;
- Vitesse de propagation du son : NF P94-411 ;
- Essai de fragmentabilité : NF P94-066 ;
- Essai de dégradabilité : NF P94-067 ;
- Essai de friabilité des sables : NF P18-576.
- Analyse d'un prélèvement d'eau de nappe :

6.2 - Essais de résistance en compression

Les essais suivants sont envisagés :

- Essai de résistance à la compression simple : NF P94-420 (roche) ;
- Essais de résistance à la traction indirecte (brésilien) : NF P 94-422 (roche) ;
- Essais de compression uniaxiale avec mesure du module d'Young
- Essais de compression uniaxiale avec mesure du module d'Young et de Poisson

6.3 - Les essais de compactage

Les essais suivants sont envisagés :

- Essai Proctor Normal : NF P94-093 ;
- Indice Portant Immédiat : NF P94-078 ;
- Indice de portance Californien (CBR) : NF EN 13286-47.

6.4 - Les essais de résistance au cisaillement

Le but de ces essais est d'étudier la stabilité de différents ouvrages géotechniques.

Ces essais relèvent de plusieurs méthodologies distinctes :

- essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande : cisaillement direct (NF EN ISO 17892-10) ;
- essai triaxial (UU, CD ou CU+u) (NF EN ISO 17892-9 et NF EN ISO 17892-8).

6.5 - Les essais de compressibilité

Deux types d'essais sont envisagés :

- essai par palier avec mesure de perméabilité : NF EN ISO 17892-5 ;
- essai de compressibilité avec drain central ;
- essai de gonflement-effondrement ;
- essai de fluage : méthode d'essai LPC n°13.

Dans tous les cas, les mesures de déformation de l'éprouvette en fonction du temps de chaque palier de chargement sont fournies au format tableur.

Les coefficients de consolidation verticale c_v (coefficients de consolidation radiale c_r dans le cas d'essai avec drain central) sont déterminés sur l'ensemble des paliers, y compris les paliers de déchargement.

6.6 - Les essais d'aptitude au traitement des sols

Ces essais sont destinés à indiquer si l'utilisation des terrains en place est envisageable ou à proscrire et dans quelles conditions. L'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement est effectué suivant la norme NF P94-100.

6.7 - Les essais de traitement des sols en couche de forme

Ces essais pour étude de traitement des sols en couches de forme sont destinés à déterminer l'utilisation des sols en place (ou de fourniture extérieure) en couche de forme.

Les méthodes d'étude sont définies dans le Guide technique "Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques". Ces études pourront être du niveau 1, 2 ou 3 selon le GTS.

Les éprouvettes de sol traité seront confectionnées selon les normes NF P 94-230-1 ou NF P 94-230-2.

Le délai de maniabilité sera évalué selon la NF P 98-231, parties 5 et 6.

Les essais correspondant répondent aux normes indiquées au 6.1 et 6.2 ainsi qu'aux :

- NF EN 13286-41 sol traité Essai de résistance à la compression simple ;
- NF P 98-232-3 sol traité Essais de résistance à la traction indirecte (brésilien).

ARTICLE 7 - ESSAIS EN TRAVAUX

7.1 - Essais non destructifs sur pieux

Les essais suivants, visant à contrôler les fondations profondes, sont envisagés :

- auscultation par transparence ou sondage sonique : NF P94-160-1 ;
- essai par réflexion : NF P94-160-2 ;
- essai par impédance : NF P94-160-4.

Le détail des signaux d'enregistrements pourront être demandés à tout moment, sous format tableur.

Pour les essais de réflexion ou d'impédance, le détail des trois mesures consécutives doivent en

particulier être fournies au format tableur, dans les domaines temporel et fréquentiel.

7.2 - Carottage de fondations

Le carottage de fondations est envisagé. Un diamètre de carottes de 8 cm est demandé, recherché. Les carottes seront stockées en caisse. Une coupe du carottage est attendue, accompagnée des photographies des carottes juxtaposées.

7.3 - Sondage destructifs de fondations profondes

Ces sondages destructifs permettent de forer des zones sans nécessité de prélèvement d'échantillons, pour réaliser ultérieurement soit un carottage soit un passage caméra. Un diamètre minimal de 10 cm est recherché.

7.4 - Caméra en forage de fondations

Une image continue sur l'intégralité des parois du forage est attendue. La position et l'orientation de la caméra doivent être déterminées.

ARTICLE 8 - MISSIONS D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

Huit types de mission sont visés ici (au sens de la norme NF P94-500) :

- étude G1 en phase études préliminaires ;
- étude G2 AVP (Avant-projet géotechnique) ;
- étude G2 PRO ;
- étude G2 DCE/ACT ;
- supervision géotechnique d'exécution G4 en phase d'étude d'exécution ;
- supervision géotechnique d'exécution G4 en phase travaux ;
- étude G5 de diagnostic géotechnique en phase projet ;
- étude G5 de diagnostic géotechnique sur un ouvrage existant.

Dans le cadre de ces études, et si des investigations sont jugées nécessaires, leur programme argumenté est soumis préalablement à l'approbation du maître d'ouvrage.

Pour chaque restitution finale, les documents sont fournis en version électronique au format .pdf et présentant une taille « raisonnable » (tout en maintenant une bonne qualité des objets graphiques et assimilés).

Dans tous les cas, la mission comprend notamment :

- la participation à une réunion de démarrage ;
- la participation à une réunion de présentation finale ;
- la reprise du rapport suite aux remarques du maître d'ouvrage.

Les rapports d'ingénierie géotechnique pourront porter sur les problématiques suivantes :

- ouvrages géotechniques ;
- terrassement et ouvrages en terre ;
- ouvrages d'art.

Les éléments relatifs au choix, à la faisabilité et à la justification des ouvrages géotechniques sont les suivants :

- fondations d'ouvrages d'art, superficielles, profondes, semi-profondes ou mixtes ;
- fondations de murs anti-bruit ;
- ouvrages de soutènement :
 - murs de soutènement ;
 - écrans de soutènement, autostables ou tirantées ;
 - ouvrages en sol renforcé ;
 - ouvrages en remblai renforcé ;
 - parois clouées.

Les éléments relatifs aux problématiques de terrassement sont les suivants :

- extraction des matériaux ;
- Réutilisation des matériaux ;
 - valorisations possibles des sols meubles (y/ traitement), et rocheux (y/c en couche de forme, et le cas échéant en granulats pour chaussées ou béton) ;
 - traficabilité des formations terrassées par le projet ;
 - définition d'emprunts ;
 - définition des zones de dépôts ;
- Stabilité des ouvrages en terre :
 - stabilité de talus de déblais ;
 - remblais et dépôts sur sols compressibles, en intégrant les éléments relatifs à l'amélioration mécanique des terrains et l'accélération des phénomènes de tassement ;
 - conditions de construction sur versants instables, conception de pentes des talus (remblais et déblais).

Par ailleurs, le rapport (de tout niveau G1 à G2 PRO) devra impérativement, présenter un profil en long géotechnique, reprenant l'ensemble des investigations réalisées ainsi qu'un report en plan des relevés géologiques et des investigations réalisées (sondages et géophysique y/c éléments d'archives). Ces documents auront une échelle adaptée au niveau d'étude et à l'extension de la zone d'étude.

Il importe que le prestataire puisse démontrer pour chacune des phases le contrôle interne mis en

place au sein de sa structure. En conséquence, le maître d'ouvrage demande pour chaque document produit, la transmission du contrôle interne associé, de façon formalisé (de type grille de contrôle, tableau, rapport,...).

ARTICLE 9 - RECHERCHE D'AMIANTE DANS LES SOLS ET LES ROCHES

Le décret n°2017-899 du 9 mai 2017 relatif au repérage de l'amiante avant certaines opérations modifiant l'article R. 4412-97 du code du travail et plus spécifiquement l'alinéa II qui inclut « les autres immeubles tels que terrains, ouvrages de génie civil et infrastructures de transports » a pour objectif principal de détecter, localiser et caractériser tout matériaux et produits susceptibles d'engendrer un risque « amiante » pour les intervenants directs sur l'opération ou sur l'environnement plus large.

Cette recherche passe par « un repérage préalable à l'opération, adapté à sa nature, à son périmètre et au niveau de risque qu'elle présente ». Les modalités techniques d'intervention spécifiques ainsi que les méthodes d'analyse des matériaux susceptibles de contenir de l'amiante doivent être précisées par un arrêté du ministre du travail et par le ministre concerné par le domaine d'activité dans lequel s'inscrit l'opération. Les normes PR NF X46-102 et particulièrement la PR NF P94-001 sont en cours d'homologation.

Une fois le repérage établi, le donneur d'ordre/Maître d'ouvrage doit transmettre les résultats du repérage retranscrits dans un document lisible et clair à l'ensemble des intervenants sur le chantier, leur permettant d'évaluer le risque et mettre en œuvre les mesures de protection appropriées.

Pour cette mission, le titulaire devra diligenter les mesures suivantes issues de la norme PR NF P94-001 et présentant un degré d'approfondissement croissant en fonction du contexte géologique concerné :

9.1 - « mission A0 » :

Il s'agit de procéder à l'analyse bibliographique de pièces fournies par le maître d'ouvrage (documents propres au projet) et par la recherche et l'analyse de pièces existantes concernant la zone du projet (PLU, documentation techniques BRGM,...) permettant de déterminer si la zone considérée se situe en aléa ou non.

À l'issue des investigations un rapport d'enquête et analyse est fourni au maître d'ouvrage.

9.2 - « mission A1 » :

La mission A1 est enclenchée si la mission A0 n'a pas permis de conclure à l'absence d'objet géologique susceptible de contenir de l'amiante environnemental. Elle nécessite notamment une reconnaissance sur site, une inspection visuelle des objets géologiques accessibles à l'affleurement. Des investigations géophysiques pourront être prescrites par l'opérateur du repérage si besoin.

La mission donnera lieu à un rapport visant à présenter la reconnaissance et l'inspection sur site ainsi que les conclusions qui peuvent en être tirées.

9.3 - « mission A2 » :

Si la mission A1 n'a pas permis de conclure sur l'absence d'objet géologique susceptible de contenir de l'amiante environnemental, la mission A2 est enclenché par le maître d'ouvrage. La mission vise à préciser la reconnaissance terrain réalisée en A1 et donnera lieu à des analyses des échantillons suspectés par un laboratoire accrédité afin de déterminer la présence ou non d'amiante environnemental.

L'ensemble de ces missions devront être réalisées conformément à la réglementation en vigueur par un opérateur de repérage accrédité et qualifié, muni d'une attestation de compétences liée à la prévention du risque amiante (sous-section 4).

L'intervention donnera préalablement lieu à la réalisation d'un programme d'intervention comprenant notamment :

- les autorisations et moyens nécessaires,
- le périmètre d'intervention,
- le programme de repérage,
- un plan de prévention le cas échéant,
- la stratégie d'échantillonnage et de prélèvements,
- le planning d'intervention avec phasage,
- les moyens mis à disposition,
- toutes sujétions ou recherches approfondie à faire réaliser avant l'intervention par le maître d'ouvrage ne nécessitant pas l'évaluation du risque amiante.

Les rapports de repérage devront être clairs et précis et doivent permettre d'identifier, de localiser et quantifier la présence d'amiante.