



CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES GÉNÉRALES - TRAVAUX DE GENIE CIVIL

Fascicule n° 68

# EXECUTION DES TRAVAUX GEOTECHNIQUES DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

Version 1.0 – Décembre 2017



## **PREAMBULE**

La parution sur les dix dernières années d'un corpus normatif français cohérent dans le domaine de la géotechnique, tant en ce qui concerne les normes d'exécution que les normes de justification ou d'essais, a imposé la refonte du fascicule 68 du cahier des clauses techniques générales.

Le Groupe d'Études des Marchés « Ouvrages, Travaux et Maîtrise d'œuvre » a confié en janvier 2011 la maîtrise d'œuvre de la révision des fascicules travaux d'ouvrages de génie civil du CCTG dont le fascicule 68 au Centre Technique des Ouvrages d'Art de la DteclTM du CEREMA (ex Sétra).

Le groupe de travail constitué à cette occasion est composé de cinq groupes de rédaction et d'un groupe de relecture. Deux réunions plénières et plus de trente réunions de sous-groupes de rédaction ont permis d'aboutir à un document qui fut présenté au comité de relecture en février 2014. La prise en compte de plus de deux cents remarques du comité de relecture a été discutée lors de deux réunions. Le document a ensuite fait l'objet d'une enquête large auprès des représentants de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre publiques ainsi qu'auprès des associations syndicales et professionnelles. Cette enquête très large, conclue en novembre 2014 a permis la finalisation du présent document.

### **Principes d'établissement du texte**

Le présent fascicule est conçu comme un document d'application des normes d'exécution des travaux géotechniques aux marchés publics de travaux, lorsqu'elles existent. En ce sens, les clauses qui le composent viennent compléter et parfois adapter à une problématique de marché public les clauses des normes auxquelles il se réfère. Les rédacteurs du présent fascicule se sont également attachés à la lisibilité du texte et à sa facilité de prise en main. Ainsi, le texte ne comprend pas de note ou de clause non contractuelle. Conformément à la démarche développée dans les normes d'exécution, les différents chapitres traitent des techniques sans aucune référence à la fonction de l'ouvrage (soutènements, inclusion rigide).

Pour ce qui est du plan du document, chaque tête de chapitre, à l'exclusion du chapitre 1 traitant des dispositions communes, fait référence à une technique de travaux géotechniques. Il convient de noter que deux techniques développées dans le document ne disposent pas d'une norme d'exécution (fondations directes sur le sol et rabattement de nappes) tandis que treize autres chapitres font référence aux normes d'exécution de travaux géotechniques. Le sous-chapitrage pour chacune des techniques abordées est conforme à celui des normes d'exécution : domaine d'application, terminologie et référence normatives, conception études et reconnaissances, matériaux, exécution, surveillance essais et contrôles.

Le chapitre 1 « dispositions communes » comprend :

- les clauses techniques contractuelles harmonisées relatives aux documents à fournir par le titulaire, au management de la Qualité ainsi qu'au respect de l'Environnement ;
- les sous-chapitres domaine d'application, références normatives, conception études et reconnaissances, matériaux et exécution qui sont spécifiques au fascicule 68.

Vis-à-vis de l'ancienne version du fascicule, les autres chapitres couvrent :

- des techniques déjà abordées : pieux forés, pieux à refoulement, parois moulées, injections, rideaux de palplanches, fondations directes sur le sol, rabattement de nappes ;
- des techniques référencées dans les normes d'exécution qui n'étaient pas abordées : tirants d'ancrage, clouage, structures en sol-ciment, amélioration de sols par vibration, amélioration de sols par colonnes ballastées, micropieux, colonnes de sols traités, drains verticaux.

Les procédés constructifs composites décrits dans l'ancienne version du fascicule (fondations par caissons et des parois berlinoises) n'ont pas été repris dans cette version.

Le présent fascicule ne propose pas de liste de points d'arrêt ou de points critiques. L'explication tient au fait qu'il a semblé aux groupes de travail que cette détermination était intimement liée à la complexité du chantier, aux interfaces éventuelles ainsi qu'aux moyens de contrôles mis en œuvre. De ce fait, il a été convenu que la définition des points d'arrêt et des points critiques était du ressort des pièces particulières de marché.

Les annexes A et B compilent respectivement la liste des membres du groupe de travail ainsi que la liste des sigles et acronymes utilisés dans le texte.

Il a paru important à l'ensemble des membres du groupe de travail que le présent fascicule donne des indications aux rédacteurs de marchés sur la définition et la composition du dossier géotechnique à inclure dans le marché. Ces éléments ne pouvant pas être apparaître dans la partie contractuelle du fascicule il a été décidé de reporter l'ensemble de ces informations en annexe C du présent fascicule.

Afin de faciliter la veille de la documentation normative et technique, l'annexe D indique les paragraphes du fascicule qui font référence à ces textes techniques.

## Table des matières

<b>PREAMBULE .....</b>	<b>3</b>
<b>1.DISPOSITIONS COMMUNES .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.Domaine d'application .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.Références normatives .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.Conceptions, études et reconnaissances.....</b>	<b>12</b>
1.3.1.Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique .....	12
1.3.2.Modalités de justification des ouvrages géotechniques .....	13
<b>1.4.Dispositions relatives aux documents à fournir par le titulaire.....</b>	<b>13</b>
1.4.1.Inventaire des documents en période de préparation .....	13
1.4.2.Inventaire des documents en phase d'exécution .....	14
1.4.3.Inventaire des documents en phase de fin d'exécution des travaux.....	14
1.4.4.Présentation des documents .....	14
<b>1.5.Dispositions relatives au management de la qualité .....</b>	<b>14</b>
1.5.1.Définitions .....	14
1.5.2.Consistance des documents qualité en période de préparation .....	15
1.5.2.1.Le plan qualité (PAQ) .....	15
1.5.2.2.La note d'organisation générale (NOG) du PAQ.....	16
1.5.2.3.Les procédures d'études et travaux .....	17
1.5.2.4.Les cadres de documents de contrôle d'exécution .....	18
1.5.3.Consistance des documents qualité en phase d'exécution .....	18
1.5.4.Consistance des documents qualité en phase de fin d'exécution.....	19
<b>1.6.Dispositions relatives au respect de l'environnement .....</b>	<b>19</b>
1.6.1.Définitions .....	19
1.6.2.Consistance des documents environnement en période de préparation .....	20
1.6.2.1.Le plan de respect de l'environnement (PRE).....	20
1.6.2.2.La composante « gestion des déchets » du PRE (ou SOGED).....	21
1.6.3.Consistance des documents environnement en phase d'exécution .....	21
1.6.4.Consistance des documents environnement en phase de fin d'exécution .....	22
<b>1.7.Autres documents liés à la réalisation des travaux.....</b>	<b>22</b>
1.7.1.Dispositions relatives au programme d'exécution .....	22
1.7.2.Dispositions relatives aux études d'exécution.....	24
<b>1.8.Matériaux .....</b>	<b>24</b>
1.8.1.Étude, fabrication et contrôle des bétons .....	24
1.8.2.Remblais .....	24
<b>1.9.Exécution .....</b>	<b>24</b>
1.9.1.Ouvrages provisoires.....	24
1.9.1.1.Généralités .....	24

1.9.1.2.Catégories d'ouvrages provisoires .....	25
1.9.1.3.Désignation et rôle du chargé des ouvrages provisoires (COP) .....	25
1.9.1.4.Projet des ouvrages provisoires .....	25
1.9.1.5.Maîtrise de la conformité des ouvrages provisoires .....	26
1.9.1.6.Soutènements, étaitements, blindages et protection des parois des fouilles.....	27
1.9.2.Tolérances d'implantation .....	27
1.9.3.Travaux préparatoires .....	27
1.9.3.1.Plate-forme .....	27
1.9.3.2.Traitement des sols .....	27
1.9.3.3.Installations et matériels d'exécution .....	27
1.9.4.Remblaiement des fouilles après exécution des ouvrages .....	28
<b>1.10.Impact sur l'avoisnant .....</b>	<b>28</b>
<b>2.FONDATIONS DIRECTES SUR LE SOL .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.Domaine d'application .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.Références normatives .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.études d'exécution .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.Matériaux .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.Exécution .....</b>	<b>30</b>
2.5.1.Tolérances .....	30
2.5.2.Fouilles pour fondations .....	30
2.5.2.1.Préparation du fond de fouille.....	30
2.5.2.2.Finition du fond de fouille.....	30
2.5.2.3.Protection du fond de fouille .....	30
2.5.2.4.Réception du fond de fouille .....	31
2.5.3.Protection contre les eaux et épaissements .....	31
2.5.4.Substitutions .....	31
2.5.5.Béton de propreté .....	31
2.5.6.Exécution des ouvrages de fondation .....	32
<b>2.6.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>32</b>
2.6.1.Surveillance .....	32
2.6.2.Essais et contrôles.....	32
<b>3.PIEUX FORÉS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.Domaine d'application .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>33</b>
3.2.1.Références normatives .....	33
3.2.2.Terminologie .....	33
<b>3.3.Conception, études et reconnaissances .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.Matériaux .....</b>	<b>33</b>
3.4.1.Fluides stabilisateurs .....	34
3.4.2.Béton .....	34
3.4.2.1.Granulats .....	34
3.4.2.2.Béton frais.....	34
3.4.3.Coulis.....	35
3.4.4.Ajout d'autres éléments .....	35
<b>3.5.Exécution .....</b>	<b>35</b>
3.5.1.Tolérances d'exécution.....	35

3.5.2.Forage .....	35
3.5.2.1.Forages sensitifs.....	35
3.5.2.2.Soutènement des parois du forage .....	35
3.5.2.3.Forage non soutenu.....	35
3.5.2.4.Curage du fond de pieu .....	36
3.5.2.5.Forage à la tarière continue creuse .....	36
3.5.3.Armatures .....	36
3.5.4.Bétonnage et recépage .....	36
3.5.4.1.Généralités .....	36
3.5.4.2.Bétonnage à sec.....	36
3.5.4.3.Bétonnage en conditions immergées .....	37
3.5.4.4.Bétonnage à la tarière continue creuse.....	37
3.5.4.5.Recépage .....	37
<b>3.6.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>37</b>
3.6.1.Pieu de convenance .....	37
3.6.2.Essais de chargement .....	38
3.6.2.1.Cas des pieux travaillant en traction.....	38
3.6.3.Surveillance .....	38
3.6.4.Contrôles .....	39
<b>4.PAROIS MOULEES .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.Domaine d'application .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>40</b>
4.2.1.Références normatives .....	40
4.2.2.Termes et définitions .....	40
<b>4.3.Conception, études et reconnaissances .....</b>	<b>40</b>
4.3.1.Caractéristiques particulières .....	40
4.3.2.Modalité de justification .....	40
<b>4.4.Matériaux .....</b>	<b>41</b>
4.4.1.Fluides stabilisateurs .....	41
4.4.2.Béton .....	41
4.4.2.1.Granulats .....	41
4.4.2.2.Béton frais.....	41
4.4.3.Coulis.....	42
4.4.3.1.Ajout d'autres éléments .....	42
4.4.4.Joints .....	42
4.4.5.Traitement des parements.....	42
<b>4.5.Exécution.....</b>	<b>42</b>
4.5.1.Tolérances d'exécution.....	42
4.5.1.1.Parois moulées exécutées en place.....	42
4.5.1.2.Parois moulées préfabriquées .....	43
4.5.2.Plan de panneautage .....	43
4.5.3.Forage sans fluide stabilisateur.....	43
4.5.4.Curage du fond de panneau.....	43
4.5.5.Armatures .....	43
4.5.6.Mise en place des armatures ou d'autres éléments .....	43
4.5.7.Bétonnage et recépage .....	43
4.5.7.1.Généralités .....	43
4.5.7.2.Bétonnage à sec.....	44
4.5.7.3.Recépage .....	44
4.5.8.Traitement des parements.....	44
<b>4.6.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>44</b>
4.6.1.Panneau de convenance .....	44
4.6.2.Surveillance .....	45

4.6.3. Contrôles .....	45
<b>5. PIEUX AVEC REFOULEMENT DE SOL .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1. Domaine d'application .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2. Terminologie et références normatives.....</b>	<b>47</b>
5.2.1. Références normatives .....	47
5.2.2. Termes et définitions .....	47
<b>5.3. Conceptions, études et reconnaissances.....</b>	<b>47</b>
5.3.1. Caractéristiques particulières .....	47
5.3.2. Modalité de justification .....	47
<b>5.4. Matériaux .....</b>	<b>48</b>
5.4.1. Mortier.....	48
5.4.2. Coulis.....	48
5.4.3. Cas des pieux coulés en place.....	48
<b>5.5. Exécution .....</b>	<b>48</b>
5.5.1. Généralités .....	48
5.5.1.1. Tolérances d'exécution.....	48
5.5.1.2. Armatures .....	48
5.5.2. Pieux préfabriqués.....	48
5.5.2.1. Recépage .....	48
5.5.2.2. Entures .....	48
5.5.3. Pieux exécutés en place.....	48
5.5.3.1. Bétonnage .....	49
5.5.3.2. Recépage .....	49
<b>5.6. Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>49</b>
5.6.1. Pieu de convenance (essai de fonçage) .....	49
5.6.2. Essais de chargement .....	50
5.6.2.1. Cas général .....	50
5.6.2.2. Cas des pieux travaillant en traction.....	50
5.6.3. Surveillance .....	50
5.6.4. Contrôles .....	50
<b>6. RIDEAUX DE PALPLANCHES .....</b>	<b>51</b>
<b>6.1. Domaine d'application .....</b>	<b>51</b>
<b>6.2. Terminologie et références normatives.....</b>	<b>51</b>
6.2.1. Références normatives .....	51
6.2.2. Termes et définitions .....	51
<b>6.3. Matériaux .....</b>	<b>51</b>
6.3.1. Caractéristiques des aciers .....	51
6.3.2. Protection contre la corrosion.....	51
6.3.3. Étanchement des serrures .....	51
6.3.4. Traitement des parements.....	52
<b>6.4. Exécution .....</b>	<b>52</b>
6.4.1. Généralités .....	52
6.4.1.1. Plan de mise en œuvre.....	52
6.4.1.2. Programme de fonçage .....	52
6.4.2. Soudage et découpage d'éléments en acier .....	53
6.4.3. Fonçage.....	53
6.4.4. Mise en place des ancrages, liernes et butons .....	54

<b>6.5.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>54</b>
6.5.1.Plot de convenance (essai de fonçage) .....	54
6.5.2.Surveillance .....	54
6.5.3.Contrôles .....	55
<b>7.INJECTIONS .....</b>	<b>56</b>
<b>7.1.Domaine d'application .....</b>	<b>56</b>
<b>7.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>56</b>
7.2.1.Terminologie .....	56
7.2.2.Références normatives.....	57
<b>7.3.études d'exécution .....</b>	<b>57</b>
7.3.1.Études d'exécution .....	57
<b>7.4.Matériaux .....</b>	<b>58</b>
7.4.1.Généralités .....	58
7.4.2.Produits d'injection.....	58
<b>7.5.Exécution .....</b>	<b>58</b>
<b>7.6.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>58</b>
7.6.1.Plot de convenance .....	58
7.6.2.Surveillance .....	59
7.6.3.Contrôles .....	59
<b>8.ÉLEMENTS ET STRUCTURES DE SOL-CIMENT REALISES PAR JET .....</b>	<b>60</b>
<b>8.1.Domaine d'application .....</b>	<b>60</b>
<b>8.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>60</b>
8.2.1.Terminologie .....	60
8.2.2.Références normatives.....	60
<b>8.3.études d'exécution .....</b>	<b>60</b>
<b>8.4.Matériaux .....</b>	<b>61</b>
<b>8.5.Exécution .....</b>	<b>61</b>
<b>8.6.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>61</b>
8.6.1.Généralités .....	61
8.6.2.Plot de convenance .....	61
8.6.3.Surveillance .....	62
8.6.4.Essais .....	62
8.6.4.1.Essais mécaniques sur les coulis de ciment .....	62
8.6.4.2.Essais sur les éléments de sol-ciment réalisés par jet.....	63
8.6.5.Contrôle .....	63
<b>9. CLOUAGE.....</b>	<b>65</b>
<b>9.1.Domaine d'application .....</b>	<b>65</b>
<b>9.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>65</b>
9.2.1.Terminologie .....	65
9.2.2.Références normatives.....	65
<b>9.3.études d'exécution .....</b>	<b>65</b>



<b>9.4. Matériaux</b> .....	<b>66</b>
9.4.1. Généralités .....	66
9.4.2. Coulis d'injection .....	66
<b>9.5. Exécution</b> .....	<b>66</b>
9.5.1. Tolérances .....	66
9.5.2. Méthodes de mise en place par fonçage .....	66
9.5.3. Méthodes de mise en place par forage .....	66
9.5.4. Procédure d'injection .....	66
9.5.4.1. Injection gravitaire .....	67
9.5.4.2. Injection de compensation d'essorage .....	67
9.5.4.3. Injection sous pression .....	67
9.5.5. Réalisation du drainage .....	67
9.5.6. Réalisation du parement .....	67
<b>9.6. Surveillance, essais et contrôles</b> .....	<b>68</b>
9.6.1. Clou de convenance .....	68
9.6.2. Surveillance .....	68
9.6.3. Essais .....	68
9.6.3.1. Essais de clou .....	68
9.6.3.2. Essais sur les matériaux .....	69
9.6.3.3. Essais de stabilité de la paroi à clouer .....	69
9.6.4. Contrôles .....	69
<b>10. TIRANTS D'ANCRAGE</b> .....	<b>71</b>
<b>10.1. Domaine d'application</b> .....	<b>71</b>
<b>10.2. Terminologie et références normatives</b> .....	<b>71</b>
10.2.1. Terminologie .....	71
10.2.2. Références normatives .....	71
<b>10.3. études d'exécution</b> .....	<b>71</b>
<b>10.4. Matériaux</b> .....	<b>72</b>
10.4.1. Généralités .....	72
10.4.2. Coulis d'injection .....	72
<b>10.5. Exécution</b> .....	<b>72</b>
10.5.1. Protection anticorrosion .....	72
10.5.1.1. Coulis utilisés comme barrière de protection contre la corrosion et pour la transmission des charges .....	72
10.5.1.2. Protection contre la corrosion de la tête d'ancrage .....	72
10.5.2. Injection .....	72
10.5.3. Mise en tension .....	73
<b>10.6. Surveillance, essais et contrôles</b> .....	<b>73</b>
10.6.1. Tirant de convenance .....	73
10.6.2. Surveillance .....	73
10.6.3. Essais .....	74
10.6.4. Contrôles .....	74
<b>11. COLONNES DE SOL TRAITE</b> .....	<b>75</b>
<b>11.1. Domaine d'application</b> .....	<b>75</b>
<b>11.2. Terminologie et références normatives</b> .....	<b>75</b>
11.2.1. Terminologie .....	75
11.2.2. Références normatives .....	75

<b>11.3.Études d'exécution</b> .....	<b>75</b>
<b>11.4.Matériaux</b> .....	<b>75</b>
11.4.1.Généralités .....	75
11.4.2.Produits de traitement .....	76
<b>11.5.Exécution</b> .....	<b>76</b>
<b>11.6.Surveillance, essais et contrôles</b> .....	<b>76</b>
11.6.1.Colonne de convenance .....	76
11.6.2.Surveillance .....	77
11.6.3.Contrôles .....	77
<b>12.AMELIORATION DES MASSIFS DE SOL PAR VIBRATION PROFONDE</b> .....	<b>79</b>
<b>12.1.Domaine d'application</b> .....	<b>79</b>
<b>12.2.Terminologie et références normatives</b> .....	<b>79</b>
12.2.1.Références normatives .....	79
12.2.2.Termes et définitions .....	79
<b>12.3.Études d'exécution</b> .....	<b>79</b>
<b>12.4.Matériaux</b> .....	<b>80</b>
12.4.1.Généralités .....	80
<b>12.5.Exécution</b> .....	<b>80</b>
<b>12.6.Surveillance, essais et contrôles</b> .....	<b>80</b>
12.6.1.Plot de convenance .....	80
12.6.2.Surveillance .....	81
12.6.3.Contrôles .....	81
<b>13.AMELIORATION DES MASSIFS DE SOL PAR COLONNES BALLASTEES</b> .....	<b>82</b>
<b>13.1.Domaine d'application</b> .....	<b>82</b>
<b>13.2.Terminologie et références normatives</b> .....	<b>82</b>
13.2.1.Références normatives.....	82
13.2.2.Termes et définitions .....	82
<b>13.3.Études d'exécution</b> .....	<b>82</b>
<b>13.4.Matériaux</b> .....	<b>82</b>
13.4.1.Généralités .....	83
13.4.2.Matériaux pour le traitement des massifs de sol par colonnes ballastées .....	83
<b>13.5.Exécution</b> .....	<b>83</b>
<b>13.6.Surveillance, essais et contrôles</b> .....	<b>83</b>
13.6.1.Colonne ballastée de convenance .....	83
13.6.2.Surveillance .....	84
13.6.3.Contrôles .....	84
<b>14.DRAINS VERTICAUX</b> .....	<b>85</b>
<b>14.1.Domaine d'application</b> .....	<b>85</b>

<b>14.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>85</b>
<b>14.3.Études d'exécution.....</b>	<b>85</b>
<b>14.4.Matériaux.....</b>	<b>85</b>
14.4.1.Généralités.....	85
<b>14.5.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>85</b>
14.5.1.Plot de drains verticaux de convenance.....	86
14.5.2.Surveillance.....	86
<b>15.MICROPIEUX.....</b>	<b>87</b>
<b>15.1.Domaine d'application.....</b>	<b>87</b>
<b>15.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>87</b>
15.2.1.Références normatives.....	87
15.2.2.Terminologie.....	87
<b>15.3.Conception, études d'exécution.....</b>	<b>87</b>
15.3.1.Conception.....	87
15.3.2.Modalité de justification.....	87
15.3.3.Armatures et éléments porteurs.....	89
15.3.4.Matériaux pour le coulis, le mortier et le béton.....	89
15.3.5.Coulis de ciment.....	89
15.3.6.Mortier et béton.....	90
<b>15.4.Exécution.....</b>	<b>90</b>
15.4.1.Tolérances d'exécution.....	90
15.4.2.Mise en place du coulis.....	90
<b>15.5.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>91</b>
15.5.1.Micropieu de convenance.....	91
15.5.2.Essais de chargement.....	91
15.5.2.1.Essais de chargement statique de micropieu préliminaire.....	92
15.5.2.2.Essais de chargement statique sur micropieu de l'ouvrage.....	92
15.5.2.3. Essais à réaliser.....	92
15.5.3.Surveillance.....	92
15.5.4.Contrôles.....	93
<b>16.RABATTEMENT DE NAPPE.....</b>	<b>94</b>
<b>16.1.Domaine d'application.....</b>	<b>94</b>
<b>16.2.Terminologie et références normatives.....</b>	<b>94</b>
16.2.1.Références normatives.....	94
16.2.2.Terms et définitions.....	94
<b>16.3.Études d'exécution.....</b>	<b>94</b>
<b>16.4.Exécution.....</b>	<b>95</b>
<b>16.5.Surveillance, essais et contrôles.....</b>	<b>95</b>
16.5.1.Surveillance.....	95
16.5.2.Essais et contrôles.....	96
<b>ANNEXE A : COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL.....</b>	<b>97</b>

<b>ANNEXE B : GLOSSAIRE DES SIGLES ET ACRONYMES UTILISES.....</b>	<b>99</b>
<b>ANNEXE C : COMPOSITION DU DOSSIER GEOTECHNIQUE .....</b>	<b>101</b>
<b>1 DISPOSITIONS COMMUNES .....</b>	<b>101</b>
1.1 Catégorie géotechnique de l'ouvrage.....	101
1.2 Composition du dossier géotechnique.....	101
1.3 Mémoire de synthèse géotechnique.....	101
1.4 Conditions techniques imprévues.....	101
<b>2 FONDATIONS DIRECTES SUR LE SOL .....</b>	<b>102</b>
<b>3 PIEUX FORES.....</b>	<b>102</b>
3.1 Composition du dossier géotechnique.....	102
3.2 Modalité de justification .....	102
<b>4 PAROIS MOULEES.....</b>	<b>102</b>
4.1 Caractéristiques particulières .....	102
4.2 Modalités de justification.....	102
4.3 Composition dossier géotechnique .....	102
<b>5 PIEUX AVEC REFOULEMENT DE SOL .....</b>	<b>103</b>
5.1 Caractéristiques particulières .....	103
5.2 Modalité de justification .....	103
5.3 Composition du dossier géotechnique.....	103
<b>6 RIDEAUX DE PALPLANCHES .....</b>	<b>103</b>
6.1 Caractéristiques particulières .....	103
6.2 Composition du dossier géotechnique.....	103
<b>7 INJECTIONS .....</b>	<b>103</b>
<b>8 ÉLÉMENTS ET STRUCTURES DE SOL-CIMENT REALISES PAR JET .....</b>	<b>104</b>
<b>9 CLOUAGE.....</b>	<b>105</b>
9.1 Composition du dossier géotechnique.....	105
9.2 Études de projet.....	105

<b>10 TIRANTS D'ANCRAGE.....</b>	<b>105</b>
<b>11 COLONNES DE SOL TRAITE.....</b>	<b>106</b>
<b>12 AMELIORATION DE SOLS PAR VIBRATION PROFONDE.....</b>	<b>106</b>
<b>13 AMELIORATION DE SOLS PAR COLONNES BALLASTEES.....</b>	<b>107</b>
<b>14 DRAINS VERTICAUX.....</b>	<b>108</b>
<b>15 MICROPIEUX.....</b>	<b>108</b>
<b>15.1 Conception.....</b>	<b>108</b>
<b>15.2 Modalité de justification.....</b>	<b>108</b>
<b>15.3 Composition du dossier géotechnique.....</b>	<b>110</b>
<b>16 RABATTEMENT DE NAPPE.....</b>	<b>110</b>
<b>ANNEXE D : TEXTES DE REFERENCES.....</b>	<b>112</b>

## **1. DISPOSITIONS COMMUNES**

### **1.1. DOMAINE D'APPLICATION**

Le présent fascicule concerne l'exécution des travaux géotechniques spéciaux pour ouvrages de génie civil, à savoir :

- fondations directes sur le sol
- pieux forés,
- parois moulées,
- pieux avec refoulement du sol,
- rideaux de palplanches
- injection,
- colonnes, panneaux et structures de sol-ciment réalisés par jet,
- clouage,
- tirants d'ancrage,
- colonnes de sols traités,
- améliorations des massifs de sols par vibration profonde,
- améliorations des massifs de sols par colonnes ballastées,
- drains verticaux,
- micropieux,
- rabattement de nappe.

Pour les techniques pouvant être assimilées à l'une ou plusieurs des techniques précitées, soit en termes d'exécution, soit en termes de matériaux constitutifs, les prescriptions du présent fascicule s'appliquent pour autant qu'elles soient cohérentes ou rendues telles, soit par le marché, soit par des dispositions arrêtées par le maître d'œuvre sur proposition du titulaire.

Des techniques non décrites dans le présent fascicule, soit en termes d'exécution, soit en termes de matériaux constitutifs, pourront être utilisées à condition qu'elles aient fait l'objet d'un cahier des charges particulier comprenant les spécifications d'exécution et de contrôle détaillées, ainsi que les valeurs adéquates des paramètres de dimensionnement (capacité portante, déformabilité, résistance des matériaux). Ces valeurs devront être basées sur des justifications expérimentales réalisées sur le site ou dans des situations comparables couvrant celles prévalant pour le projet.

## **1.2. REFERENCES NORMATIVES**

Les techniques décrites dans le présent fascicule sont déclinées à partir des normes d'exécution des travaux géotechniques lorsqu'elles existent.

- NF EN 1536 – Pieux forés
- NF EN 1537 – Tirants d'ancrage
- NF EN 1538 – Parois moulées
- NF EN 12063 – Rideaux de palplanches
- NF EN 12699 – Pieux avec refoulement du sol
- NF EN 14199 – Micropieux
- NF EN 12715 – Injections
- NF EN 12716 – Colonnes, panneaux et structures de sol-ciment réalisés par jet
- NF EN 14679 – Colonnes de sol traité
- NF EN 14731 – Amélioration des massifs de sol par vibration
- NF EN 14490 – Clouage
- NF EN 15237 – Drains verticaux

Les techniques listées ci-après ne font pas l'objet d'une norme d'exécution de travaux géotechniques :

- fondations superficielles ;
- rabattement de nappes.

## **1.3. CONCEPTIONS, ETUDES ET RECONNAISSANCES**

### **1.3.1. Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique**

Conformément à la norme NF P94-500, les missions d'ingénierie géotechnique comportent trois étapes.

L'étape 1 est composée des études géotechniques préalables à la charge du maître d'ouvrage.

L'étape 2 est l'étude géotechnique de conception qui permet d'élaborer les pièces techniques du marché, à charge du maître d'ouvrage.

L'étape 3 est l'étape de réalisation (études et suivis) :

- les études et le suivi géotechniques d'exécution confiés au titulaire ;
- la supervision géotechnique d'exécution à la charge du maître d'ouvrage.

### **1.3.2. Modalités de justification des ouvrages géotechniques**

Les ouvrages sont justifiés compte tenu des actions, combinaisons d'actions et hypothèses de calcul fixées :

- par les normes NF EN 1990 à NF EN 1999, leurs annexes nationales ainsi que les normes d'application nationales lorsqu'elles existent ;
- par le CCTP ;
- par le maître d'œuvre sur proposition du titulaire dans le cas d'un procédé non visé par les normes européennes ou françaises ou par les documents référencés par le marché.

Les justifications et calculs sont effectués par le titulaire et soumis au visa du maître d'œuvre.

Les calculs relatifs aux ouvrages sont établis en tenant compte des règles en vigueur concernant leurs matériaux constitutifs (maçonnerie, béton, béton armé, béton précontraint, acier, etc.), sous réserve des prescriptions propres au marché, dans le cas de procédés ne faisant pas l'objet du présent fascicule.

## **1.4. DISPOSITIONS RELATIVES AUX DOCUMENTS A FOURNIR PAR LE TITULAIRE**

### **1.4.1. Inventaire des documents en période de préparation**

Sauf dispositions contraires ou complémentaires mentionnées au sein du marché, le titulaire fournit au maître d'œuvre, en phase de préparation, les informations suivantes :

- le plan qualité (PAQ), qui précise et complète les dispositions générales prévues au schéma d'organisation du plan qualité (SOPAQ), ou autre document rendu contractuel, qui en tient lieu ;
- les propositions pour les origines et natures des matériaux extérieurs au chantier ;
- le programme d'exécution ;
- le plan de respect de l'environnement (PRE), qui précise et complète les dispositions générales prévues au schéma d'organisation du plan de respect de l'environnement (SOPRE), ou autre document rendu contractuel qui en tient lieu ;
- s'il est requis, le plan particulier de sécurité et de protection de la santé des travailleurs (PPSPS), ou le PPSPS simplifié (pour les opérations comportant des risques particuliers) ;
- les procédures d'études ;
- les études d'exécution et les procédures de travaux (au minimum celles relatives aux travaux devant démarrer dès la fin de la période de préparation) ;
- les documents requis par la réglementation pour les travaux à proximité d'ouvrages souterrains ou aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes répondant aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

En accord avec le maître d'œuvre, le titulaire peut proposer un document unique traitant des trois volets (Qualité, Sécurité, Environnement).

Lors de cette période de préparation, le titulaire et le maître d'œuvre s'accordent sur les modalités de gestion (classement, codification, stockage, modification, diffusion) de l'ensemble des documents à produire par le titulaire, et à échanger avec les autres intervenants dans le cadre du marché.

### **1.4.2. Inventaire des documents en phase d'exécution**

Le titulaire fournit au maître d'œuvre les informations suivantes pendant le déroulement des travaux :



- les études d'exécution et les procédures de travaux, par partie d'ouvrage ou par nature de travaux, selon la liste et la planification de production et d'obtention de visa, prévues au Plan Qualité (ou autre document en tenant lieu) ;
- les mises à jour du programme d'exécution (dont celles du calendrier d'exécution) ;
- en tant que de besoin, la ou les mises à jour (compléments, révisions) ;
- du Plan Qualité (PAQ), ou autre document en tenant lieu ;
- du Plan de Respect de l'Environnement (PRE), ou autre document en tenant lieu.

Ces documents sont soumis au visa du maître d'œuvre pendant le déroulement des travaux (ou avant chaque phase de travaux concernée).

### **1.4.3. Inventaire des documents en phase de fin d'exécution des travaux**

En fin d'exécution, le titulaire fournit au maître d'œuvre les documents suivants en vue de l'établissement du dossier des ouvrages exécutés (DOE) :

- un ou plusieurs documents, relatifs au management de la qualité pour les travaux sous sa responsabilité, hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux ;
- un ou plusieurs documents, relatifs au respect de l'environnement, hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes répondant aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

### **1.4.4. Présentation des documents**

Les documents portent un titre et un numéro d'ordre, incluant un indice de révision. Ils sont datés et signés par le titulaire.

Toute modification en cours de projet est consignée sur ces documents, repérée, datée et signée.

## **1.5. DISPOSITIONS RELATIVES AU MANAGEMENT DE LA QUALITE**

### **1.5.1. Définitions**

Les dispositions énoncées se réfèrent aux définitions spécifiques suivantes.

#### Contrôle intérieur

Les opérations de contrôle intérieur peuvent prendre l'une ou l'autre, ou les deux modalités suivantes, selon le contexte de l'opération :

- contrôle interne (modalité de contrôle intérieur) : ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais exercés sous l'autorité du (ou des) responsable(s) de la fabrication ou de l'exécution, dans les conditions définies par le plan qualité ;
- contrôle externe (modalité de contrôle intérieur) : ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais exercées sous l'autorité ou à la demande d'un responsable indépendant de la chaîne de production ou du chantier d'exécution, mandaté par le titulaire.

### Contrôle extérieur

Ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais, que le maître d'œuvre exécute ou fait exécuter par un organisme indépendant du titulaire, pour le compte du maître d'ouvrage.

### Fiche de contrôle

Document de suivi d'exécution qui constitue la trace de la réalité des contrôles effectués.

### Fiche de non-conformité

Document de suivi d'exécution qui enregistre une non-conformité, ses causes, son traitement et les actions correctives ou corrections nécessaires.

### Plan de contrôle global

Document établi par le maître d'œuvre et validé par le maître d'ouvrage, organisant, pour l'opération, la coordination et la complémentarité des opérations de contrôle intérieur des différents intervenants et de contrôle extérieur.

### Plan Qualité (PQ ou PAQ)

Document établi par le titulaire en phase de préparation, spécifiant l'organisation, les procédures d'exécution et de contrôle, et les ressources associées, qu'il s'engage à mettre en œuvre pour l'obtention de la qualité requise.

### Point critique

Étape faisant l'objet d'une information préalable du maître d'œuvre, pour qu'il puisse, s'il le juge utile, y assister et en vérifier les conditions d'exécution.

### Point d'arrêt

Étape au-delà de laquelle une activité ne peut se poursuivre sans un accord formel du maître d'œuvre, formalisé par un document d'enregistrement.

### Schéma Directeur de la Qualité (SDQ)

Document qui, pour une opération donnée et s'il y a lieu, présente l'organisation d'ensemble pour la qualité de réalisation du ou des ouvrages et la gestion des interfaces, et assure la cohérence et la complémentarité des plans qualité de tous les intervenants.

### Schéma Organisationnel du Plan Qualité (SOPAQ)

Document fourni par une entreprise au sein de son offre en phase de consultation, énonçant les principales dispositions d'organisation et de contrôles qu'elle s'engage, si son offre est retenue, à mettre en œuvre et à développer dans son plan qualité.

## **1.5.2. Consistance des documents qualité en période de préparation**

### 1.5.2.1. Le plan qualité (PAQ)

Le plan qualité (PAQ) présente, de manière détaillée, les dispositions de moyens et d'organisation prévues par le titulaire, et qu'il s'engage de mettre en œuvre, pour garantir l'obtention des exigences spécifiées pour les travaux lui incombant.

Le PAQ est établi spécifiquement pour l'opération objet du marché. Il peut intégrer des dispositions préexistantes dans le système de management de la qualité du titulaire, tout en leur apportant les modifications et compléments nécessaires pour répondre aux spécificités de l'opération.

Il comprend :

- une note d'organisation générale (NOG) qui définit :
  - les éléments d'organisation concourant à l'obtention de la qualité,
  - s'il y a lieu, les plans qualité des cotraitants et sous-traitants, avec mention des articulations entre ces plans et avec le PAQ du titulaire.
- les procédures d'exécution comprenant :
  - les procédures d'études,
  - les procédures de travaux, par partie d'ouvrage ou nature de travaux.
- les cadres de documents de suivi d'exécution.

Si le marché le prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes répondant aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage. Les procédures qualité relatives à l'exécution et aux contrôles liés aux points d'arrêt et points critiques, ainsi qu'à la gestion des documents d'exécution, sont documentées.

#### 1.5.2.2. La note d'organisation générale (NOG) du PAQ

La note d'organisation générale (NOG) du PAQ du titulaire fournit les informations suivantes :

- l'engagement du titulaire sur la mise en œuvre des dispositions définies au sein du PAQ ;
- la présentation des intervenants : titulaire, sous-traitants, fournisseurs principaux, et les prestataires en charge des opérations de contrôle intérieur s'il y a lieu, ainsi que les modalités de gestion de leurs interfaces ;
- la présentation de l'organisation des responsabilités et moyens, dont,
  - l'organigramme et l'encadrement responsable des travaux objet du marché avec identification des responsabilités,
  - l'organisation et l'affectation des principales tâches,
  - les principaux moyens, matériels et approvisionnements ;
- les modalités d'organisation du contrôle intérieur, avec :
  - le cadre d'organisation du contrôle intérieur,
  - le plan de contrôle intérieur établi par le titulaire, qui définit les différents contrôles et, pour chacun,
    - les exigences,
    - les références aux spécifications d'exécution,
    - la méthode de contrôle, de suivi ou d'essai,
    - la définition de la zone de contrôle,
    - la fréquence du contrôle, du suivi ou des essais,
    - les critères d'acceptation,
    - la documentation associée,
    - les responsables du contrôle et des suites à donner à ce contrôle,
    - l'implication, s'il y a lieu, de tierces parties dans le contrôle ;

- la liste des points d'arrêt et points critiques, avec,
  - mention des délais et des documents de contrôle associés,
  - les modalités de levée des points d'arrêts ;
- l'organisation pour la maîtrise (détection et traitement) des non-conformités, et le suivi des actions curatives et correctives, selon le niveau de gravité de l'écart constaté ;
- la liste des études et procédures d'exécution, nécessaires à la réalisation des ouvrages provisoires et définitifs, et leur calendrier prévisionnel de production (échancier d'envoi et dates prévisionnelles pour l'obtention du visa du maître d'œuvre).

Si le marché le prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes explicitant les dispositions d'organisation prévues en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

#### 1.5.2.3. Les procédures d'études et travaux

Relativement aux ouvrages provisoires et définitifs, et conformément à la liste des procédures d'exécution définie au sein de la note d'organisation générale, le titulaire fournit :

- les procédures d'études décrivant, pour chacune,
  - la partie des travaux, objet de la procédure,
  - les modalités de validation des études,
  - les modalités de maîtrise des modifications des études ;
- les procédures de travaux, par partie d'ouvrage ou par nature de travaux, décrivant, pour chaque procédure,
  - la partie des travaux, objet de la procédure,
  - les documents de référence,
  - la liste des ressources utilisées (personnels, matériels, produits),
  - les méthodes, modalités, modes opératoires de mise en œuvre des travaux pour assurer le respect final des exigences,
- les modalités de contrôle intérieur associées à la procédure avec,
  - les intervenants,
  - les épreuves et ouvrages de convenance<sup>1</sup> à réaliser, la nature et la fréquence des contrôles, les moyens à mettre en œuvre,
  - les critères d'acceptation ;
- s'il y a lieu, les interactions avec d'autres procédures et les conditions préalables requises pour l'exécution de certaines tâches.

Si le marché le prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes explicitant les dispositions prévues en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

#### 1.5.2.4. Les cadres de documents de contrôle d'exécution

Le titulaire fournit dans son PAQ les modèles de documents :

---

1 complément aux clauses communes harmonisées

- des documents de contrôle intérieur,
- des fiches de non-conformité.

Il précise également les conditions et délais dans lesquels ces documents sont renseignés (identifiés, enregistrés), validés, exploités, puis archivés.

### **1.5.3. Consistance des documents qualité en phase d'exécution**

Les mises à jour du plan qualité du titulaire au cours des travaux sont soumises à visa du maître d'œuvre. Elles portent notamment sur :

- les procédures d'exécution non encore fournies lors de la phase de préparation,
- les adaptations des éléments du PAQ requises par les évolutions du chantier.

#### Résultats du contrôle intérieur :

Les résultats des opérations de contrôle intérieur effectuées sous la responsabilité du titulaire sont reportés sur les documents de contrôle. Selon les dispositions prévues au sein des pièces particulières du marché, ils sont (hormis ceux concernant les contrôles liés aux points d'arrêt et à la gestion de non-conformités) :

- soit tenus à la disposition du maître d'œuvre sur le chantier jusqu'à la fin des travaux,
- soit adressés au maître d'œuvre, au fur et à mesure de leur obtention.

Ces documents ne sont pas soumis au visa du maître d'œuvre ; seuls leurs cadres, définis au sein du PAQ du titulaire et ceux de ses sous-traitants éventuels en phase de préparation, y sont soumis.

#### Détection et traitement des non-conformités :

La démarche de traitement des non-conformités s'articule autour des étapes suivantes :

- le constat, qui comprend les actions immédiates, l'enregistrement, ainsi que l'information des acteurs concernés ;
- l'évaluation, qui consiste à identifier les causes de la non-conformité, en évaluer les effets et proposer des actions curatives (pour y remédier) et correctives (pour éviter qu'elle ne se reproduise) ;
- l'action, qui comprend la décision d'actions, l'exécution et le contrôle des actions décidées ;
- la clôture et l'archivage des données et résultats.

Toute non-conformité, détectée par les opérations de contrôle intérieur ou de contrôle extérieur, est enregistrée ; elle fait l'objet de l'ouverture, par le titulaire, d'une fiche de non-conformité.

Les modalités de traitement de la non-conformité sont soumises au visa du maître d'œuvre et constituent un point d'arrêt.<sup>2</sup>

Si le traitement d'une non-conformité donne lieu à une modification d'un document d'exécution, le nouveau document d'exécution est soumis au visa du maître d'œuvre.

Sur la base des résultats du contrôle, et du visa du maître d'œuvre sur son traitement technique, il peut être procédé à la levée de la non-conformité.

#### Points critiques :

Pour les points critiques, le titulaire informe le maître d'œuvre, avec un délai de préavis suffisant, de la date de réalisation des tâches concernées, afin de lui permettre d'être présent, s'il le souhaite.

En outre, il tient à disposition, sur les lieux du chantier, les documents de contrôle d'exécution relatifs aux tâches concernées.

### Points d'arrêt :

Pour les points d'arrêt, le titulaire informe le maître d'œuvre de la date de réalisation des contrôles correspondants, avec un délai de préavis suffisant, afin de lui permettre d'être présent, s'il le souhaite.

Les contrôles liés aux points d'arrêt font l'objet de procédures spécifiques : demande de levée du point d'arrêt, compte-rendu de contrôles, accord explicite du maître d'œuvre.

Le titulaire adresse au maître d'œuvre sa demande de levée de point d'arrêt, accompagnée des documents attestant des contrôles effectués lors des tâches correspondantes.

Les visas matérialisant la constatation, par les différents intervenants concernés, des informations produites et mentionnant les suites à donner sont reportés sur les documents de levée de points d'arrêt.

#### **1.5.4. Consistance des documents qualité en phase de fin d'exécution**

En fin d'exécution, le titulaire fournit un ou plusieurs documents relatifs au management de la qualité (hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux) incluant :

- le plan de contrôle intérieur réalisé,
- les procédures d'exécution à jour, avec synthèse des modifications apportées au cours du chantier,
- l'origine des matériaux et équipements, les rapports d'essai des matériaux et équipements,
- les fiches de contrôle et levée des points d'arrêt,
- les fiches de non-conformité
- les comptes rendus des ouvrages de convenance.

Ces éléments ne sont pas soumis au visa du maître d'œuvre, sauf stipulation contraire du marché.

### **1.6. DISPOSITIONS RELATIVES AU RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT**

#### **1.6.1. Définitions**

##### Notice de respect de l'environnement

Document, établi par le maître d'ouvrage, contenant :

- une synthèse des contraintes environnementales, et les sites où ces mesures doivent s'appliquer ;
- la nature des démarches administratives devant être assurées par le Maître d'Ouvrage, le Maître d'œuvre ou le titulaire du marché ;
- les exigences en matière de management et de suivi de l'environnement.

##### Schéma d'organisation du plan de respect de l'environnement (SOPRE)

Document, établi à partir des exigences spécifiées par le maître d'ouvrage, par le soumissionnaire lors de son offre, décrivant, en fonction des caractéristiques de terrain et de l'environnement local, les dispositions d'organisation et de contrôle qu'il propose pour répondre aux prescriptions environnementales fixées par le maître d'ouvrage.

##### Plan de respect de l'environnement (PRE)

Document établi par le titulaire en période de préparation du chantier, et devant être visé et suivi par le maître d'œuvre, énonçant les moyens et procédures mis en œuvre par le titulaire pour respecter les prescriptions environnementales fixées par le maître d'ouvrage et réaliser ses engagements en matière de performance environnementale.

##### Schéma d'organisation de la gestion des déchets (SOGED)

Document établi par le titulaire en période de préparation du chantier et devant être visé et suivi par le maître d'œuvre, énonçant les moyens et procédures mis en œuvre par le titulaire en matière de suivi, de gestion, de valorisation et d'élimination des déchets.

## **1.6.2. Consistance des documents environnement en période de préparation**

### 1.6.2.1. Le plan de respect de l'environnement (PRE)

Le plan de respect de l'environnement (PRE) énonce, de manière concrète, les moyens et procédures que le titulaire s'engage à mettre en œuvre pour respecter les prescriptions environnementales fixées par le maître d'ouvrage dans la notice de respect de l'environnement (NRE) ou autre document en tenant lieu, et pour prévenir et/ou réduire les impacts sur l'environnement et intervenir en cas d'anomalies, voire d'accidents.

Le PRE est établi par le titulaire spécifiquement pour l'opération. Il peut intégrer des dispositions préexistantes dans le système de management environnemental du titulaire, tout en assurant leur adaptation au contexte de l'opération.

Le PRE du titulaire comprend :

- une note d'organisation générale environnement avec,
  - une analyse préalable du contexte environnemental et des contraintes à prendre en compte, en conformité avec les exigences définies par le maître d'ouvrage dans la notice NRE (ou autre document en tenant lieu) ; à charge du titulaire
  - l'organisation mise en place, avec mention des missions et responsabilités des personnels en charge de l'application du PRE ;
  - les dispositifs prévus pour maîtriser ou réduire les impacts environnementaux ;
  - les éventuelles propositions pour le réemploi de matériaux extérieurs au chantier ;
  - la nature et la situation des travaux et/ou des tâches d'exécution concernés par des dispositions spécifiques relatives à l'environnement, avec mention des nuisances et risques potentiels au regard de l'environnement en lien avec ces tâches ;
  - les modalités de surveillance et contrôle de ces travaux et/ou tâches, dont,
    - la liste des éventuels points d'arrêt et points critiques en matière environnementale, et les modalités associées,
    - le programme de contrôle environnemental ;
- la liste des procédures environnementales pour assurer la conformité de l'exécution des ouvrages à la législation, à la réglementation et aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage,
- procédures d'exécution liées à la prise en compte des exigences environnementales,
- procédures relatives au traitement des non-conformités en matière environnementale, susceptibles de se produire lors de l'exécution des travaux,
- procédures de traitement de pollution accidentelle, et procédures en cas d'interventions extérieures et en cas d'urgence ;
- l'articulation entre les dispositions du PRE (incluant la gestion des déchets), le projet des installations de chantier, et la Procédure d'urgence et de capacité à réagir ;
- la description des moyens d'information à l'attention du personnel du titulaire, des sous-traitants et fournisseurs, sur les dispositions prévues au PRE ;
- les cadres de documents de surveillance et contrôles en matière environnementale.

En outre, le PRE du titulaire comprend les modalités de respect des exigences environnementales (dont déchets) par ses sous-traitants et fournisseurs, et leur engagement vis-à-vis des dispositions prévues.

### 1.6.2.2. La composante « gestion des déchets » du PRE (ou SOGED)

Le PRE traite des dispositions relatives à la gestion des déchets, que le titulaire s'engage à mettre en œuvre, dont le suivi et la traçabilité de l'élimination des déchets du chantier, en conformité avec les dispositions du code de l'environnement (obligation de prévention, de réduction et de valorisation des déchets de chantier issus des travaux publics).

Dans le cas où les éléments requis au marché ne concernent que la gestion des déchets, le PRE devient un schéma d'organisation de gestion des déchets (SOGED).

Pour cette composante déchets, le titulaire décrit :

- la liste, structurée par classe, et l'évaluation de la quantification des déchets à gérer, par type de travaux ;
- l'organisation mise en place - organigramme, missions et responsabilités des personnels devant assurer l'application de la procédure environnementale de gestion des déchets ;
- les méthodes et moyens utilisés pour trier les différents déchets à gérer et assurer leur non-mélange ;
- la localisation, la description des dépôts, centres de stockage et/ou centres de regroupement et/ou unités de recyclages vers lesquels seront acheminés les différents déchets à gérer les modalités d'information du maître d'œuvre, lors de l'exécution des travaux, relativement à la nature des déchets, aux quantités et aux dates et lieux d'évacuation ;
- les modalités et moyens de contrôle, de suivi et de traçabilité de gestion des déchets ;
- les cadres des documents de suivi et traçabilité des déchets (dont bordereaux de suivi et registres) ;
- les moyens matériels et humains mis en œuvre pour cette gestion.

Le plan de respect de l'environnement (ou le SOGED si seule la composante déchets est requise), établi par le titulaire en phase de préparation, est soumis au visa du maître d'œuvre.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, le titulaire peut synthétiser les informations requises pour le PRE au sein d'une ou plusieurs notes explicitant les dispositions prévues en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage en matière environnementale, dont le suivi et la traçabilité de l'élimination des déchets.

### 1.6.3. Consistance des documents environnement en phase d'exécution

Le titulaire doit s'assurer de la traçabilité des déchets et matériaux issus du chantier et de la bonne application des dispositions prévues pour la gestion des déchets. Il fournit au maître d'ouvrage, avec copie au maître d'œuvre, les bordereaux de suivi des déchets de chantier et les tableaux de suivi des déchets pour lesquels le maître d'ouvrage est producteur.

En cas de découverte, en phase d'exécution, de déchets non répertoriés par le maître d'ouvrage (sols pollués par exemple), le titulaire en informe le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre en vue de définir, conjointement, les modalités de gestion de ces déchets.

Les mises à jour du plan de respect de l'environnement du titulaire au cours de l'exécution des travaux sont soumises à visa du maître d'œuvre.

Ces mises à jour peuvent notamment porter sur :

- les procédures d'exécution, non encore définies lors de la phase de préparation, pour les tâches ayant des impacts environnementaux potentiels ;
- les procédures complémentaires pour la gestion des déchets rencontrés lors de l'exécution et non prévus en phase de préparation ;
- les autres adaptations des éléments du PRE requises par les évolutions du chantier.



## Détection et traitement des non-conformités

Les dispositions définies en management de la qualité et concernant la détection et le traitement des non-conformités s'appliquent pour les non-conformités en matière environnementale.

## Points critiques et points d'arrêt en matière environnementale

Les dispositions définies en management de la qualité et concernant les points critiques et points d'arrêt s'appliquent pour ceux relatifs au respect de l'environnement.

### **1.6.4. Consistance des documents environnement en phase de fin d'exécution**

En fin d'exécution, le titulaire fournit un dossier relatif au respect de l'environnement (hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux) incluant :

- le programme de contrôle réalisé en matière environnementale ;
- les procédures environnementales à jour, avec synthèse des modifications apportées au cours du chantier ;
- les comptes rendus des contrôles et levée des points d'arrêt environnementaux ;
- les fiches de non conformités en matière environnementale ;
- les bordereaux de suivi des déchets justifiant de la destination des déchets conformément aux dispositions du PRE, et les tableaux de suivi des déchets pour lesquels le maître d'ouvrage est producteur.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

## **1.7. AUTRES DOCUMENTS LIES A LA REALISATION DES TRAVAUX**

### **1.7.1. Dispositions relatives au programme d'exécution**

#### Calendrier des études d'exécution :

Le titulaire fournit, au sein du programme d'exécution, le calendrier des études d'exécution, s'il y a lieu et si ce document n'est pas déjà intégré au sein de son plan qualité.

La production des documents d'études d'exécution tient compte des délais de transmission, d'analyse et d'acceptation par la maîtrise d'œuvre, avant démarrage des tâches d'exécution correspondantes.

#### Calendrier d'établissement des procédures d'exécution :

Le titulaire fournit, au sein du programme d'exécution, s'il y a lieu, le calendrier d'établissement des procédures d'exécution nécessaires pour chaque phase de travaux, en cohérence avec la liste des procédures d'exécution définie au sein de son plan qualité.

#### Calendrier prévisionnel des travaux :

Le calendrier prévisionnel des travaux est présenté, en intégrant les contraintes environnementales éventuelles, de telle sorte qu'apparaissent :

- l'enchaînement des phases d'exécution, leur durée et, s'il y a lieu, les délais à respecter entre celles-ci ;
- les délais de fourniture et d'acceptation par le Maître d'œuvre des matériaux, des études de formulation et des épreuves de convenance ;
- s'il y a lieu, les contraintes liées à la présence de réseaux connus à déplacer ou en place ;
- en cas de réalisation d'ouvrages provisoires, le calendrier de réalisation correspondant ;

- les tâches et événements critiques, et leur enchaînement
- la réalisation des ouvrages de convenance
- la réalisation d'éventuels essais (essais sur structures, essais d'intégrité ...).

Ce calendrier est mis à jour périodiquement en phase d'exécution, en tant que de besoin.

Sa version finale constitue le calendrier d'exécution réalisé : il est intégré aux éléments du dossier des ouvrages exécutés (DOE) à fournir par le titulaire après réception.

#### Projet des installations de chantier (PIC) :

Le projet des installations de chantier comporte la description, avec leurs caractéristiques et leurs phasages, des moyens et matériels principaux nécessaires à la bonne exécution des travaux, qu'ils soient positionnés à l'extérieur ou à l'intérieur de l'ouvrage à réaliser.

Il précise, en tant que de besoin :

- les dispositions envisagées pour l'implantation, l'édification et l'aménagement des ateliers, bureaux, locaux de sécurité et d'hygiène, magasins et aires de stockage des matériels et matériaux, laboratoires s'il y a lieu, et leurs raccordements aux différents réseaux ;
- les chemins de service, voies d'accès et aires de circulation de toute nature à l'intérieur du chantier, ainsi que les aires d'évolution des engins de manutention ;
- les parcs de stationnement des véhicules et des livraisons ;
- les installations particulières (montage ou fabrication d'éléments, gestion des déchets, etc..) ;
- les conditions d'accès au chantier, de stockage et de manutention des matériaux, composants, et autres produits ;
- les dispositions concernant la clôture, l'éclairage des installations ainsi que la signalisation du chantier.

Il prend en compte les exigences en matière d'hygiène et sécurité.

### **1.7.2. Dispositions relatives aux études d'exécution**

Les documents relatifs aux études d'exécution comprennent au minimum :

- une note d'hypothèses générales définissant les données d'entrée des études d'exécution fournies par le maître d'ouvrage (étude de sols,...) ou proposées par le titulaire ;
- des notes techniques justifiant le dimensionnement des ouvrages, ou parties d'ouvrages, tel que repris dans les plans d'exécution ;
- des plans d'exécution d'ensemble et de détails, définissant de manière précise et complète, les formes et la constitution des ouvrages à réaliser, de leurs composantes et de leurs assemblages.

Les études d'exécution sont soumises au visa du maître d'œuvre, selon l'échéancier fourni au sein du programme d'exécution.

Si le marché prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, le titulaire pourra synthétiser, au sein d'une ou plusieurs notes, les dispositions d'exécution prévues en réponse aux exigences spécifiées.

## **1.8. MATERIAUX**

### **1.8.1. Étude, fabrication et contrôle des bétons**

Sauf disposition contraire du marché, le fascicule 65 du CCTG, relatif à l'exécution des ouvrages en béton, est applicable pour ce qui concerne l'étude, la fabrication et le contrôle des bétons. Les articles du présent

fascicule complètent lorsque nécessaire les dispositions des normes d'exécution requises pour les bétons intervenant dans chaque type de fondation ou figurant à l'annexe D de la norme NF EN 206/CN.

Sauf disposition contraire du marché, ces prescriptions sont complétées comme suit :

- Le dosage minimal du béton immergé est de 350 kg de liant par mètre cube de béton. Sa composition et ses caractéristiques doivent en outre :
  - permettre d'obtenir un béton de consistance stable et homogène, et de maniabilité adaptée à la mise en œuvre,
  - assurer la maniabilité du béton pendant sa mise en œuvre.
- Le dosage minimal du béton de propreté est de 250 kg de liant par mètre cube de béton.
- Le dosage minimal des ouvrages en béton non armé exécutés à sec est de 250 kg de liant par mètre cube de béton.

## **1.8.2. Remblais**

La procédure d'exécution de mise en œuvre des matériaux destinés aux remblais contigus aux fondations précise la nature, la provenance, les caractéristiques ainsi que le niveau d'intensité de compactage de ces matériaux.

## **1.9. EXECUTION**

### **1.9.1. Ouvrages provisoires**

#### **1.9.1.1. Généralités**

Les ouvrages provisoires concernés par le présent chapitre sont les dispositifs de rabattement de nappes, les soutènements, les dispositifs d'étalement, de blindage et de protection des parois des fouilles qui assurent pendant toute la durée de l'exécution la sécurité et la stabilité des parois des fouilles, jusqu'à ce que ces fonctions soient assurées par l'ouvrage lui-même.

Le titulaire dans les délais fixés par le marché, précise dans les procédures d'exécution les dispositifs d'étalement, de blindage ou de protection dont il prévoit l'utilisation, en explicitant la méthode de mise en œuvre, le phasage d'exécution et les conditions d'enlèvement. Les étalements et blindages provisoires ne peuvent être laissés définitivement en place qu'avec l'accord du maître d'œuvre.

Lorsqu'un ouvrage provisoire remplit des fonctions de plusieurs natures, l'ensemble des prescriptions relatives à ces natures lui est applicable.

#### **1.9.1.2. Catégories d'ouvrages provisoires**

Les ouvrages provisoires sont répartis en deux catégories suivant leur complexité et le niveau de risque vis-à-vis de la sécurité au travail, des tiers ou de l'ouvrage définitif.

Les ouvrages simples à faible niveau de risque sont rangés dans la deuxième catégorie. Les autres ouvrages provisoires sont rangés dans la première catégorie qui inclut en particulier les ouvrages géotechniques de catégories 2 et 3.

En l'absence d'une répartition figurant au sein des pièces du marché, la liste répartissant les ouvrages provisoires par catégories (selon le risque associé vis-à-vis de la sécurité au travail, des tiers ou de l'ouvrage définitif) est fournie et justifiée par le titulaire en même temps que le programme d'exécution. Cette liste est soumise au visa du maître d'œuvre.

#### **1.9.1.3. Désignation et rôle du chargé des ouvrages provisoires (COP)**

Le titulaire soumet à l'acceptation du maître d'œuvre la désignation d'un « chargé des ouvrages provisoires », appelé COP dans la suite du texte. Cette proposition est présentée dans le cadre de la note d'organisation générale ; elle précise les références professionnelles de l'intéressé et sa situation dans l'entreprise ou vis-à-vis de celle-ci. Dans tous les cas, la mission de COP est une mission de contrôle interne.

Divers COP peuvent être désignés pour divers ouvrages provisoires. Un même COP peut être désigné pour les ouvrages géotechniques et pour les ouvrages en béton tel que défini dans le fascicule 65.

Le COP s'assure que les réponses apportées à l'évaluation des risques relatifs aux ouvrages provisoires sont pertinentes pour leur maîtrise. Sa mission consiste notamment, sous sa responsabilité, à vérifier ou faire vérifier que :

- l'étude des ouvrages provisoires repose sur les données convenables et comporte toutes les précisions nécessaires à l'exécution et à leur stabilité (pentes, fondations, ancrages, défaut de butée) ;
- l'interprétation des études fournies est correcte et l'exécution de ces ouvrages est conforme aux études fournies (dessins, charges exercées, programmes de mise en œuvre, consignes diverses). Le rôle de coordination dévolu au COP est primordial (maints accidents d'ouvrages provisoires ont été imputés à un oubli ou à un défaut de liaison entre bureau d'études et chantier, ayant conduit à des erreurs de la part de ce dernier).

#### 1.9.1.4. Projet des ouvrages provisoires

##### Généralités

Le projet des ouvrages provisoires comprend tous les documents nécessaires à leur définition, sous forme de dessins d'exécution, notices et consignes assortis de justifications correspondantes.

L'attention est attirée notamment sur :

- les tassements et les déplacements prévisibles aux appuis sur le sol ainsi que dans la zone d'influence géotechnique, pour lesquels il appartient au titulaire de compléter les données fournies dans le marché ;
- les dispositions à prendre à l'égard de tous les risques d'instabilité ;
- la détermination des contreflèches en fonction des déformations prévues ;
- les éventuelles mesures de surveillance mises en œuvre.

Le projet tient compte des données imposées par l'ouvrage définitif et son environnement immédiat. En particulier les déformations des ouvrages provisoires ne doivent causer aucun dommage aux ouvrages définitifs ainsi que sur les avoisinants.

Le projet donne la succession détaillée de toutes les phases opératoires, avec les chargements et les réglages correspondants. La stricte observation de l'ordre des opérations peut être fondamentale à la fois pour respecter les charges prévues sur les ouvrages provisoires ou définitifs et pour assurer la sécurité du personnel et des tiers.

Les spécifications des matériels utilisés, qu'il s'agisse de matériels spéciaux ou de tout matériel en provenance d'un tiers fabricant ainsi que les justifications correspondant à ces matériels, sous forme de notes de calcul, procès-verbaux d'essai, certificats de conformité, font partie des documents constituant le projet.

Avant l'exécution, tous les documents constituant le projet sont signés ou contresignés par le COP. Outre les prescriptions complémentaires définies ci-après, un jeu complet de ces documents, visé par le COP, est tenu en permanence sur le chantier, à la disposition du maître d'œuvre, jusqu'à la réception des ouvrages définitifs.

##### Dessins des ouvrages provisoires

Les dessins d'exécution définissent la géométrie des ouvrages provisoires (ils font apparaître les emplacements des efforts extérieurs appliqués), ainsi que la nature et les caractéristiques de tous leurs éléments constitutifs.

Les dessins précisent notamment, s'il y a lieu :

- les dispositions prises pour assurer la stabilité et la protection des fondations, faisant apparaître les zones de remblai récent, la présence de fouilles ou de canalisations, les zones de ruissellement et les dispositions prises pour éviter les affouillements ;
- le détail des ancrages (scellement, tête d'ancrage ...) ou des butons ;
- les dispositions prises pour limiter les tassements du sol, par exemple par des semelles de répartition de dimensions suffisantes ;
- les conditions d'appui des éléments porteurs, qui doivent être compatibles avec leur stabilité propre et celle de leurs supports ;
- les dispositifs de contrôle des déformations et des tassements en fonction du processus de mise en charge.

Cependant, pour les ouvrages provisoires de deuxième catégorie, les dessins peuvent être simplifiés (par exemple simple schéma) sous réserve que les sujétions de mise en œuvre des ouvrages provisoires en question soient bien connues et bien comprises par les opérateurs. Tous les ouvrages provisoires doivent satisfaire aux conditions requises par la réglementation du travail.

#### 1.9.1.5. Maîtrise de la conformité des ouvrages provisoires

Le Plan Qualité précise les modalités du contrôle interne des ouvrages provisoires, notamment de celui effectué par le COP. Ainsi le COP, avant tout début des opérations correspondantes, établit pour être transmises au maître d'œuvre les attestations récapitulant les vérifications obligatoirement effectuées par lui-même et certifiant qu'il a été remédié aux non-conformités constatées.

D'autres vérifications peuvent au choix du titulaire être confiées au COP. Il s'agit notamment de celles consistant à vérifier que :

- les caractéristiques des matériaux et matériels approvisionnés pour constituer les ouvrages provisoires sont conformes aux exigences ;
- les caractéristiques des matériaux et matériels utilisés ne sont pas altérées au cours de leurs emplois successifs ;
- les repères destinés à vérifier la géométrie des ouvrages (déformations, tassements) sont bien en place.

Le Plan Qualité a essentiellement pour objet de décrire les dispositions pour la maîtrise de la conformité et de la sécurité des ouvrages provisoires eux-mêmes. Pour ce qui concerne la sécurité au travail, les dispositions du Plan Qualité sont complétées par celles du :

- PGCSPPS (Plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé), dont les exigences sont établies et contrôlées par le maître d'ouvrage ;
- PPSPPS (Plan particulier de sécurité et de protection de la santé) et de ses additifs établis par le titulaire.

Pour les ouvrages provisoires de première catégorie, le Plan Qualité définit les procédures et les consignes concernant la réalisation et l'utilisation des différents ouvrages provisoires (opérations de montage, réglage, chargement, déplacement, démontage, conditions de réemploi) ainsi que l'utilisation de tout matériel exerçant une action sur les ouvrages provisoires ou sur l'ouvrage définitif en phase provisoire et les dispositions prises à l'égard de tout élément dont la défaillance présenterait un risque appréciable pour la sécurité.

#### 1.9.1.6. Soutènements, étaielements, blindages et protection des parois des fouilles

Les phases de terrassement, d'épuisement des eaux ou de rabattement des nappes, de butonnage ou d'ancrage sont conduites conformément aux hypothèses prises en compte dans les justifications. La note technique de justification de ces dispositifs est adaptée à l'importance de l'ouvrage et tient compte, en particulier, des caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques des terrains concernés et du phasage d'exécution prévu dans la procédure. Toute modification des phases d'exécution initialement prévues ne

peut être entreprise qu'avec l'accord du maître d'œuvre et sous réserve de justifications particulières établies par le titulaire et soumises au visa du maître d'œuvre.

Lorsque en cours d'exécution, les déformations de l'ouvrage traduisent un comportement anormal, ou que des désordres paraissent affecter les avoisinants, le titulaire, après avoir pris les éventuelles mesures de sécurité qui s'imposent, soumet sans délai au maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

### **1.9.2. Tolérances d'implantation**

Si elle n'est pas fixée par le marché, la tolérance d'implantation des ouvrages géotechniques ou éléments de fondations est fixée par la norme d'exécution correspondante à la technique visée ou à défaut par le maître d'œuvre sur proposition du titulaire.

### **1.9.3. Travaux préparatoires**

#### **1.9.3.1. Plate-forme**

La plate-forme de travail est aménagée en vue de permettre l'accès, la circulation et l'utilisation des engins de chantier nécessaires à la mise en œuvre dans des conditions susceptibles de ne pas nuire à la qualité et à la sécurité de cette réalisation.

#### **1.9.3.2. Traitement des sols**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution la nature, les qualités et les conditions de mise en œuvre des produits et matériaux employés. Tous travaux de traitement des sols non prévus par le marché et nécessités par des conditions locales particulières des sols ne sont exécutés qu'après autorisation du maître d'œuvre.

#### **1.9.3.3. Installations et matériels d'exécution**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les installations et les matériels d'exécution. L'adéquation du matériel aux caractéristiques du sol est appréciée à partir des éléments fournis dans le mémoire géotechnique de synthèse éventuellement complété par des reconnaissances complémentaires, ou lorsque des essais préalables de mise en œuvre ont été effectués, à partir des résultats de ces essais. Ces choix tiennent compte de contraintes spéciales d'exécution éventuellement définies par le marché, ou nécessitées par la proximité de lieux habités, fréquentés ou protégés.

### **1.9.4. Remblaiement des fouilles après exécution des ouvrages**

La procédure d'exécution précise les conditions dans lesquelles les remblaiements des fouilles et l'enlèvement des blindages s'effectuent ainsi que le niveau d'intensité de compactage.

Ces opérations ne doivent compromettre à aucun moment la stabilité des avoisinants, des ouvrages en cours d'exécution ou terminés.

## **1.10. IMPACT SUR L'AVOISINANT**

Sauf disposition contraire du marché, la surveillance de l'impact des travaux sur les avoisinants situés dans la zone d'influence géotechnique et hydrogéologique incombe au titulaire. En cas de risque identifié dans le cadre du marché, la procédure d'exécution précise les spécifications particulières relatives à cette surveillance (seuils de déplacement, seuils de vibrations, surconsommations, pollution ...). Sauf disposition contraire du marché, le titulaire et le maître d'œuvre réalisent avant le début des travaux, un état des lieux contradictoire des avoisinants (bâtiments, ouvrages et réseaux pouvant être affectés par ces travaux).

## **2. FONDATIONS DIRECTES SUR LE SOL**

### **2.1. DOMAINE D'APPLICATION**

Ce chapitre concerne les fondations en béton armé, béton ou maçonnerie, qui permettent à un ouvrage ou à des parties d'ouvrages de prendre directement appui sur le sol. Ce sol peut éventuellement avoir fait l'objet d'une amélioration ou d'un renforcement.

### **2.2. REFERENCES NORMATIVES**

NF P94-261 – Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles

NF P94-281 – Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Murs de soutènement

### **2.3. ETUDES D'EXECUTION**

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique ou qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : nature et propriétés des sols support, profil et dimensions des fouilles ;
- description des techniques et moyens de terrassement qui permettent :
  - d'atteindre la cote du fond de fouille,
  - d'assurer un remaniement acceptable du fond de fouille conformément à la clause 2.5.2.2 (présence de racines, d'éléments granulaires grossiers, etc. ...),
  - de s'assurer le cas échéant, de l'intégrité des systèmes de renforcement de sol réalisés préalablement ;
- les matériaux, produits et techniques mis en œuvre ainsi que les exigences en terme de compactage pour réaliser d'éventuelles substitutions ou des remblais supports de fondation en complément des exigences de la clause 2.5.4;
- en cas de présence d'eau, un descriptif des techniques et moyens mis en œuvre pour abaisser le niveau des nappes d'eau souterraines sous le fond de fouille.

### **2.4. MATERIAUX**

Le titulaire précise dans la procédure d'exécution la provenance, les proportions des matériaux et produits ainsi que les conditions de leur mise en œuvre (intensité de compactage notamment).

Les procédés employés pour la mise en œuvre des matériaux ou produits sont également précisés dans la procédure d'exécution.

Les remblais destinés au comblement des poches de terrain purgées doivent procurer une portance au moins équivalente à celle du sol de fondation s'ils supportent des ouvrages.

L'utilisation de matériaux traités en substitution de sol est destinée soit à protéger la fondation superficielle soit à faciliter la mise en œuvre du matériau granulaire. L'amélioration des propriétés mécaniques liées à la présence du liant ne doit pas être considérée comme pérenne et ne doit pas être prise en compte.

### **2.5. EXECUTION**

#### **2.5.1. Tolérances**

Si elles ne sont pas fixées par le marché, les tolérances sont données dans la procédure d'exécution.

La fouille libère l'espace fixé par les plans. Aucun écart par défaut n'est admis. Les surprofondeurs des divers points du fond de fouille par rapport aux niveaux fixés doivent être inférieures à 5 cm. Les écarts en plan par excès doivent être inférieurs à 10 cm dans toutes les directions.

### **2.5.2. Fouilles pour fondations**

Sont considérées comme fouilles pour fondations les travaux de terrassement qui ont pour objet le creusement de l'excavation dans laquelle sont construites les parties d'un ouvrage prenant directement appui sur le sol.

Dans le cas d'un ensemble de travaux comportant des terrassements généraux et des fouilles pour fondations, la répartition des terrassements entre ces deux catégories est fixée par le marché, ou, à défaut, par le maître d'œuvre, sur proposition du titulaire.

Dans le cas d'une fondation établie sur un sol ayant fait l'objet d'une amélioration ou d'un renforcement préalables, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les dispositions lui permettant de s'assurer de l'intégrité de ces améliorations de sol ou renforcements.

Les modifications importantes de niveau ou de dimension de la fondation ou de la pente du talus qui apparaissent nécessaires en cours d'exécution font l'objet d'un ordre de service.

#### **2.5.2.1. Préparation du fond de fouille**

Le titulaire procède à l'enlèvement ou à la purge de tous les éléments, blocs, poches ou lentilles, susceptibles de provoquer des désordres et au comblement des vides dans les conditions fixées par le marché ou arrêtées par le maître d'œuvre à l'issue des constatations contradictoires.

#### **2.5.2.2. Finition du fond de fouille**

La finition du fond de fouille est exécutée après les travaux de préparation.

Elle comprend :

- le décapage final jusqu'à la cote prévue dans des conditions permettant d'éviter l'ameublissement et la décompression du sol d'assise ;
- s'il y a lieu, une amélioration temporaire du fond de fouille destinée à éviter sa dégradation jusqu'à la mise en œuvre du dispositif de protection.

Pour les sols sensibles ou gonflants, cette finition doit suivre immédiatement les travaux de terrassements et de préparation du fond de fouille. Pour les fouilles exécutées à sec, les travaux de finition ne peuvent être entrepris par temps de gel.

En cas d'utilisation d'engins mécaniques, l'extraction des déblais est arrêtée plus haut que la cote de fond prévue, et en dedans du tracé prévu pour les parois, de façon à éviter l'ameublissement du fond et des parois par les dents du godet de l'engin. La finition est réalisée par un procédé ne présentant pas de risque d'ameublissement du terrain sous la cote prévue.

#### **2.5.2.3. Protection du fond de fouille**

La protection du fond de fouille est réalisée dès l'achèvement des travaux de finition. Elle peut être obtenue :

- par un béton de propreté pour les fouilles exécutées à sec ;
- par le béton de la fondation dans le cas d'une fondation au rocher ;
- par un béton mis en œuvre sous l'eau ;
- par tout autre dispositif de protection agréé par le maître d'œuvre.

#### **2.5.2.4. Réception du fond de fouille**

Sauf disposition contraire du marché, les constatations concernent la nature, la qualité des terrains rencontrés, et la conformité des observations faites avec les hypothèses prises en compte dans l'étude d'exécution.



### **2.5.3. Protection contre les eaux et épaissements**

Le titulaire est tenu de procéder à la protection des fouilles contre les eaux superficielles et souterraines et aux épaissements nécessaires pour maintenir les eaux à un niveau compatible avec l'avancement et la bonne exécution des travaux.

Il s'agit d'assurer notamment :

- la stabilité des ouvrages environnants ;
- la stabilité des talus et du fond de fouille ;
- la stabilité de l'ouvrage proprement dit pendant les diverses phases de construction ;
- la bonne qualité des sols en fond de fouille.

Les sols qui évoluent rapidement au contact de l'air ou de l'eau sont protégés en vue de maintenir la qualité du terrain d'assise. Les mesures que le titulaire entend adopter à cet effet sont précisées dans les procédures d'exécution.

Les installations et les matériels affectés aux épaissements comprennent les engins de secours permettant de maintenir ces épaissements à un niveau compatible avec l'exécution des travaux et avec la sécurité du chantier.

Lorsque la nature de certains terrains et celle des ouvrages voisins, ainsi que certaines installations dans les ouvrages à construire conduit à exclure toute remontée d'eau quelle qu'en soit la cause, le marché fixe les dispositions complémentaires concernant la fourniture d'énergie de secours.

Sauf disposition contraire du marché, les installations de protection contre les venues d'eaux, ainsi que celles relatives aux épaissements, sont maintenues jusqu'à ce que les bétons susceptibles d'être noyés présentent une résistance suffisante à l'action de l'eau et que la stabilité des ouvrages ou parties des ouvrages réalisés soit assurée.

### **2.5.4. Substitutions**

La substitution consiste à mettre en œuvre un matériau entre la fondation et le terrain naturel en fond de fouille. Le matériau de substitution peut être constitué de remblai granulaire ou de béton. Sauf disposition contraire du marché, les substitutions de fond de fouille sont réalisées avec des matériaux de remblai ou en béton.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire précise dans les procédures d'exécution les matériaux et moyens mis en œuvre pour le remblaiement des fouilles. La composition et la technique de mise en œuvre du béton sont adaptées aux conditions relevées sur le site.

Sauf disposition contraire du marché, le niveau de densification objectif est le niveau q3 au sens de la norme NF P 98-331.

### **2.5.5. Béton de propreté**

Sauf disposition contraire du marché, une épaisseur d'au moins 5 cm de béton de propreté est obligatoire. Sa mise en œuvre suit immédiatement les travaux de finition de fond de fouille. Son niveau d'arase est celui prévu au projet pour la base des semelles ou longrines de fondation.

### **2.5.6. Exécution des ouvrages de fondation**

Si le marché le prescrit, les ouvrages de fondation sont bétonnés soit à pleine fouille, soit entre blindages ou entre coffrages. Dans les autres cas, ils sont bétonnés selon les dispositions proposées par le titulaire et visées par le maître d'œuvre.

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les modalités d'exécution du bétonnage.

## **2.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

### **2.6.1. Surveillance**

Le titulaire donne dans les procédures d'exécution une liste des points de surveillance adaptée aux travaux conforme à la norme NF EN 1997-1.

Les points suivants qui ne constituent pas une liste exhaustive, doivent être surveillés et contrôlés au cours des différentes étapes de la construction :

a/ travaux préparatoires à la phase de travaux :

- piquetage de la zone de travaux,
- nature et provenance des produits et matériaux,
- réseau de drainage des eaux superficielles et éventuel dispositif de rabattement de nappe ;

b/ exécution des fouilles :

- excavation au-dessus de la cote de fond de fouille pour constatations contradictoires (identification des terrains, présence d'eau, purges, adéquation avec l'étude d'exécution ...),
- préparation, finition et protection du fond de fouille,
- nature et provenance des matériaux,
- contrôle altimétrique du fond de fouille,
- essais de réception éventuels ;

c/ éventuellement réalisation de la substitution :

- pour les substitutions granulaires, matériau et paramètres de compactage,
- pour les substitutions en béton, matériau et mode de bétonnage ;

d/ réalisation et contrôle altimétrique du béton de propreté.

Le titulaire établit un compte-rendu qui comprend l'ensemble des points listés ci-dessus ainsi que d'autres points de vérification jugés pertinents.

En cas d'écarts vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution le cas échéant.

### **2.6.2. Essais et contrôles**

Le titulaire fournit dans les procédures d'exécution la nature et les modalités d'exécution des essais de contrôle éventuels.

### 3. PIEUX FORÉS

#### 3.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 1536 complété comme suit :

- la technique de pieux ballastés injectés est considérée innovante au sens de la clause 1.1 du présent document et doit bénéficier à ce titre d'un cahier des charges spécifique ;
- les pieux forés de gros diamètre et puits sont inclus dans le domaine d'application du présent chapitre dans la mesure où les techniques de réalisation sont assimilables aux techniques décrites dans la norme NF EN 1536.

#### 3.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

##### 3.2.1. Références normatives

NF EN 1536 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux : Pieux forés

NF P94-262 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes

NF P94-282 - Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement - Écrans

NF P94-150-1 - Essai statique de pieu isolé sous charge axiale - Partie 1 - En compression

NF P94-150-2 - Essai statique de pieu sous un effort axial - Partie 2 - En traction

NF P 94-151 - Essai statique de pieu isolé sous effort transversal

NF P 94-160-1 - Auscultation d'un élément de fondation - Partie 1 : méthode par transparence

NF P 94-160-2 - Auscultation d'un élément de fondation - Partie 2 : méthode par réflexion

NF P 94-160-4 - Auscultation d'un élément de fondation - Partie 1 : méthode par impédance

NF EN 206/CN - Complément national à la norme NF EN 206.

##### 3.2.2. Terminologie

**recépage** : opération qui correspond à :

- la mise au niveau d'arase de la tête de pieu ;
- l'élimination du béton pollué et ou impropre, de manière à obtenir un béton sain sur toute la section du pieu.

**pieu de convenance** : pieu réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

#### 3.3. CONCEPTION, ETUDES ET RECONNAISSANCES

Pour les ponts, les dispositions de conception et de justification des pieux forés doivent être conformes à l'Annexe Q de la norme NF P94-262.

Pour les autres ouvrages de génie civil, le marché précise si les dispositions de conception et de justification de l'Annexe Q de la norme NF P94-262 sont applicables.

#### 3.4. MATERIAUX

##### 3.4.1. Fluides stabilisateurs

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre pour que le fluide stabilisateur soit adapté aux caractéristiques des sols et des eaux rencontrés, en vue d'assurer la stabilité des parois du forage pendant son exécution et permettre un bétonnage dans de bonnes conditions.

Le titulaire doit disposer sur le chantier d'un laboratoire où les paramètres de la boue peuvent être mesurés à tout instant, ainsi que d'un matériel de prélèvement de la boue dans le forage.

Sauf disposition contraire du marché, les dispositions concernant les teneurs en sable de la norme NF EN 1536 ne s'appliquent pas : la teneur en sable maximale de la boue avant réutilisation est de 5% et avant bétonnage de 3%.

L'altération par le ciment résultant du bétonnage impose d'éliminer généralement les deux à trois derniers mètres de fluide stabilisateur surmontant le béton.

### **3.4.2. Béton**

Le rapport eau efficace / liant équivalent ne pourra être plus grand que 0,55.

La valeur cible de consistance doit tenir compte des conditions particulières de bétonnage telles que le temps de trajet entre le point de fabrication et le point de livraison ou le temps de bétonnage.

#### **3.4.2.1. Granulats**

Sauf disposition contraire du marché, les dimensions maximales des granulats respectent les spécifications de la norme NF EN 1536, complétées comme suit :

- la moitié de l'épaisseur d'enrobage des armatures ;
- pour les pieux forés à la tarière creuse, un sixième du diamètre de l'axe creux ;
- la distance entre le tube plongeur et les armatures doit être d'au moins quatre fois la dimension maximale des granulats ;
- si un chemisage est utilisé, la distance entre celui-ci et les armatures doit être d'au moins quatre fois la dimension maximale des granulats.

#### **3.4.2.2. Béton frais**

Le bétonnage de la totalité de chaque pieu doit être possible avant tout début de prise du béton déjà mis en œuvre. Si le volume des pieux est trop important pour que cette exigence puisse être satisfaite, le titulaire justifie auprès du maître d'œuvre les modalités adoptées pour le bétonnage.

L'échantillonnage minimal à charge du titulaire indiqué au paragraphe "Échantillonnage et essai sur site" de la norme NF EN 1536 pour le béton qui n'est pas fabriqué dans le cadre d'un plan d'assurance qualité certifié est à appliquer dans le cas de centrale à béton qui ne bénéficie pas du droit d'usage de la marque NF – BPE ou équivalent.

L'échantillonnage minimal à la charge du titulaire dans le cas d'une centrale qui bénéficie du droit d'usage de la marque NF – BPE ou équivalent (paragraphe "Échantillonnage et essai sur site" de la norme NF EN 1536) est le suivant :

- un échantillon après la première toupie du premier pieu et un échantillon après une interruption de travaux supérieure à 2 jours ;
- et un échantillon par tranche de 100 m<sup>3</sup> de béton.

Chaque échantillon est composé de trois éprouvettes et d'une mesure d'affaissement ou d'étalement. Un essai de consistance par échantillon au minimum est réalisé.

### **3.4.3. Coulis**

La composition et la mise en œuvre des coulis de ciment utilisés pour les pieux ballastés injectés et l'amélioration du frottement et de la pointe des pieux forés moulés en béton peuvent suivre certaines recommandations du paragraphe 7 "Injections" du présent document.

Le coulis utilisé pour le remplissage des tubes soniques doit présenter un rapport minimal eau efficace / liant équivalent de 2/3.

### **3.4.4. Ajout d'autres éléments**

Les tubes d'auscultation sont rigides, étanches et protégés durant les travaux de toute détérioration susceptible de nuire à leur utilisation. Les tubes sont placés de façon à ne pas nuire au bon enrobage des armatures.

Sauf disposition contraire du marché, les tubes métalliques utilisés pour les contrôles d'intégrité des pieux par la méthode par transparence doivent être des tubes manchonnés vissés.

## **3.5. EXECUTION**

### **3.5.1. Tolérances d'exécution**

Un pieu ou un puits ne peut être bétonné si sa géométrie (dimensions, implantation, inclinaison, direction) ne respecte pas les tolérances imposées. Dans ce cas, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre pour remédier aux conséquences de cet état de fait, avant de procéder au bétonnage éventuel.

La tolérance de profondeur d'exécution est de 0,25 m. Si la profondeur réelle dépasse la base de pieu telle que prévue aux documents d'exécution de plus de 0,25 m, le titulaire propose au visa du maître d'œuvre les dispositions techniques permettant le contrôle d'intégrité jusqu'à la base du pieu.

### **3.5.2. Forage**

#### **3.5.2.1. Forages sensitifs**

Lorsque le forage traverse une couche pulvérulente immergée située sous une couche de terrain cohérent, le titulaire vérifie qu'il n'y a pas de création de poches autour du tubage ou de sous-pressions pouvant créer une déstabilisation du fond de fouille. Sauf disposition contraire du marché, il effectue à cette fin contre les tubages des trois premiers pieux du chantier, un forage sensitif de petit diamètre débouchant dans la couche pulvérulente.

#### **3.5.2.2. Soutènement des parois du forage**

L'utilisation de tubages provisoires ou de fluides stabilisateurs doit faire l'objet par le titulaire d'une étude spécifique soumise au visa du maître d'œuvre.

#### **3.5.2.3. Forage non soutenu**

Dans le cas de pieux forés simples, l'utilisation d'un tubage en tête de forage sur trois mètres de profondeur est obligatoire.

Sauf disposition contraire du marché, un essai de tenue de parois de forage est exécuté avant le début du chantier dans chaque zone géotechnique homogène. Cet essai consiste en un forage de même diamètre et longueur que les pieux les plus importants prévus dans chaque zone géotechnique. Le forage est placé sous surveillance en vue de s'assurer qu'il ne se produit pas d'éboulement pendant un temps T. Ce temps T est égal à deux fois la durée prévue pour le bétonnage, sans être inférieur à 4 heures. Ces forages sont implantés en dehors des emplacements prévus pour les pieux définitifs. Ils sont remblayés après les essais, de façon à ne pas nuire aux fondations proches ou aux ouvrages existants ou prévus.

#### **3.5.2.4. Curage du fond de pieu**

À l'exception des procédés de type tarière creuse nécessitant l'introduction de la cage d'armature après bétonnage, aucun pieu foré ne peut être bétonné avant curage du fond du forage. La méthode de curage est conforme aux dispositions du présent fascicule et est décrite par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Sauf disposition contraire du marché, notamment liée à la mobilisation de l'effort de pointe, le forage du pieu est arrêté au-dessus de la cote prévue. Le curage du fond de pieu est réalisé immédiatement avant l'équipement et le bétonnage pour atteindre la cote prévue. Si cette condition n'est pas satisfaite, le titulaire propose au visa du maître d'œuvre les dispositions adaptées qu'il compte prendre.

#### **3.5.2.5. Forage à la tarière continue creuse**

Sauf disposition contraire du marché, une tarière continue creuse doit être équipée d'un enregistreur des paramètres de forage et de bétonnage visualisés et enregistrés en continu.

Dans le cas des ponts ouvrages d'art, seul l'emploi d'une tarière avec enregistrement des paramètres et munie d'un dispositif de bétonnage rétractable de 0,8 m minimum est autorisé. Pour les autres ouvrages de génie civil, le marché précise si l'emploi de tarière creuse répondant à ces critères est obligatoire.

Une rallonge sans pale pénétrant sur une longueur maximale de 3 m dans le sol est autorisée en tête. Dans ce cas, le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre vis-à-vis des paramètres de dimensionnement sur la hauteur de rallonge.

### **3.5.3. Armatures**

Les armatures sont entreposées et manipulées de façon à éviter leur pollution et des déformations susceptibles de porter atteinte à l'usage prévu.

### **3.5.4. Bétonnage et recépage**

#### 3.5.4.1. Généralités

Lors d'un bétonnage à l'aide d'un tube plongeur, l'amorçage est l'opération qui consiste à introduire les premières gâchées de béton dans le forage. Pour cette phase particulière, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les moyens mis en œuvre pour favoriser l'effet de chasse et de se prémunir de la ségrégation, du délavage et de la pollution du premier béton.

Dans le cas d'utilisation de plusieurs tubes plongeurs (barrette) :

- l'amorçage doit être simultané dans chacun des tubes ;
- il faut disposer et alimenter les tubes plongeurs de manière à assurer une remontée et un écoulement du béton raisonnablement uniformes.

Lors du bétonnage d'un pieu, le niveau de béton frais dans le pieu et dans les pieux voisins doit être vérifié.

Sauf disposition contraire du marché, la hauteur de garde minimale de 2 mètres doit être respectée entre le niveau de béton frais et la base du tubage provisoire.

#### 3.5.4.2. Bétonnage à sec

Dans ce cas, le bétonnage peut être réalisé par l'intermédiaire d'une colonne de bétonnage ou d'un tube plongeur.

Le pied de la colonne de bétonnage est au plus à 1,0 m au-dessus du niveau de béton frais.

L'immersion du tube plongeur dans le béton frais peut être réduite à 1,0 m, en particulier lors du démontage des éléments du tube.

L'immersion du tubage provisoire dans le béton frais ne doit jamais être inférieure à 1,5 m.

#### 3.5.4.3. Bétonnage en conditions immergées

L'immersion d'un tube plongeur dans le béton frais ne doit jamais être inférieure à 1,5 m, en particulier lors du démontage des éléments du tube, et lors de la récupération et du démontage des éléments d'un tubage provisoire.

Pour des pieux de diamètre supérieur à 1,2 m, l'immersion des tubes plongeurs dans le béton frais doit être d'au moins 2,5 m.

Pour les barrettes ou lorsque deux tubes plongeurs ou plus sont utilisés, l'immersion du tube plongeur dans le béton frais doit être d'au moins 3,0 m.

#### 3.5.4.4. Bétonnage à la tarière continue creuse

Sauf disposition contraire du marché, la pression de bétonnage mesurée au col de cygne doit être toujours être supérieure à 20 kPa, sauf en fin de bétonnage.

Sauf disposition contraire du marché, il n'est pas autorisé de supprimer un élément de tarière en cours de bétonnage.

#### 3.5.4.5. Recépage

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les moyens de recépage et les dispositions qu'il compte prendre pour assurer la qualité du béton à la cote d'arase.

Le recépage comporte :

- une phase obligatoire d'enlèvement du béton durci, au terme de laquelle le titulaire vérifie la qualité du béton sur la totalité de la section à la cote d'arase ;
- éventuellement une purge par débordement ou enlèvement directement dans le forage de béton frais.

Le volume total recépage ne peut être inférieur à celui correspondant à une hauteur d'un diamètre de pieu ou d'une largeur de barrette.

Si l'élimination du béton de qualité insuffisante amène le niveau réel de recépage au-dessous du niveau théorique, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre la procédure de reprise (reconstitution du pieu jusqu'au niveau d'arase par exemple).

Sauf disposition contraire du marché, le recépage n'est pas obligatoire sur les éléments préfabriqués.

### 3.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES

#### 3.6.1. Pieu de convenance

Si un pieu de faisabilité ou un pieu d'essai au sens de la norme NF EN 1536 est réalisé, il constitue un pieu de convenance.

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un pieu de convenance. Ce pieu peut être un pieu de l'ouvrage définitif et doit être réalisé à proximité d'un sondage de reconnaissance.

A proximité d'avoisnants ou d'ouvrages existants sensibles ou dans les configurations où des incertitudes résiduelles caractérisent la méthode d'exécution retenue, le pieu de convenance ne doit pas être un pieu de l'ouvrage.

Le pieu de convenance fait l'objet de la part du titulaire d'un document de suivi sur lequel sont consignés tous les éléments permettant de valider les procédures particulières de mise en œuvre. Ces éléments viennent compléter le compte-rendu individuel pour chaque pieu foré (clause 3.6.3).

Il s'agit a minima de :

- la coupe stratigraphique rencontrée :
  - dans le cas des pieux réalisés à la tarière creuse, sous forme d'enregistrements des paramètres de forage ; l'interprétation de cet enregistrement sert également de calage du modèle géotechnique,
  - dans les autres cas, en réalisant des prélèvements de sol même très remaniés tous les mètres et à tout changement de lithologie ; les échantillons sont conservés à l'abri des précipitations et du gel durant toute la durée du chantier ;
- les procédures particulières d'excavation (outil utilisé, tenue et soutien des parois de forage) ;
- et le cas échéant :
  - les caractéristiques du fluide stabilisateur,
  - la procédure de mise en œuvre des armatures ou des éléments préfabriqués,
  - les caractéristiques du béton ou coulis : consistance, densité ou viscosité le cas échéant, confection de deux échantillons soit 6 éprouvettes pour mesurer les résistances à 7 et 28 jours,
  - la procédure d'amorçage du bétonnage ou la procédure de mise en place du coulis,

- la procédure de recépage sur béton frais.

En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions complémentaires qu'il envisage et met à jour la procédure d'exécution.

### **3.6.2. Essais de chargement**

Les pieux faisant l'objet d'essais de chargement sont des pieux d'essai et peuvent être considérés comme des pieux de convenance.

Pour tout chantier comportant plus de 5000 mètres linéaires de pieux forés, et sauf disposition contraire du marché, le titulaire procède à un essai de chargement statique instrumenté mené à la rupture géotechnique et permettant de déterminer distinctement la résistance de pointe et le frottement axial au niveau de chaque couche de sol traversée. Cet essai doit faire préalablement l'objet d'une reconnaissance géotechnique adaptée.

#### **3.6.2.1. Cas des pieux travaillant en traction**

Sauf disposition contraire du marché, les pieux soumis à un effort de traction sous combinaisons aux états limites de service quasi-permanents doivent faire l'objet d'essais de chargement de contrôle conformes à la clause 3.6.4 du présent document.

Dans le cas des ouvrages relevant de la catégorie géotechnique 3 et des ponts, des essais en traction menés à la rupture sont réalisés avant le démarrage du chantier. Si le marché n'en précise pas le nombre, le titulaire précise dans les procédures d'exécution le nombre d'essais de chargement à la rupture qu'il réalise.

### **3.6.3. Surveillance**

Pour chaque pieu, le titulaire remet au maître d'œuvre un compte-rendu de chantier conforme à la norme NF EN 1536, complétée comme suit :

- pour les techniques de tarière continue creuse, un enregistrement graphique des paramètres de forage et de bétonnage ;
- pour les autres techniques la courbe de bétonnage ;
- l'altimétrie du béton et des armatures en fin de bétonnage par rapport à un repère altimétrique fixe et clairement identifié.

La liste des éléments composant le compte-rendu est non exhaustive. Elle est adaptée aux techniques mises en œuvre et aux conditions de sols.

Ces différentes observations doivent faire l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse. En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

### **3.6.4. Contrôles**

Sauf disposition contraire du marché, 30 % des pieux au minimum font l'objet d'un contrôle d'intégrité par auscultation sonore. Dans le cas des ponts et conformément à l'Annexe Q de la NF P94-262, l'intégralité des pieux est contrôlée.

Les cas de désamorçage de la colonne de bétonnage, reprise de bétonnage, chute de pression en deçà de 10 kPa pour une technique de tarière creuse ou d'incidents identifiés lors de la réalisation du pieu foré (éboulements, remontée de fond de fouille), constituent une non-conformité.

Les contrôles réalisés font l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse.

Les pieux soumis à un effort de traction sous combinaisons aux états limites de service quasi-permanents doivent faire l'objet d'essais de chargement de contrôle poursuivis jusqu'à une charge d'épreuve de 1,4 fois la charge de service en traction aux états limites de service quasi-permanents. L'échantillonnage minimal par zone géotechnique homogène est de 2 essais pour les 25 premiers pieux et 1 essai par tranche de 25 pieux au-delà.



## 4. PAROIS MOULEES

### 4.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 1538.

### 4.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 4.2.1. Références normatives

NF EN 1538 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux : Parois moulées

NF P94-282 - Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement - Écrans

NF P94-262 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations profondes

NF P 94-151 - Essai statique de pieu isolé sous effort transversal

NF P 94-160-1 - Auscultation d'un élément de fondation - Partie 1 : méthode par transparence

NF EN 206/CN - Complément national à la norme NF EN 206.

#### 4.2.2. Termes et définitions

**recépage** : opération qui correspond à :

- la mise au niveau d'arase de la tête de paroi ;
- l'élimination du béton pollué et/ou impropre, de manière à obtenir un béton sain sur toute sa section.

**panneau de convenance** : panneau réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution. Le panneau de convenance est généralement un panneau de l'ouvrage.

### 4.3. CONCEPTION, ETUDES ET RECONNAISSANCES

#### 4.3.1. Caractéristiques particulières

Les exigences propres à la paroi en particulier concernant la perméabilité du matériau qui la compose ou le type de joint peuvent se traduire par une valeur de débit de fuite.

#### 4.3.2. Modalité de justification

Pour les ponts, les dispositions de conception et de justification des parois moulées doivent être conformes à l'annexe Q de la norme NF P94-262.

Pour les autres ouvrages de génie civil, le marché précise si les dispositions de conception et de justification de l'annexe Q de la norme NF P94-262 sont applicables.

## **4.4. MATERIAUX**

### **4.4.1. Fluides stabilisateurs**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre pour que le fluide stabilisateur soit adapté aux caractéristiques des sols et des eaux rencontrés, en vue d'assurer la stabilité des parois du forage pendant son exécution et du bétonnage le cas échéant.

Le titulaire doit disposer sur le chantier d'un laboratoire où les paramètres de la boue peuvent être mesurés à tout instant, ainsi que d'un matériel de prélèvement de la boue dans le forage.

Sauf disposition contraire du marché, les dispositions concernant les teneurs en sable de la norme NF EN 1538 ne s'appliquent pas : la teneur en sable maximale de la boue avant réutilisation est de 5% et avant bétonnage de 3%.

L'altération par le ciment résultant du bétonnage impose d'éliminer généralement les deux à trois derniers mètres de fluide stabilisateur surmontant le béton.

### **4.4.2. Béton**

Le rapport eau efficace / liant équivalent ne pourra être plus grand que 0,55.

La valeur cible de consistance doit tenir compte des conditions particulières de bétonnage telles que le temps de trajet entre le point de fabrication et le point de livraison ou le temps de bétonnage.

#### **4.4.2.1. Granulats**

Sauf disposition contraire du marché, les dimensions maximales des granulats respectent les spécifications de la norme NF EN 1538, complétées comme suit :

- la dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser la moitié de l'épaisseur d'enrobage des armatures,
- la distance entre le tube plongeur et les armatures doit être d'au moins quatre fois la dimension maximale des granulats.

#### **4.4.2.2. Béton frais**

Le bétonnage de la totalité de chaque panneau doit être possible avant tout début de prise du béton déjà mis en œuvre. Si le volume des panneaux est trop important pour que cette exigence puisse être satisfaite, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les dispositions qu'il compte prendre.

Chaque échantillon pour le contrôle sur site du béton est composé de trois éprouvettes et d'une mesure d'affaissement ou d'étalement. Un essai de consistance par échantillon au minimum est réalisé.

Lorsque la centrale à béton ne bénéficie pas du droit d'usage de la marque NF-BPE ou équivalent, l'échantillonnage minimal à charge du titulaire suivant doit être réalisé :

- deux échantillons pour chacun des trois premiers panneaux d'un chantier ;
- au moins un échantillon tous les 75 m<sup>3</sup> de béton ensuite ;
- deux échantillons supplémentaires suite à des interruptions de travaux supérieures à 2 jours.

L'échantillonnage minimal à la charge du titulaire dans le cas d'une centrale qui bénéficie d'un droit d'usage de la marque NF-BPE ou équivalent certifiée ou d'un béton certifié est le suivant :

- un échantillon pour le premier panneau de la première toupie ou après une interruption de travaux supérieure à 2 jours ;
- au moins un échantillon tous les 100 m<sup>3</sup> de béton.

### **4.4.3. Coulis**

Le coulis utilisé pour le remplissage des tubes soniques doit présenter un rapport minimal eau efficace / liant équivalent de 2/3.

#### **4.4.3.1. Ajout d'autres éléments**

Les tubes d'auscultation sont rigides étanches et protégés durant les travaux de toute détérioration susceptible de nuire à leur utilisation. Les tubes sont placés de façon à ne pas nuire au bon enrobage des armatures. Sauf disposition contraire du marché, les tubes métalliques utilisés pour les contrôles d'intégrité des parois moulées par la méthode par transparence doivent être des tubes manchonnés vissés.

### **4.4.4. Joints**

Afin de satisfaire aux caractéristiques particulières définies au marché, liées à la perméabilité ou au débit de fuite admissible de l'ouvrage, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les dispositions qu'il compte prendre.

Ces dispositions comprennent à minima :

- les hauteurs de parois concernées ;
- la nature des joints ;
- le mode de réalisation des joints.

### **4.4.5. Traitement des parements**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution la nature, les caractéristiques et la quantité des produits utilisés pour le traitement des parements délagés.

## **4.5. EXECUTION**

### **4.5.1. Tolérances d'exécution**

#### **4.5.1.1. Parois moulées exécutées en place**

Un panneau ne peut être bétonné si sa géométrie (dimensions, implantation, inclinaison, direction) ne respecte pas les tolérances imposées. Dans ce cas, le titulaire soumet sans délai à l'agrément du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre pour remédier aux conséquences de cet état de fait, avant de procéder au bétonnage éventuel.

La tolérance de profondeur d'exécution est de 0,25 m. Si la profondeur réelle dépasse la base de panneau telle que prévue dans les documents d'exécution de plus de 0,25 m, le titulaire propose au visa du maître d'œuvre les dispositions techniques permettant le contrôle d'intégrité jusqu'à la base du panneau.

S'il n'est pas fixé par le marché, le titulaire précise dans la procédure d'exécution le décalage maximum entre deux panneaux adjacents au niveau de leur joint commun.

S'ils ne sont pas fixés par le marché, les hors profils des faces vues par rapport à leur plan moyen (ledit plan moyen devant respecter les tolérances d'exécution) ne peuvent dépasser 2 cm pour les creux sous réserve de satisfaire aux dispositions particulières d'enrobage de la norme NF EN 1992.

#### **4.5.1.2. Parois moulées préfabriquées**

Le décalage entre deux panneaux adjacents au niveau de leur joint commun ne peut excéder 2 cm sur la partie dégagée des parois.

### **4.5.2. Plan de panneautage**

Aussi bien pour les ouvrages provisoires que définitifs, le titulaire établit un plan de panneautage et une note explicative détaillée qu'il soumet au visa du maître d'œuvre. Outre l'implantation et les dimensions de chaque panneau, ces documents précisent et justifient les conditions de leur exécution, et notamment leur mode et leur ordre d'exécution, ainsi que les travaux préalables nécessaires à l'exécution de ces panneaux.

L'attention est attirée sur le fait qu'une étude soignée du panneautage, et en particulier, une bonne adaptation de la longueur et de l'ordre d'exécution des panneaux aux conditions locales de sol, de site et d'environnement, est une condition essentielle pour assurer la qualité des parois et limiter les aléas d'exécution.

#### **4.5.3. Forage sans fluide stabilisateur**

Une exécution sans fluide stabilisateur des panneaux peut être envisagée sous réserve :

- que le titulaire soumette des justifications particulières au visa du maître d'œuvre en ce qui concerne la stabilité des parois ;
- qu'en terrain meuble, l'excavation soit effectuée au-dessus du niveau piézométrique de la ou des nappes ;
- de réaliser un panneau de convenance (clause 4.6.1 du présent document) par zone géotechnique homogène qui vérifie la stabilité de la fouille durant un temps T égal à deux fois la durée prévue pour le bétonnage, sans être inférieur à 4 heures.

#### **4.5.4. Curage du fond de panneau**

Aucun panneau ne peut être bétonné avant curage du fond du forage. La méthode de curage est conforme aux dispositions du présent fascicule et est décrite dans la procédure d'exécution produite par le titulaire.

Sauf disposition contraire du marché, notamment liée à la mobilisation de l'effort de pointe, l'excavation du panneau est arrêtée au-dessus de la cote prévue. Le curage du fond de panneau est réalisé immédiatement avant l'équipement et le bétonnage pour atteindre la cote prévue. Si cette condition n'est pas satisfaite, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les dispositions adaptées qu'il compte prendre.

#### **4.5.5. Armatures**

Les armatures sont entreposées et manipulées de façon à éviter leur pollution et des déformations susceptibles de porter atteinte à l'usage prévu.

#### **4.5.6. Mise en place des armatures ou d'autres éléments**

Lorsque la mise en œuvre d'un élément préfabriqué dans une excavation est gênée par un début de prise du coulis, l'élément est retiré et la partie d'excavation non encore équipée est excavée à nouveau en prenant les dispositions nécessaires, s'il y a lieu, pour assurer la réalisation du joint dans les conditions initialement prévues.

#### **4.5.7. Bétonnage et recépage**

##### **4.5.7.1. Généralités**

Lors de bétonnage à l'aide d'un tube plongeur, l'amorçage est l'opération qui consiste à introduire les premières gâchées de béton dans le forage. Pour cette phase particulière, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les moyens permettant de favoriser l'effet de chasse et de se prémunir de la ségrégation, du délavage et de la pollution du premier béton.

Dans le cas d'utilisation de plusieurs tubes plongeurs :

- l'amorçage doit être simultané dans chacun des tubes ;
- il faut disposer et alimenter les tubes plongeurs de manière à assurer une remontée et un écoulement du béton raisonnablement uniformes.

Lors du bétonnage d'un panneau le niveau de béton frais dans ce panneau ou ses voisins doit être vérifié.

Le cheminement horizontal du béton doit rester inférieur à trois mètres.

##### **4.5.7.2. Bétonnage à sec**

Le pied de la colonne de bétonnage est au plus à 1,0 m au-dessus du niveau de béton frais.

L'immersion du tube plongeur dans le béton frais peut être réduite à 1,0 m, en particulier lors du démontage des éléments du tube.

#### 4.5.7.3. Recépage

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les moyens de recépage et les dispositions qu'il compte prendre pour assurer la qualité du béton à la cote d'arase.

Sauf disposition contraire du marché, le recépage n'est pas obligatoire sur les éléments préfabriqués.

Le recépage comporte :

- une phase obligatoire d'enlèvement du béton durci au terme de laquelle le titulaire vérifie la qualité du béton sur la totalité de la section à la cote d'arase,
- éventuellement une purge par débordement ou enlèvement directement dans le forage de béton frais.

Le volume total recépi ne peut être inférieur à celui correspondant à la profondeur d'une largeur de paroi.

Si l'élimination du béton de qualité insuffisante amène le niveau réel de recépage au-dessous du niveau théorique, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre la procédure de reprise (reconstitution de la paroi jusqu'au niveau d'arase par exemple).

#### 4.5.8. Traitement des parements

Le titulaire précise dans la procédure d'exécution les méthodes de préparation du support et de mise en œuvre du traitement des parements.

### 4.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES

#### 4.6.1. Panneau de convenance

Le panneau de convenance est une excavation ou tranchée d'essai au sens de la norme NF EN 1538. Lors de sa réalisation, toutes précautions utiles vis-à-vis de la sécurité des personnes et des avoisinants doivent être prises.

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un panneau de convenance. Le panneau de convenance est généralement un panneau de l'ouvrage. Il doit être réalisé à proximité d'un sondage de reconnaissance.

Le panneau de convenance fait l'objet de la part du titulaire d'un document de suivi sur lequel sont consignés tous les éléments permettant de valider les procédures particulières de mise en œuvre. Ces éléments viennent compléter le compte-rendu individuel pour chaque panneau (clause 4.6.2 du présent document). Il s'agit à minima de valider les points suivants :

- la coupe stratigraphique rencontrée en réalisant des prélèvements de sol même très remaniés tous les mètres et à tout changement de lithologie ; les échantillons sont conservés à l'abri des précipitations et du gel durant toute la durée du chantier ;
- les procédures particulières d'excavation (outil utilisé, tenue et soutiens des parois de forage) ;
- les caractéristiques du fluide stabilisateur ;
- et le cas échéant :
  - la procédure de mise en œuvre des armatures ou des éléments préfabriqués,
  - les caractéristiques du béton ou coulis : consistance, densité ou viscosité le cas échéant, confection de deux échantillons soit 6 éprouvettes pour mesurer les résistances à 7 et 28 jours,
  - la procédure d'amorçage du bétonnage ou la procédure de mise en place du coulis,
  - la procédure de recépage sur béton frais.

En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

#### **4.6.2. Surveillance**

Pour chaque panneau, le titulaire remet au maître d'œuvre un compte-rendu de chantier conforme à la norme NF EN 1538 et complétée comme suit :

- la date d'exécution du panneau ;
- l'implantation des murettes-guides ;
- la coupe stratigraphique ;
- niveau minimal et caractéristiques du fluide stabilisateur ;
- caractéristiques du béton ou du coulis le cas échéant ;
- paramètres de bétonnage (durée, position des tubes plongeurs, courbe de bétonnage) ;
- l'altimétrie du béton et des armatures en fin de bétonnage par rapport à un repère altimétrique fixe et clairement identifié.

La liste des éléments composant le compte-rendu est non exhaustive. Elle est adaptée aux techniques mises en œuvre et aux conditions de sols.

Ces différentes observations doivent faire l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse. En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

#### **4.6.3. Contrôles**

Pour les parois moulées exécutées en place, et sauf disposition contraire du marché, les dispositions suivantes s'appliquent :

- 30% au minimum des panneaux ou du linéaire font l'objet d'un contrôle d'intégrité par auscultation sonore ;
- dans le cas des ponts et conformément à l'Annexe Q de la NF P94-262, l'intégralité des panneaux est contrôlée.

Les cas de désamorçage de la colonne de bétonnage, reprise de bétonnage ou d'incidents identifiés lors de la réalisation de la paroi (éboulements, remontée de fond de fouille) constituent une non-conformité.

Les contrôles réalisés font l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse.

## 5. PIEUX AVEC REFOULEMENT DE SOL

### 5.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 12699. Toutefois les types de pieux suivants doivent faire l'objet d'un cahier des charges spécifique qui détaille les spécifications d'exécution et de contrôle :

- pieux en bois ;
- pieux en fonte.

### 5.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 5.2.1. Références normatives

NF EN 12699 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux : Pieux avec refoulement de sol

NF P 94-282 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 – Ouvrages de soutènement – Écrans

NF P 94-262 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations profondes

NF P 94-150-1 - Essai statique de pieu isolé sous charge axiale - Partie 1 - En compression

NF P 94-150-2 - Essai statique de pieu sous un effort axial - Partie 2 - En traction

NF P 94-151 - Essai statique de pieu isolé sous effort transversal

NF P 94-160-1 - Auscultation d'un élément de fondation - Partie 1 : méthode par transparence

NF EN 206/CN - Complément national à la norme NF EN 206.

#### 5.2.2. Termes et définitions

**recépage** : opération qui consiste à la mise à la cote projet et à l'élimination, soit du béton pollué lors de sa mise en œuvre dans le cas des pieux coulés en place, soit de la partie endommagée par le fonçage des pieux préfabriqués.

**pieu de convenance** : pieu réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

### 5.3. CONCEPTIONS, ETUDES ET RECONNAISSANCES

#### 5.3.1. Caractéristiques particulières

Sauf disposition contraire du marché, un pieu préfabriqué en acier relève d'une classe d'exécution 2 (norme NF EN 1090). Le niveau d'acceptation des défauts pour les soudures structurelles relève de la classe C.

#### 5.3.2. Modalité de justification

Pour les ponts, les dispositions de conception et de justification des pieux à refoulement de sol doivent être conformes à l'annexe Q de la norme NF P94-262.

Pour les autres ouvrages de génie civil le marché précise si les dispositions de conception et de justification de l'annexe Q de la norme NF P94-262 sont applicables.

### 5.4. MATERIAUX

### **5.4.1. Mortier**

Le mortier utilisé pour les pieux métalliques enrobés satisfait aux caractéristiques suivantes :

- il comporte un sable tel que  $d_{85} < 4 \text{ mm}$  et  $d_{100} < 8 \text{ mm}$  ;
- le dosage en ciment est au moins de  $500 \text{ kg/m}^3$  ;
- le rapport eau efficace / liant équivalent est inférieur à 0,5 ;
- un retardateur de prise est utilisé.

### **5.4.2. Coulis**

La composition ainsi que la mise en œuvre du coulis des pieux à refoulement de sol peuvent suivre certaines recommandations de l'Article 15 "Micropieux" du présent document.

Le coulis utilisé pour le remplissage des tubes soniques doit présenter un rapport minimal eau efficace / liant équivalent de 2/3.

### **5.4.3. Cas des pieux coulés en place**

Dans le cas des pieux à refoulement coulés en place, les dispositions de la clause 3.4.2 relatives aux pieux forés s'appliquent.

## **5.5. EXECUTION**

### **5.5.1. Généralités**

#### 5.5.1.1. Tolérances d'exécution

Sauf disposition contraire du marché, la tolérance d'exécution en plan au niveau de la plate-forme de fonçage est de 0,04 m pour les pieux de largeur ou diamètre inférieurs à 0,3 m.

Un refus significatif non conforme aux critères de fonçage, représente une condition technique imprévue.

#### 5.5.1.2. Armatures

Les armatures sont entreposées et manipulées de façon à éviter leur pollution et des déformations susceptibles de porter atteinte à l'usage prévu.

### **5.5.2. Pieux préfabriqués**

#### 5.5.2.1. Recépage

Dans le cas de pieux en béton armé, s'il est constaté une dégradation de la tête de pieu, la hauteur minimale de béton à éliminer est au moins égale à 2,5 fois la largeur du pieu. Sauf disposition contraire du marché, la longueur d'armatures dégarinée est au moins égale à la longueur de scellement.

#### 5.5.2.2. Entures

Le titulaire précise dans la procédure d'exécution les dispositions constructives de réalisation de l'enture.

### **5.5.3. Pieux exécutés en place**

Lorsqu'un contrôle d'intégrité est prévu par le marché, la tolérance de profondeur d'exécution est de 0,25 m. Si la profondeur réelle dépasse la base de pieu théorique de plus de 0,25 m, le titulaire propose au visa du maître d'œuvre les dispositions techniques permettant le contrôle d'intégrité jusqu'à la base du pieu.

#### 5.5.3.1. Bétonnage

Lors du bétonnage d'un pieu, le niveau de béton frais dans le pieu et dans les pieux voisins doit être vérifié.

Sauf disposition contraire du marché, la hauteur de garde minimale de 2 mètres doit être respectée entre le niveau de béton frais et la base du tubage provisoire. Cette disposition ne s'applique pas à la phase finale d'extraction du tubage.



En cas de présence d'eau dans le tubage avant bétonnage, le titulaire soumet au maître d'œuvre une procédure particulière de mise en œuvre conforme aux dispositions de la clause 3.5.4.3.

Pour le bétonnage à la pompe en circuit fermé, sauf disposition contraire du marché :

- la pression de bétonnage mesurée au col de cygne doit être toujours être supérieure à 20 kPa, sauf en fin de bétonnage,
- il n'est pas autorisé de supprimer un élément de tubage en cours de bétonnage.

#### 5.5.3.2. Recépage

Dans le cas de recépage sur béton frais, le titulaire précise dans la procédure d'exécution les volumes de béton frais ainsi que les moyens de contrôle permettant de s'assurer que la qualité du béton durci soit satisfaisante au niveau de l'arase.

## 5.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES

### 5.6.1. Pieu de convenance (essai de fonçage)

Si un pieu de faisabilité, un pieu préliminaire ou un pieu d'essai au sens de la norme NF EN 12699 sont réalisés, ils constituent un pieu de convenance.

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un pieu de convenance. Ce pieu peut être un pieu de l'ouvrage définitif sauf à proximité d'avoisinants ou d'ouvrages et dans les configurations où des incertitudes résiduelles caractérisent la méthode d'exécution retenue. Il doit être réalisé à proximité d'un sondage de reconnaissance.

Le pieu de convenance fait l'objet de la part du titulaire d'un document de suivi sur lequel sont consignés tous les éléments permettant de valider les procédures particulières de mise en œuvre. Ces éléments viennent compléter le compte-rendu individuel pour chaque pieu à refoulement de sol. Il s'agit a minima de :

- la coupe stratigraphique rencontrée en se basant sur les paramètres de fonçage (courbes de battage, de vissage, effort de véringage...). L'interprétation de ces paramètres sert également de calage du modèle géotechnique ;
- les procédures particulières d'exécution (outil utilisé, aide au fonçage éventuelle, enture...);
- et le cas échéant :
  - la procédure de mise en œuvre des armatures ou des éléments préfabriqués,
  - les caractéristiques du béton ou coulis : consistence, densité ou viscosité le cas échéant, confection de deux échantillons soit 6 éprouvettes pour mesurer les résistances à 7 et 28 jours,
  - la procédure d'injection ou d'enrobage,
  - la procédure de recépage.

En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions complémentaires qu'il envisage et met à jour la procédure d'exécution.

### 5.6.2. Essais de chargement

Les pieux faisant l'objet d'essais de chargement peuvent être considérés comme des pieux de convenance.

#### 5.6.2.1. Cas général

Pour tout chantier comportant plus de 5000 mètres linéaires de pieux à refoulement de sol, et sauf disposition contraire du marché, le titulaire procède à un essai de chargement statique instrumenté mené à la rupture géotechnique et permettant de déterminer distinctement la résistance de pointe et le frottement axial au niveau de chaque couche de sol traversée. Cet essai doit faire préalablement l'objet d'une reconnaissance géotechnique adaptée.

#### 5.6.2.2. Cas des pieux travaillant en traction

Sauf disposition contraire du marché, les pieux soumis à un effort de traction sous combinaisons aux états limites de service quasi-permanents (excédant 15 % de la résistance limite de traction du sol) doivent faire l'objet d'essais de chargement de contrôle conforme à la clause 5.6.4. L'échantillonnage minimum est d'au moins un essai par zone géotechnique homogène dans la configuration de chargement du sol la plus défavorable.

Dans le cas des ouvrages relevant de la catégorie géotechnique 3 et des ponts, des essais en traction menés à la rupture sont réalisés avant le démarrage du chantier.

#### 5.6.3. Surveillance

Pour chaque pieu, le titulaire remet au maître d'œuvre un compte-rendu de chantier conforme à la norme NF EN 12699 et complétée par l'altimétrie du béton et des armatures en fin de bétonnage lorsque ces éléments sont appropriés. Cette altimétrie est donnée par rapport à un repère altimétrique fixe et clairement identifié.

La liste des éléments composant le compte-rendu est non exhaustive. Elle est adaptée aux techniques mises en œuvre et aux conditions de sols.

Ces différentes observations doivent faire l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse. En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

#### 5.6.4. Contrôles

Sauf disposition contraire du marché, 30 % des pieux au minimum font l'objet d'un contrôle d'intégrité par auscultation sonique. Dans le cas des ponts et conformément à l'annexe Q de la norme NF P94-262, l'intégralité des pieux est contrôlée.

Les cas de désamorçage de la colonne de bétonnage, reprise de bétonnage, chute de pression en deçà de 10 kPa ou d'incidents identifiés lors de la réalisation du pieu foré (éboulements, remontée de fond de fouille) constituent une non-conformité.

Les contrôles réalisés font l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse.

Les pieux soumis à un effort de traction sous combinaison aux états limites de service quasi-permanents doivent faire l'objet d'essais de chargement de contrôle poursuivis jusqu'à une charge d'épreuve de 1,4 fois la charge de service en traction. L'échantillonnage minimal par zone géotechnique homogène est de 2 essais pour les 25 premiers pieux et 1 essai par tranche de 25 pieux au-delà.

## **6. RIDEAUX DE PALPLANCHES**

### **6.1. DOMAINE D'APPLICATION**

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 12063. Toutefois les rideaux de palplanches en bois doivent faire l'objet d'un cahier des charges spécifique.

### **6.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES**

#### **6.2.1. Références normatives**

NF EN 12063 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux : Rideaux de palplanches

NF P 94-282 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 – Ouvrages de soutènement – Écrans

NF P 94-262 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations profondes

Dans l'attente de la mise à jour des références normatives de la norme NF EN 12063, les références de la version de 1999 sont remplacées par les versions suivantes :

- la norme EN ISO 9692 remplace la norme EN 29692:1994 ;
- la norme EN ISO 15609 remplace la norme EN 288:1992 ;
- la norme EN ISO 5817 remplace la norme EN 25817:1992.

#### **6.2.2. Termes et définitions**

**recépage** : opération qui consiste à :

- la mise au niveau d'arase de la tête du rideau ;
- l'élimination de la partie supérieure endommagée par le fonçage.

### **6.3. MATERIAUX**

#### **6.3.1. Caractéristiques des aciers**

Si les produits mis en œuvre ne relèvent pas d'une certification NF-Acier, le titulaire précise dans les procédures d'exécution un programme d'essais permettant de s'assurer des propriétés du matériau.

#### **6.3.2. Protection contre la corrosion**

Sauf disposition contraire du marché et lorsque des éléments métalliques constitués de nuances d'acier différentes sont utilisés dans le même ouvrage, le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre pour assurer leur compatibilité vis-à-vis de la corrosion.

#### **6.3.3. Étanchement des serrures**

Sauf disposition contraire du marché, dans le cas de prescriptions liées à la perméabilité du rideau, le titulaire précise dans une procédure d'exécution les essais in-situ sur des serrures afin de vérifier que la procédure d'étanchement (soudure à l'arc, produits d'étanchement) satisfait aux spécifications définies à la conception.

#### **6.3.4. Traitement des parements**

La nature, les caractéristiques et la quantité des produits utilisés pour le traitement des parements dégagés sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

## 6.4. EXECUTION

### 6.4.1. Généralités

Les palplanches et les autres éléments métalliques qui entrent dans la composition du rideau de palplanches doivent porter des inscriptions indélébiles, visibles après leur mise en œuvre permettant leur identification. Cette identification concerne la nuance, la qualité d'acier et le profil auquel ils appartiennent.

#### 6.4.1.1. Plan de mise en œuvre

Qu'il s'agisse d'ouvrages définitifs ou d'ouvrages provisoires, le titulaire établit un plan de mise en œuvre détaillé qu'il intègre dans la procédure d'exécution. Outre l'implantation des rideaux de palplanches le plan précise :

- la cote du terrain à la mise en œuvre des palplanches ;
- les niveaux caractéristiques de l'eau, s'il y a lieu ;
- le nombre et la position des palplanches d'un même type, de même nuance d'acier et leur longueur ;
- la cote théorique du pied des palplanches, leur cote de recépage et leur longueur ;
- les dessins de détail des palplanches spéciales et autres composants, et des assemblages spéciaux s'il y a lieu ;
- les axes qui matérialisent la position des liernes, cadres, butons et tirants d'ancrages éventuels ;
- pour les ouvrages provisoires, les contours extérieurs de l'ouvrage définitif ou de la partie de cet ouvrage à construire et pour lequel l'exécution de l'ouvrage provisoire est prévue ;
- la nature et la position en plan et en élévation de l'instrumentation le cas échéant.

#### 6.4.1.2. Programme de fonçage

Le titulaire, établit un programme de fonçage détaillé dans la procédure d'exécution qu'il transmet au maître d'œuvre avant le commencement des travaux. Ce programme indique les conditions dans lesquelles il prévoit la mise en œuvre des rideaux de palplanches. Pour les rideaux de palplanches en U, le programme doit être adapté afin de garantir la valeur des coefficients de réduction éventuelle dus à une transmission insuffisante des efforts de cisaillement dans les serrures (NF EN 1993-5 et ses annexes nationales), prise en compte dans la conception.

Ce programme peut, en tant que de besoin, être adapté en cours d'exécution en fonction des constatations faites sur le chantier ; il indique notamment :

- les procédés de fonçage envisagés ;
- les matériels prévus ;
- les principales phases d'exécution qui indiquent les niveaux de remblayages, d'excavation, de nappe, d'eau libre, les principales caractéristiques des matériaux, les déplacements attendus ;
- les dispositions particulières liées à la perméabilité du rideau ;
- les dispositions particulières adoptées au droit des points singuliers de l'ouvrage.

Ce programme doit, préciser le cas échéant :

- le fonçage de chaque palplanche (ou paire de palplanches) d'une seule traite ou non jusqu'à sa cote définitive, fonçage par panneaux et longueur des panneaux ;
- la numérotation des palplanches ou des panneaux suivant l'ordre de fonçage, nombre de palplanches mises en fiche avant fonçage, phases de fonçage et matériel envisagés pour chacune de ces phases ;

- les modalités particulières d'exécution, par exemple, sous gabarit réduit du fait de la présence d'un ouvrage tel un tablier de pont, raccordement à un ouvrage existant.

Le choix des moyens de fonçage doit tenir compte, outre des données géotechniques, des observations qui figurent éventuellement dans le dossier géotechnique et qui peuvent porter sur la présence de blocs, d'anciennes maçonneries, de couches peu épaisses de sol dur ou rocheux, ou sur les conditions de fonçage de palplanches observées sur des chantiers voisins dans les mêmes formations ou dans des formations analogues. Il y a lieu également d'adapter les installations et le matériel de fonçage au site concerné en tenant compte des ouvrages existants pouvant être affectés par le fonçage.

#### **6.4.2. Soudage et découpage d'éléments en acier**

Sauf disposition contraire du marché, une palplanche considérée isolément au sein d'un rideau continu relève d'une classe d'exécution 1 (norme NF EN 1090) à la condition que les entures ne se situent pas au même niveau. Le niveau d'acceptation de cette palplanche isolée au sein d'un rideau continu peut relever d'une classe d'acceptation des défauts de soudure C ou D, suivant le taux de contraintes appliqué à la soudure.

#### **6.4.3. Fonçage**

Le titulaire justifie auprès du maître d'œuvre les moyens qu'il envisage de mettre en œuvre pour guider les palplanches lors du fonçage. Éventuellement le titulaire peut justifier l'absence de dispositif de guidage.

Lorsque le fonçage est réalisé par battage l'emploi d'un casque de battage ou d'un dispositif analogue, éventuellement solidaire de l'engin de battage, est obligatoire.

Le casque de battage, ou le dispositif analogue, doit être adapté à la section du profil à foncer pour une bonne répartition de l'énergie développée par l'engin de battage sur cette section.

Toutes les dispositions doivent être prises pour que durant la mise en œuvre des palplanches, les engins de fonçage n'engendrent pas d'efforts ou de vibrations parasites dommageables à la qualité de l'ouvrage et de ses avoisinants.

Toute palplanche ou ensemble de palplanches qui s'écarte en cours de fonçage des tolérances d'implantation ou de verticalité imposées au marché est immédiatement arrachée. Si l'incident se reproduit, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il propose en vue de remédier à cette situation.

Toute palplanche, dont l'implantation et la verticalité respectent les tolérances d'exécution mais qui présente en cours de fonçage, une déformation incompatible avec son emploi, une amorce de rupture ou un dégrafage, fait l'objet de dispositions particulières soumises par le titulaire au visa du maître d'œuvre (remplacement, confortement ...).

Sauf disposition contraire du marché, les palplanches sont foncées jusqu'à ce que leur pied atteigne la côte théorique prévue. Lorsque cette cote ne peut être atteinte, le titulaire en informe immédiatement le maître d'œuvre et soumet à son visa un document :

- qui vérifie si les exigences de la conception sont satisfaites. Cette justification peut s'appuyer sur des courbes de fonçage, une analyse de propagation d'ondes ;
- qui propose éventuellement une adaptation des dispositions constructives par une mise à jour de la procédure d'exécution.

Lorsque le marché fixe pour une énergie de fonçage donnée, une valeur d'enfoncement (refus) et que celle-ci n'est pas obtenue à la cote stipulée, ou si elle est obtenue prématurément, le titulaire en informe le maître d'œuvre en vue de fixer, s'il y a lieu, les dispositions à prendre.

#### **6.4.4. Mise en place des ancrages, liernes et butons**

Le titulaire soumet au maître d'œuvre une procédure de mise en œuvre des liernes, ancrages, butons et leurs massifs d'appuis éventuels qui permet :

- de respecter les principes de conception (phasage, matériaux, procédés de mise en œuvre ...) ;

- d'assurer un contact avec les palplanches pour une transmission des sollicitations compatible avec la résistance des palplanches et n'engendrant pas de déformations permanentes locales ;
- d'éviter toute sollicitation parasite dans les tirants ou butons susceptible de nuire à leur résistance ou à leur stabilité (tassement des terres, défaut de contreventement ...).

Afin d'assurer une répartition uniforme des charges sur la lierne, le titulaire met en œuvre les moyens nécessaires à l'obtention d'un contact continu entre les palplanches et la lierne, au moyen de cales en bois dur, métalliques ou en béton.

## **6.5. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

### **6.5.1. Plot de convenance (essai de fonçage)**

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un essai de convenance. Ce plot peut être inclus à l'ouvrage définitif et doit être réalisé à proximité d'un sondage de reconnaissance.

A proximité d'avoisinants ou d'ouvrages existants sensibles ou dans les configurations où des incertitudes résiduelles caractérisent la méthode d'exécution retenue, le plot de convenance ne doit pas être un élément de l'ouvrage.

Le plot de convenance fait l'objet de la part du titulaire d'un document de suivi sur lequel sont consignés tous les éléments permettant de valider les procédures particulières de mise en œuvre.

Sauf disposition contraire du marché, chaque plot de convenance fait l'objet d'un essai de suivi de fonçage par analyse de la propagation des ondes à partir d'une instrumentation appropriée pour enregistrer l'accélération, la contrainte et l'énergie délivrée par le marteau à 1 mètre sous la tête de la palplanche.

Ces éléments viennent compléter le compte-rendu individuel pour chaque élément du rideau. Il s'agit a minima de :

- la coupe stratigraphique rencontrée en se basant sur les paramètres de fonçage (courbes de battage, effort de vérinage, analyse de propagation des ondes...). L'interprétation de ces paramètres sert également de calage du modèle géotechnique
- les procédures particulières d'exécution : matériel utilisé, programme de fonçage, aide au fonçage éventuelle, soudure, enture, ancrages et liernes éventuels ... ;
- les incidents éventuels : refus prématuré, dégrafage, déviations hors tolérance ... ;
- les effets sur les avoisinants ;
- les résultats bruts et l'interprétation de l'essai par analyse de propagation d'ondes le cas échéant.

En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions complémentaires qu'il envisage et met à jour la procédure d'exécution.

### **6.5.2. Surveillance**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution un programme de surveillance du comportement des dispositifs d'ancrage et d'appuis (liernes, tirants, butons et leurs massifs d'appuis...).

Pour chaque élément du rideau de palplanches, le titulaire remet au maître d'œuvre un compte-rendu de chantier conforme à l'article "Compte-rendu" de la norme NF EN 12063.

La liste des éléments composant le compte-rendu est adaptée aux techniques mises en œuvre et aux conditions de sols.

Ces différentes observations doivent faire l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse. En cas d'écart vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

### **6.5.3. Contrôles**

Les contrôles réalisés font l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse.

Une courbe de fonçage, comprenant l'énergie de fonçage et une courbe d'enfoncement, doit être établie pour l'ensemble des éléments constitutifs du rideau de palplanches. Suivant les procédés de fonçage mis en œuvre, la courbe d'enfoncement peut être représentée par un enfoncement par coup ou par une vitesse d'enfoncement.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre pour le contrôle des ancrages, liernes, butons et leurs massifs d'appuis.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre pour le contrôle des déplacements du rideau de palplanches.

Lorsque le rideau de palplanches participe à la portance de l'ouvrage, le marché fixe le nombre d'essais de fonçage instrumentés avec analyse de propagation d'ondes.

## 7. INJECTIONS

### 7.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 12715.

En complément, il est précisé que le présent chapitre s'applique à la technique des injections, qui consiste à remplir les vides d'un milieu avec un produit liquide ou en suspension, appelé coulis, qui se solidifie plus ou moins rapidement dans le temps. Pour le faire pénétrer, il est envoyé sous pression adaptée dans des forages qui traversent les terrains ou les ouvrages de fondation à traiter.

Les injections peuvent avoir un caractère provisoire ou définitif, impliquer ou non le déplacement des terrains et concerner le sol de fondation ou les ouvrages de fondation eux-mêmes.

En ce qui concerne les injections de régénération et de collage, seules les applications aux ouvrages souterrains et aux fondations superficielles sont comprises dans le domaine d'application du présent chapitre.

### 7.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 7.2.1. Terminologie

Les définitions ci-après complètent les définitions de la norme NF EN 12715.

**Étanchement** : injection qui a pour objectif la réduction de la perméabilité des terrains aux circulations souterraines (air, eau, hydrocarbures, ...).

**Consolidation** : injection qui a pour objectif l'amélioration des caractéristiques mécaniques du terrain.

**Remplissage** : opération qui se réalise dans les cavités naturelles ou anthropiques ou à proximité des ouvrages et qui a pour objet le comblement et éventuellement l'étanchement.

**Clavage** : injection qui a pour objectif l'obturation totale d'un vide après injection de remplissage.

**Collage** : injection qui a pour objectif de parfaire la liaison entre l'ouvrage et le terrain.

**Régénération** : injection qui a pour objectif de diminuer la porosité ouverte d'un ouvrage et de rétablir sa cohésion par reconstitution d'un liant.

**Compensation** : injection des terrains situés entre un ouvrage souterrain et les ouvrages avoisinants qui vise à compenser les tassements induits par les travaux d'excavation.

**Relevage des ouvrages** : injection qui a pour but de réduire les tassements subis par un ouvrage avoisinant.

**Plot d'essai préliminaire** : élément ou structure réalisé au stade de l'étude de projet, permettant d'établir la pertinence de la technique vis-à-vis des objectifs attendus.

**Plot de convenance** : élément ou structure réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

En fonction des objectifs recherchés, on a recours aux types d'injections définis ci-après :

- traitement des terrains : étanchement, consolidation, remplissage de cavités et clavage ;
- traitement des ouvrages : collage, régénération, compensation et relevage.



Le tableau suivant donne la correspondance entre l'objectif recherché de l'injection et les méthodes d'injection telles que définies dans la figure de l'article "Principes et méthodes d'injection" de la norme NF EN 12715.

			Objectif recherché (définitions du présent fascicule)					
			consolidation	étanchement	remplissage	clavage	collage régénération	compensation relevage
Méthodes d'injection  (définitions NF EN 12715)	sans déplacement de terrain	pénétration :						
		imprégnation	X	X			X	
		contact	X	X	X		X	
		fissure	X	X			X	
		comblement	X		X	X	X	
	avec déplacement de terrain	fracturation hydraulique	X	X				X
		solide	X	X				X

## 7.2.2. Références normatives

Norme NF EN 12715 : Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Injection

Norme NF EN 1008 : Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton

## 7.3. ETUDES D'EXECUTION

### 7.3.1. Études d'exécution

L'attention est attirée sur le fait qu'il peut être nécessaire pour ces technologies d'injection, d'ajuster en cours d'exécution et après étude particulière, certaines considérations liées à la conception. Dans ce cas le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une étude qui détaille les dispositions qu'il envisage de prendre.

Les considérations relatives aux contraintes environnementales prises en compte dès les phases de conception sont détaillées lors des études d'exécution, notamment :

- la préservation, le maintien en bon état de fonctionnement et de sécurité des ouvrages et réseaux présents dans le terrain à traiter ou à proximité de celui-ci ;
- la stabilité des terrains environnants ;
- la sécurité des personnes et l'impact environnemental conformément à la norme NF EN 12715.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique et des renseignements qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : but des injections, description des terrains et de l'ouvrage à traiter, durabilité des matériaux, résultats à atteindre, zones et volumes à traiter ;
- conception générale du projet et pour chaque zone à traiter : maille d'implantation des forages, profondeur, équipement, méthode de perforation, décomposition éventuelle en phases, délais éventuels, ordre d'exécution pour chaque phase, caractéristiques des coulis ;
- procédure d'exécution qui détaille la méthode de mise en œuvre : ordre d'injection des forages et des passes d'injection, dispositions prévues en fonction des sujétions liées à l'environnement, critères d'arrêt des injections pour chaque passe : volumes à injecter, pression et débit limites d'injection ou résurgence du coulis en surface.

## **7.4. MATERIAUX**

### **7.4.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, la provenance et les proportions des produits entrant dans la composition des coulis sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Les procédés et les matériels employés pour le dosage et la fabrication des constituants sont également précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution.

### **7.4.2. Produits d'injection**

Lors du choix du type de liant pour le coulis, sa distribution granulométrique est étudiée vis-à-vis des dimensions des fissures ou des interstices du terrain à traiter.

Dans un souci de protection de l'environnement, l'utilisation de coulis à base minérale est à privilégier. Les produits chimiques tels que les silicates et leurs réactifs, les matériaux à base de lignine, les résines acryliques ou époxy, les polyuréthanes ou autres peuvent être utilisés pour les travaux d'injection, sous réserve de conformité avec la législation en matière d'environnement.

L'utilisation de cendres d'incinération des ordures ménagères est interdite.

L'utilisation d'eau de mer est interdite.

## **7.5. EXECUTION**

La mise en œuvre des injections est un problème délicat. Il convient d'adapter les méthodes et la technologie à chaque problème particulier. En ce sens, les premières injections constituent un essai de convenance décrit dans la clause 7.6.1

En complément à l'article "Injection de comblement" de la norme NF EN 12715, l'injection de comblement est complétée par une injection de clavage.

L'attention est attirée sur l'importance du contrôle de l'exécution, en raison de la difficulté de réaliser, dans bien des cas, un contrôle complet des résultats.

## **7.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

### **7.6.1. Plot de convenance**

Le titulaire vérifie la convenance du coulis préparé à l'aide du matériel de chantier avec les caractéristiques établies dans la note technique définie à la clause 7.3.1. S'il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la composition du coulis, le titulaire soumet les dispositions qu'il compte prendre au visa du maître d'œuvre.

Les premières injections constituent un essai de convenance qui fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi dans lequel sont consignés :

- les observations d'ordre géotechnique : incidents de forage, chutes d'outils, paramètres d'enregistrements éventuels ;
- les paramètres liés à la nature du coulis injecté (granulométrie, mesures de densité de viscosité et de pH) ;

- l'évolution de la pression d'injection et des volumes injectés ;
- les observations concernant la stabilité des terrains et des ouvrages et l'impact environnemental.

Le document de suivi de l'essai de convenance est inclus dans le dossier de l'ouvrage exécuté et remis au maître d'œuvre.

Si lors de l'essai de convenance, il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure d'exécution, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions complémentaires qu'il envisage et met à jour la procédure d'exécution.

### **7.6.2. Surveillance**

Le titulaire doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour contrôler le volume, le débit et la pression des produits injectés, de manière à respecter le programme d'exécution visé à la clause 7.3.1 ci-dessus.

À cet effet, sauf disposition contraire du marché, chaque appareil d'injection est équipé en permanence des dispositifs suivants :

- un manomètre indicateur ;
- un manomètre enregistreur hormis dans le cas d'injections gravitaires ;
- s'il y a lieu, un limiteur de pression.

Pour chaque appareil d'injection, le titulaire fournit un rapport sur lequel sont notés :

- la date et la durée de chaque poste de travail ;
- les numéros des forages traités et, s'il y a lieu, les profondeurs des passes injectées ;
- la nature et les quantités des produits injectés ;
- dans le cas où différentes passes sont exécutées pour une même nature d'injection, la pression moyenne et la pression obtenue en fin de passe.

Le titulaire conserve les diagrammes d'évolution des pressions et des débits enregistrés, les tient à tout moment à la disposition du maître d'œuvre et les lui remet à la fin du chantier.

### **7.6.3. Contrôles**

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions décrites dans les procédures d'exécution.

Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler avec la fréquence fixée par le marché que la composition des produits est conforme à celle qui a été arrêtée.

Le contrôle des résultats est assuré par le maître d'œuvre. Il consiste à vérifier que les objectifs fixés sont atteints.

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire au maître d'œuvre.

## 8. ÉLÉMENTS ET STRUCTURES DE SOL-CIMENT REALISES PAR JET

### 8.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 12716.

### 8.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 8.2.1. Terminologie

**plot de convenue** : élément ou structure de sol-ciment réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

#### 8.2.2. Références normatives

NF EN 12716 : Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Colonnes, panneaux et structures de sol-ciment réalisés par jet

NF EN 1008 : Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton

NF P 94 -040 : Sols : reconnaissance et essais - Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu - Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu.

NF P 94-420 : Roches - Détermination de la résistance à la compression uniaxiale

NF P 94-425 : Roches - Détermination du module de Young et du coefficient de Poisson

### 8.3. ETUDES D'EXECUTION

L'attention est attirée sur le fait qu'il peut être nécessaire pour ces technologies, d'ajuster en cours d'exécution et après étude particulière, certaines dispositions définies dans le marché. Dans ce cas, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une étude qui détaille les dispositions qu'il envisage de prendre.

Les considérations relatives aux contraintes environnementales prises en compte dès la rédaction du marché sont détaillées lors des études d'exécution, notamment :

- la préservation, le maintien en bon état de fonctionnement et de sécurité des ouvrages et réseaux présents dans le terrain à traiter ou à proximité de celui-ci ;
- la stabilité des terrains environnants, des ouvrages et avoisinants notamment dans le cas d'utilisation d'éléments de sol-ciment pour des reprises en sous-œuvre ;
- la sécurité des personnes et l'impact environnemental conformément à l'article "Prescriptions particulières" de la norme NF EN 12716.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique , de l'article "Procédures d'exécution" de la norme NF EN 12716 et des renseignements qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : objectif des éléments de sol-ciment, description des terrains et de l'ouvrage à traiter, résultats à atteindre ;
- conception générale du projet : implantation, géométrie, profondeur, inclinaison des éléments, type d'armature, caractéristiques des coulis ;
- procédure d'exécution qui détaille la méthode de mise en œuvre : méthode de jet, paramètres de jet (débit, pression, vitesse de remontée, vitesse de rotation), ordre d'exécution, composition et contrôle des coulis, dispositions prévues en fonction des sujétions liées à l'environnement, contrôles des rejets (remontée, densité, prélèvements).

## **8.4. MATERIAUX**

Sauf disposition contraire du marché, la provenance et les proportions des produits entrant dans la composition des coulis sont décrites par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Les procédés et les matériels employés pour le dosage et la fabrication des constituants sont précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution. L'emploi de malaxeur haute turbulence est obligatoire.

Il convient que le rapport pondéral eau efficace / liant équivalent se situe entre 0,5 et 1,5 pour les coulis de ciment.

L'utilisation de cendres d'incinération des ordures ménagères est interdite.

## **8.5. EXECUTION**

Un système de collecte et de récupération des rejets doit être prévu.

Le titulaire précise dans la procédure d'exécution les dispositions qu'il compte prendre dans les cas suivants :

- diminution soudaine du débit des rejets ;
- diminution soudaine du débit injecté ;
- variation soudaine de la pression d'injection ;
- interruption de la remontée ou de la rotation du train de tiges en cours d'injection.

## **8.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

### **8.6.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, les contrôles après exécution sont indispensables même si on dispose d'une expérience comparable d'emploi de la même méthode (jet simple, double, triple) dans des terrains similaires. S'ils ne sont pas fixés par le marché, le titulaire précise dans les procédures d'exécution les contrôles qu'il réalise après exécution.

### **8.6.2. Plot de convenance**

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un plot de convenance. Ce plot peut être intégré à l'ouvrage définitif sauf :

- à proximité d'avoisinants ;
- dans le cas d'une utilisation de la technique en reprise en sous-œuvre.

Ce plot doit être réalisé à proximité d'un sondage de reconnaissance.

Le plot de convenance fait l'objet d'une procédure et d'un suivi spécifiques en cohérence avec les articles "Essais préalables" et "Surveillance et procédures d'essai" de la norme NF EN 12716. La liste d'essais de l'annexe C "Essais indirects" n'est pas exhaustive ; d'autres méthodes sont satisfaisantes.

Le plot de convenance, réalisé avec le même atelier que celui prévu pour l'exécution des travaux, fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi qui comprend :

a) lors de la réalisation, un compte-rendu de suivi incluant :

- les observations d'ordre géotechnique : incidents de forage, chutes d'outils, paramètres d'enregistrements éventuels,
- les paramètres liés à la nature du coulis injecté : mesures de densité, de viscosité, de décantation et de temps de prise,
- les enregistrements des paramètres de jet : pressions, débits, vitesse de rotation et vitesse de remontée,
- l'absence d'anomalies lors de la remontée des rejets et les résultats de contrôle sur les rejets,
- les observations concernant la stabilité des terrains et des ouvrages et l'impact environnemental ;

b) après réalisation, une interprétation à partir des résultats d'essai du plot de convenance incluant :

- les résistances à la compression uniaxiale du coulis de ciment à 3, 7, 28 et éventuellement 56 jours,
- les résistances à la compression uniaxiale sur les rejets à 7 et 28 jours,
- les données géométriques du plot (dégarnissage),
- les essais destructifs ou non destructifs visant à vérifier la continuité du plot de convenance,
- selon la fonction des colonnes de sol-ciment, les essais mécaniques ou les essais de perméabilité sur l'élément de sol-ciment réalisé par jet.

Le document de suivi est inclus dans le dossier de l'ouvrage exécuté et remis au maître d'œuvre.

Selon les résultats obtenus, s'il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure d'exécution des éléments ou structures en sol-ciment, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions complémentaires qu'il envisage et met à jour la procédure d'exécution.

### **8.6.3. Surveillance**

Les rejets doivent faire l'objet d'une surveillance continue et être comparés aux observations réalisées sur le plot de convenance. Toute modification significative de débit, composition ou densité doit être analysée et portée à connaissance du maître d'œuvre. Toute mesure correctrice éventuelle à intégrer à la procédure d'exécution est soumise au visa du maître d'œuvre.

Pour chaque élément de sol-ciment, le coulis injecté fait l'objet de deux mesures de densité. La viscosité Marsh et la décantation sont mesurées quotidiennement.

### **8.6.4. Essais**

#### **8.6.4.1. Essais mécaniques sur les coulis de ciment**

Chaque échantillon est composé de trois éprouvettes, d'une mesure de viscosité, de densité et de décantation.

Sauf disposition contraire du marché, l'échantillonnage minimal est de :

- un échantillon pour le premier élément d'un chantier ;
- un échantillon tous les 100 m<sup>3</sup> d'élément ;
- deux échantillons supplémentaires suite à des interruptions de travaux supérieures à 7 jours.

Chaque échantillon fait l'objet d'un essai de résistance à la compression uniaxiale à 7 et 28 jours.

#### 8.6.4.2. Essais sur les éléments de sol-ciment réalisés par jet

Sauf disposition contraire du marché et dans les configurations pour lesquelles la réalisation d'essai est possible, les types et fréquences d'essais à réaliser sur les éléments de sol-ciment sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Dans les configurations pour lesquelles les essais in-situ ne sont pas réalisables, les essais sont réalisés sur le plot de convenance qui est extérieur à l'ouvrage.

type d'essai	nature d'essai	fréquence d'essais
géométrie continuité homogénéité	carottage sondage destructif essais non destructifs d'intégrité (réflexion, cylindre électrique)	1/50 colonnes 3 minimum
mécanique	essais de laboratoire : résistance, module	1 essai pour 25 colonnes en moyenne 1/appui/zone géotechnique homogène
comportement	essai de chargement (essai de contrôle ou essai à la rupture)	1/zone géotechnique homogène

Les essais de laboratoire sont réalisés sur plusieurs échantillons prélevés sur un seul carottage pour essais de continuité.

L'adéquation des moyens de contrôles vis-à-vis du temps de séchage de la colonne est validée à partir du plot de convenance défini à la clause 8.6.2.

Un essai de chargement par zone géotechnique homogène sera réalisé :

- à la rupture si l'élément de sol-ciment participe à la stabilité externe de l'ouvrage,
- de contrôle si l'élément de sol-ciment participe à la réduction des déformations de l'ouvrage.

L'essai de chargement peut être très difficile à réaliser dans certaines conditions de site ou selon les charges à atteindre. Si tel est le cas, le marché précise les moyens de contrôle à mettre en œuvre.

Lorsque les éléments de sol-ciment assurent une fonction d'amélioration globale du massif de sol (stabilité générale, résistance à la liquéfaction..) l'essai de chargement ne s'impose pas.

Les programmes d'essais mécanique sur les prélèvements « in situ » de sol-ciment (compression uniaxiale, module, cisaillement, essai brésilien) sont précisés dans le marché en fonction de l'usage de l'élément.

#### 8.6.5. Contrôle

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler avec la fréquence fixée par le marché que la composition des produits est conforme à celle qui a été arrêtée.

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire au maître d'œuvre.

Les paramètres suivants doivent être enregistrés en continu pour tous les éléments de sol-ciment, sauf pendant de courtes interruptions causées par des pannes de matériel :

- paramètres d'enregistrement de forage ;

- pressions et débits des différents fluides ;
- vitesses de translation et de rotation du porte-buse.



## 9. CLOUAGE

### 9.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 14490. En particulier, il ne comprend pas la stabilisation de parois rocheuses par des boulons d'ancrage au rocher.

### 9.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 9.2.1. Terminologie

**Injection de compensation d'essorage** : injection complémentaire normalement réalisée par la base du forage ayant pour objectif de remplir les vides susceptibles de se former le long de la génératrice supérieure du forage, liés à des phénomènes d'essorage et de décantation.

**Clou de convenance** : clou réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

#### 9.2.2. Références normatives

NF EN 14490 : Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Clouage

NF P 94-270 : Calcul géotechnique Ouvrages de soutènements remblais renforcés et massifs en sol cloué

NF P 94-242-1 : Essai statique d'arrachement de clou soumis à un effort axial de traction, Essai à vitesse de déplacement constante.

NF P 94-153 : Sols : reconnaissance et essais - Essai statique de tirant d'ancrage

### 9.3. ETUDES D'EXECUTION

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il envisage concernant la stabilité de l'ouvrage tant lors des phases provisoires que dans la phase définitive, notamment la longueur maximale de la passe qu'il est possible de terrasser avant la réalisation du clouage et jusqu'à la mise en place du parement.

La conception de l'ouvrage en sol cloué est conforme à l'Annexe B "Considérations relatives à la conception" de la norme NF EN 14-490 complétée par les éléments suivants relatifs à la prise en compte de la corrosion.

Les systèmes de protection contre la corrosion acceptables sont les suivants :

- épaisseur sacrifiée à la corrosion conforme au tableau des valeurs de pertes d'épaisseur d'acier par corrosion (tableau B.3 de la norme NF EN 14-490) ;
- gaine plastique ;
- galvanisation ;
- protection par revêtement non métallique ;
- pour des ouvrages provisoires de durée de service inférieure à 18 mois, un enrobage approprié en coulis mortier ou béton.

Le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note de calcul de vérification de résistance ultime de traction conforme à l'annexe F "Détermination des valeurs de calcul des résistances ultimes de traction" de la norme NF P94-270.

### 9.4. MATERIAUX

### **9.4.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, la provenance et les proportions des produits entrant dans la composition des coulis sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Les procédés et les matériels employés pour le dosage, la fabrication et le contrôle des constituants sont également décrits par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Sauf disposition contraire du marché, l'incorporation de matériaux de forage dans la composition du mortier est proscrite.

### **9.4.2. Coulis d'injection**

La valeur de rapport pondéral eau efficace / liant équivalent maximale du coulis de scellement est de 0,55.

## **9.5. EXECUTION**

### **9.5.1. Tolérances**

Sauf disposition contraire du marché, les valeurs maximales de tolérances d'exécution vis-à-vis des positions théoriques sont de :

- 100 mm pour la position de la tête du clou au niveau de la paroi clouée achevée, hormis pour les parements préfabriqués pour lesquels une précision plus importante peut être exigée ;
- $\pm 5^\circ$  pour l'orientation de la tête du clou ;
- 1/30 de la longueur forée pour la déviation du forage.

Ces tolérances sont adaptées à la proximité immédiate d'avoisinants, réseaux ou d'ouvrages existants.

Si elles ne sont pas fixées par le marché, les tolérances d'implantation et d'inclinaison du parement sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

### **9.5.2. Méthodes de mise en place par fonçage**

Les méthodes de mise en place par fonçage sont le battage, le vibrage et le vérinage.

Lors du fonçage, les éléments de renforcement doivent être guidés.

### **9.5.3. Méthodes de mise en place par forage**

Lorsque le coulis de scellement du clou fait partie du système de protection contre la corrosion, les écarteurs sont espacés au plus de trois mètres.

Lorsque le forage n'est pas tubé, la mise en place des éléments de renforcement est réalisée immédiatement après la fin du forage.

La vitesse de forage, la pression d'injection, le débit et la nature du fluide de forage, doivent être adaptés aux conditions de terrain afin de s'assurer du respect du diamètre nominal de forage.

### **9.5.4. Procédure d'injection**

L'injection est réalisée immédiatement après la mise en place de l'élément de renforcement.

La méthode d'injection du coulis utilisée ne doit pas conduire à des anomalies, comme par exemple des poches d'air, qui réduisent la capacité de résistance et de durabilité du système de clouage prévu.

Le coulis doit être mis en place de façon continue sans interruption jusqu'à ce qu'il soit propre, non dilué, non souillé en tête de forage.

Le coulis doit être préparé selon des procédures et dans un malaxeur capable de fournir un produit de consistance homogène, avec les caractéristiques d'ouvrabilité et de résistance requises par la conception.

Le coulis doit être mis en place immédiatement après son malaxage, sauf si un dispositif permettant d'agiter le mélange est prévu.

#### 9.5.4.1. Injection gravitaire

L'injection doit être réalisée à partir de la base du forage.

Cette injection peut être réalisée soit par un tube d'au moins 15 mm de diamètre intérieur, fixé préalablement à l'armature soit par le train de tige de forage ou par l'armature elle-même.

#### 9.5.4.2. Injection de compensation d'essorage

L'injection de compensation d'essorage est réalisée par un tube exclusivement dédié à cette injection complémentaire.

Le délai entre l'injection du coulis de scellement et l'injection de compensation d'essorage est soumis par le titulaire au visa du maître d'œuvre, en fonction des observations réalisées lors des essais préalables.

#### 9.5.4.3. Injection sous pression

Le délai entre l'injection du coulis de scellement et l'injection globale unitaire ou l'injection répétitive sélective est soumis par le titulaire au visa du maître d'œuvre, en fonction des observations réalisées lors des essais préalables.

### 9.5.5. Réalisation du drainage

Le système de drainage est composé :

- d'un drainage de surface ;
- d'un drainage de parement ;
- éventuellement d'un drainage profond.

Sauf disposition contraire du marché, le drainage de parement est composé de bandes verticales de 50 cm de largeur espacées entre axes de 2,5 m en évitant d'intercepter les têtes de clou. Les bandes du complexe drainant sont disposées à 1,5 mètre du haut de la paroi.

Pour les terrains à porosité de fissure, le titulaire veille à disposer les bandes du complexe drainant au droit des zones de meilleure perméabilité.

Le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les adaptations qu'il envisage de prendre pour les dispositifs de drainage en fonction des observations réalisées lors des travaux.

### 9.5.6. Réalisation du parement

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il compte prendre pour assurer l'enrobage des armatures.

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions qu'il envisage de prendre concernant la liaison parement clous :

- le positionnement et le calage de la plaque d'appui ;
- la résistance au poinçonnement du parement ;
- la protection de la tête de clou vis-à-vis des phénomènes de corrosion pour des clous définitifs (capot de protection, interface sol clou).

## 9.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES

### 9.6.1. Clou de convenance

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un clou de convenance. Ce clou doit être réalisé dans une zone géotechnique bien identifiée. Ce clou est un clou sacrificiel.

Le clou de convenue fait l'objet d'une procédure et d'un suivi spécifiques.

Le clou de convenue, réalisé avec le même atelier que celui prévu pour l'exécution des travaux, fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi qui comprend :

a) lors de la réalisation, un compte-rendu de suivi incluant :

- les observations d'ordre géotechnique : incidents de forage, pertes de fluides de forage, chutes d'outils, paramètres d'enregistrements éventuels,
- les paramètres liés à la nature du coulis de scellement injecté : mesures de densité, de viscosité, de décantation et de temps de prise,
- les volumes de coulis injectés lors du scellement,
- les observations concernant la stabilité des terrains, des ouvrages et d'éventuelles pollutions ;

b) après réalisation, une interprétation à partir des résultats d'essai du clou de convenue incluant :

- les résistances à la compression uniaxiale du coulis de scellement à 7 et 28 jours,
- les essais statiques d'arrachement de clou soumis à un effort axial de traction menés à la rupture. Le marché doit spécifier le type d'essai (essai à vitesse contrôlée ou à effort contrôlé).

Le document de suivi est inclus dans le dossier de l'ouvrage géotechnique et remis au maître d'œuvre.

Selon les résultats obtenus, s'il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure d'exécution des clous, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

### **9.6.2. Surveillance**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution une liste des points de surveillance adaptée aux travaux, conforme à la norme NF EN 14490.

Un compte-rendu qui comprend pour chacun des clous l'ensemble des points listés dans la norme NF EN 14490 est établi. Cette liste n'est pas exhaustive et peut comprendre notamment tous les paramètres de foration ou d'injection.

En cas d'écarts vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution le cas échéant.

### **9.6.3. Essais**

#### **9.6.3.1. Essais de clou**

Sauf disposition contraire du marché, il est réalisé deux catégories d'essais de clous :

- les essais préalables (ou essais de conformité) dont l'objectif est de réaliser le dimensionnement conformément à la NF P94-270 ;
- les essais de contrôle en cours d'exécution sur des clous désignés à l'avance.

Ces essais sont systématiquement menés à la rupture, l'armature étant dimensionnée en vue de l'essai. Ils peuvent être soit des essais à déplacement contrôlé (NF P94-242-1) soit à effort contrôlé.

S'ils ne sont pas fixés par le marché, le titulaire soumet à l'accord du maître d'œuvre une note qui précise à minima :

- le type (effort contrôlé ou déplacement contrôlé) et la répartition en plan des essais de clous, sur la base des recommandations professionnelles sur le clouage ("Clouterre 1991" et additif de 2002);
- le nombre d'essais déduit du tableau suivant sont à appliquer :
  - pour les essais préalables par surface de parement pour chaque nature de sol,

- pour les essais de contrôle par surface de parement totale.

Aire de parement (m <sup>2</sup> )	Nombre d'essais d'arrachements (n)
< 400	3
400 à 800	5
800 à 2000	7
2000 à 4000	9
4000 à 8000	11
8000 à 16000	13
>16000	15

Tableau : Nombre minimal d'essais

#### 9.6.3.2. Essais sur les matériaux

Au cours de chacun des postes de travail et pour chacun des clous faisant l'objet d'essais, sont réalisés :

- une mesure de viscosité au cône d'écoulement Marsh à ajustage de 4,75 mm ;
- une mesure de densité à la balance Baroïd ou par pesée hydrostatique.

Sauf disposition contraire du marché, un lot de trois éprouvettes pour essais de compression uniaxiale à 7 et 28 jours est prélevé tous les sept jours de travaux ou après un temps d'interruption de plus de sept jours.

#### 9.6.3.3. Essais de stabilité de la paroi à clouer

Les essais de stabilité de la paroi à clouer sont réalisés hors de la zone d'influence d'avoisinants.

### 9.6.4. Contrôles

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler, avec la fréquence fixée par le marché, que la composition des produits est conforme à celle qui a été arrêtée.

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire dans les procédures d'exécution.

## 10. TIRANTS D'ANCRAGE

### 10.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 1537. Sauf dispositions contraires du marché, les systèmes d'ancrages qui ne sont pas :

- des pieux en traction ;
- des ancrages vissés ;
- des ancrages mécaniques ;
- des procédés de clouage ;
- des corps-morts ;
- des ancrages à corps expansifs ;

doivent satisfaire la totalité des exigences de la norme NF EN 1537.

### 10.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 10.2.1. Terminologie

**Essais à la rupture** : pour application dans le présent document, les essais préalables au sens de la norme NF EN 1537 sont assimilés aux essais à la rupture.

**Essais préalables** : essai de traction mené à la rupture réalisé avant tout démarrage du chantier de construction de l'ouvrage.

**Essais de conformité** : essai de traction mené à la rupture réalisé dans le cadre du marché de travaux.

**Tirant de convenance** : tirant réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

#### 10.2.2. Références normatives

Norme NF EN 1537 : Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Tirants d'ancrage

Norme NF P94-282 : Calcul géotechnique - Écrans

NF P94-153 : Sols : reconnaissance et essais - Essai statique de tirant d'ancrage

### 10.3. ETUDES D'EXECUTION

Les études d'exécution doivent satisfaire au minimum aux articles "Informations requises pour l'exécution des travaux" et "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 1537.

Le titulaire décrit dans la procédure d'exécution les opérations de forage, de scellement, de protection anti-corrosion et de mise en service.

La procédure de scellement comprend :

- éventuellement une phase d'injection préalable ;
- la phase de remplissage du forage par le coulis pour laquelle sont précisés au minimum la composition du coulis, le plan de contrôles sur le coulis résurgent et le volume maximum attendu ;
- éventuellement la phase d'injection sous pression en une ou plusieurs passes et une ou plusieurs phases/étapes pour laquelle sont précisés au minimum les critères d'arrêt (pression, volume), le temps d'attente entre le remplissage et l'injection.

## **10.4. MATERIAUX**

### **10.4.1. Généralités**

Sauf dispositions contraires du marché, la provenance et les proportions des produits entrant dans la composition des coulis sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Les procédés et les matériels employés pour le dosage, la fabrication et le contrôle des constituants sont également précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution.

### **10.4.2. Coulis d'injection**

La valeur de rapport pondéral eau efficace / liant équivalent maximale du coulis de scellement est de 0,5.

## **10.5. EXECUTION**

### **10.5.1. Protection anticorrosion**

10.5.1.1. Coulis utilisés comme barrière de protection contre la corrosion et pour la transmission des charges

Le remplissage de l'espace annulaire entre la gaine et l'armature, c'est à dire le scellement de l'armature dans la gaine, peut être réalisé :

- soit au préalable en atelier ou sur un chantier équipé ;
- soit dans une opération unique au moment du scellement de l'armature au terrain ;
- soit après scellement de la gaine au terrain.

Lorsqu'un tube utilisé pour l'injection du coulis est pris en compte comme barrière de protection, l'efficacité de cette barrière au niveau des clapets après injection est réputée acquise.

10.5.1.2. Protection contre la corrosion de la tête d'ancrage

Le dispositif de protection de la zone de raccordement du tirant d'ancrage à l'ouvrage comporte :

- un tube trompette solidaire de la plaque d'appui de façon rigoureusement étanche et coiffant la gaine extérieure du tirant sur une longueur minimale de 0,30 m ;
- un capot fixé solidement et de façon rigoureusement étanche sur la plaque d'appui ;
- un remplissage continu du volume intérieur défini par le tube trompette et le capot.

### **10.5.2. Injection**

En cas de nécessité, le scellement du tirant au terrain peut être précédé d'une injection préalable. Le scellement peut également comprendre une ou plusieurs étapes d'injection sous pression.

Sauf disposition contraire du marché, lorsque des essais préalables ou des essais de conformité ont été effectués, le mode de scellement des tirants de l'ouvrage doit être le même que celui qui a été utilisé pour les tirants d'essai.

### **10.5.3. Mise en tension**

Dans l'attente de la publication de la norme d'essai de mise en tension des tirants d'ancrage NF EN ISO 22477-5, chaque tirant fait l'objet d'une procédure complète de mise en service telle que décrite dans les recommandations professionnelles sur les tirants d'ancrage (recommandations T.A.).

## **10.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

### **10.6.1. Tirant de convenance**

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un tirant de convenance. Ce tirant doit être réalisé dans une zone géotechnique bien identifiée.

Le tirant de convenance fait l'objet d'une procédure et d'un suivi spécifiques.

Le tirant de convenance, réalisé avec le même atelier que celui prévu pour l'exécution des travaux, fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi qui comprend :

a) lors de la réalisation, un compte-rendu de suivi incluant :

- les observations d'ordre géotechnique : incidents de forage, pertes de fluides de forage, chutes d'outils, paramètres d'enregistrements éventuels,
- les observations concernant la stabilité des terrains, des ouvrages et d'éventuelles pollutions,
- les paramètres liés à la nature du coulis de scellement injecté : mesures de densité, de viscosité, de décantation et de temps de prise,
- les paramètres d'injection préalable, de remplissage du forage par le coulis et d'injection sous pression (volume, pression),
- les volumes de coulis injectés lors du scellement ;

b) après réalisation, une interprétation à partir des résultats d'essai sur le tirant de convenance incluant :

- résistances à la compression uniaxiale du coulis de scellement sur trois éprouvettes à 7 jours et trois éprouvettes à 28 jours,
- éventuellement essais statique de tirant soumis à un effort axial de traction (essai de contrôle ou essai à la rupture).

Le document de suivi est inclus dans le dossier de l'ouvrage géotechnique et remis au maître d'œuvre.

Selon les observations obtenues, s'il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure d'exécution des tirants, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre et met à jour la procédure d'exécution.

### **10.6.2. Surveillance**

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution une liste des points de surveillance adaptée aux travaux, conforme à la norme NF EN 1537.

En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution relevés lors des travaux, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution le cas échéant.

Le titulaire établit un compte-rendu qui comprend pour chacun des tirants l'ensemble des points listés dans la norme NF EN 1537 complété du compte-rendu des essais de réception. Cette liste n'est pas exhaustive et peut comprendre notamment tous les paramètres de foration ou d'injection.

### **10.6.3. Essais**

Suivant les objectifs recherchés, les modalités de leur mode opératoire, la place qu'ils occupent dans le processus de réalisation du projet, on distingue :

- les essais à la rupture ;
- les essais de contrôle ;
- les essais de réception.

Dans l'attente de la publication des normes correspondantes les spécifications particulières à chaque type d'essai sont décrites dans la norme NF P94-153.

Les spécifications particulières à chaque type d'essai (critères de réception, tractions d'épreuves, nombre d'essais, ...) sont conformes aux chapitres « Les essais de tirants » et « Mise en service du tirant » des recommandations professionnelles sur les tirants d'ancrage (recommandations T.A.).



#### **10.6.4. Contrôles**

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler avec la fréquence fixée par le marché que la composition des produits est conforme à celle qui a été arrêtée.

Sauf disposition contraire du marché la mise en place de dispositifs de contrôle périodique de la traction des tirants permanents précontraints est obligatoire. Le premier relevé de ces dispositifs de contrôle est à charge du titulaire. Le marché précise le nombre de tirants contrôlés, la fréquence et les dispositifs de contrôle de la traction.

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire dans les procédures d'exécution.

## **11. COLONNES DE SOL TRAITE**

### **11.1. DOMAINE D'APPLICATION**

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 14679.

### **11.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES**

#### **11.2.1. Terminologie**

**Colonne de convenance** : colonne de sol traité réalisée dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

#### **11.2.2. Références normatives**

NF EN 14679 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux - Colonnes de sol traité

NF P94-100 : Sols : reconnaissance et essais - Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement.

### **11.3. ÉTUDES D'EXECUTION**

L'attention est attirée sur le fait qu'il peut être nécessaire pour ces technologies de traitement, d'ajuster en cours d'exécution et après étude particulière, certaines considérations liées à la conception. Dans ce cas le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une étude qui détaille les dispositions qu'il envisage de prendre.

Les considérations relatives aux contraintes environnementales prises en compte dès les phases de conception sont détaillées lors des études d'exécution, notamment :

- la préservation, le maintien en bon de fonctionnement et de sécurité des ouvrages présents dans le terrain à traiter ou à proximité de celui-ci ;
- la stabilité des terrains environnants ;
- la sécurité des personnes et l'impact environnemental conformément à l'article "Exigences particulières" de la norme NF EN 14679.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique et des renseignements qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : but du traitement de sols, description des terrains et de l'ouvrage, aptitude au traitement, durabilité des traitements, résultats à atteindre, zones et volumes à traiter ;
- conception générale du projet : pour chaque zone à traiter : maille d'implantation des colonnes, profondeur, armatures éventuelles, méthode de réalisation, ordre d'exécution.

### **11.4. MATERIAUX**

#### **11.4.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, la provenance et les proportions des matières entrant dans la composition des produits de traitement sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution, après étude sur des produits préparés à l'aide du matériel de chantier et en tenant compte des conditions de terrain effectivement rencontrées.

Les procédés et les matériels employés pour le dosage des constituants sont également précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution.

## **11.4.2. Produits de traitement**

Sauf disposition contraire du marché, l'utilisation d'eau de mer est interdite.

## **11.5. EXECUTION**

La mise en œuvre de colonnes de sol traité est un problème délicat. Il convient d'adapter les méthodes et la technologie à chaque problème particulier. En ce sens, la première colonne de sol traité réalisée dans chaque zone géotechnique homogène constitue un essai de faisabilité et fait l'objet d'un compte-rendu remis par le titulaire au maître d'œuvre.

L'attention est attirée sur l'importance du contrôle de l'exécution, en raison de la difficulté de réaliser, dans bien des cas, un contrôle complet des résultats. Dans les cas délicats, il convient de réaliser un état contradictoire des lieux et des ouvrages environnants avant le début des travaux.

Lors des opérations de terrassement des précautions particulières sont prises vis-à-vis de la rupture en tête des colonnes existantes.

## **11.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire et le maître d'œuvre réalisent, avant le début des travaux, un état contradictoire des lieux et des ouvrages ou réseaux avoisinants pouvant être affectés par ces travaux.

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution. Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler avec la fréquence fixée par le marché que la composition des produits est conforme à celle qui a été arrêtée.

Le contrôle des résultats est assuré par le maître d'œuvre. Il consiste à vérifier que les objectifs fixés sont atteints.

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire au maître d'œuvre.

### **11.6.1. Colonne de convenance**

La première colonne de sol traité constitue un essai de convenance et fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi dans lequel sont consignés :

- les paramètres liés à la nature du liant injecté ;
- l'évolution des paramètres du traitement (vitesse de rotation, vitesse de descente et de remontée, pression, volume) ;
- les observations concernant la stabilité des terrains ;
- l'adéquation des moyens de contrôle vis-à-vis des caractéristiques mécaniques de la colonne (clause 11.6.3).

Le document de suivi de la colonne de convenance est inclus dans le dossier de l'ouvrage géotechnique et remis au maître d'œuvre. Si lors de l'essai de convenance, il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

### **11.6.2. Surveillance**

Le titulaire doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour contrôler et enregistrer le volume, le débit et la pression des produits injectés, de manière à respecter le programme d'exécution visé à la clause 11.3 ci-dessus.

En complément aux paramètres listés dans le compte-rendu exigés par la norme NF EN 14679, le titulaire fournit pour chaque colonne de sol traité un rapport sur lequel sont notés :

- la date et la durée de réalisation de chaque colonne ;

- les numéros des colonnes traitées et, s'il y a lieu, les profondeurs des passes traitées ;
- la nature et les quantités des produits injectés ;
- la pression de coulis ou d'air comprimé ;
- la vitesse de descente et de remontée par tour ;
- la vitesse de rotation en tours par minute lors de la descente et de la remontée ;
- la quantité de liant pour un procédé de malaxage par voie sèche ou de coulis pour un procédé par voie humide par mètre de descente et de remontée ;
- les relevés de déplacements verticaux ou latéraux du terrain ou tout autre paramètre fixé par le marché avec les écarts vis-à-vis des seuils spécifiés dans le marché.

Le titulaire conserve les comptes-rendus, les tient à tout moment à la disposition du maître d'œuvre. Ils sont intégrés dans le dossier d'ouvrage géotechnique.

### 11.6.3. Contrôles

Sauf disposition contraire du marché, la nature et la fréquence des contrôles sont conformes aux dispositions détaillées dans le tableau suivant :

type d'essai	nature d'essai	fréquence d'essais
continuité -homogénéité	jeune âge : pénétrömètre statique pénétrömètre dynamique  âge avancé : carottage sondage destructif	1/20 colonnes 5 minimum
Résistance déformation	essais de laboratoire sur prélèvement in situ de classe 1 selon la norme NF EN 1997-2.	1/50 colonnes 1/appui/zone géotechnique homogène
comportement	essai de chargement	1/zone géotechnique homogène

L'adéquation des moyens de contrôles vis-à-vis du temps de séchage de la colonne est validée à partir de la colonne de convenance définie à la clause 11.6.1.

Un essai de chargement par zone géotechnique homogène est réalisé :

- à la rupture si l'élément de sol traité participe à la stabilité externe de l'ouvrage ;
- de contrôle si l'élément de sol traité participe à la réduction des déformations de l'ouvrage.

Lorsque les colonnes de sol traité assurent une fonction d'amélioration globale du massif de sol (stabilité générale, résistance à la liquéfaction..) l'essai de chargement ne s'impose pas.

Les programmes d'essais mécaniques sur les prélèvements "in situ" de sol traité (compression uniaxiale, module, cisaillement, essai de traction indirect) sont précisés en fonction de l'usage de l'élément.

## 12. AMELIORATION DES MASSIFS DE SOL PAR VIBRATION PROFONDE

### 12.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application concerne le procédé de traitement par vibration profonde, conforme à celui défini dans la norme NF EN 14731.

Le procédé de traitement par vibration profonde consiste à augmenter la densité du sol par vibration au moyen d'un vibreur de profondeur ou d'un profilé excité par un vibreur.

### 12.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 12.2.1. Références normatives

NF EN 14731 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux - Amélioration des massifs de sol par vibration.

#### 12.2.2. Termes et définitions

**Traitement par vibration profonde** : le traitement par vibration profonde est conforme à la définition du traitement par vibrocompactage donnée dans la norme NF EN 14731.

**Vibreur ou vibreur de tête** : appareil produisant des vibrations mécaniques, le plus souvent verticales.

**Point de traitement** : implantation en plan d'un point de la maille (X,Y).

**Point de station** : position d'un point de traitement (X, Y, Z).

**Pas de traitement** : différence de cote entre deux points de station contigus.

**Temps de station de l'outil** : temps de traitement d'un point de station.

**Durée du point de traitement** : durée globale d'intervention sur un point de traitement.

**Maille de traitement** : grille élémentaire d'implantation des points de traitement pouvant constituer une maille triangulaire, carrée ou hexagonale.

**Plot de convenance** : maillage de colonnes de vibrocompactage réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

### 12.3. ÉTUDES D'EXECUTION

L'attention est attirée sur le fait qu'il peut être nécessaire pour ces technologies de traitement, d'ajuster en cours d'exécution et après étude particulière, certaines considérations liées à la conception. Dans ce cas, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une étude qui détaille les dispositions qu'il envisage de prendre.

Les considérations relatives aux contraintes environnementales prises en compte dès les phases de conception sont détaillées lors des études d'exécution, notamment :

- la préservation, le maintien en bon de fonctionnement et de sécurité des ouvrages présents dans le terrain à traiter ou à proximité de celui-ci ;
- la stabilité des terrains environnants ;
- la sécurité des personnes et l'impact environnemental conformément à la norme NF EN 14731.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique et des renseignements qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : but du traitement de sols, description des terrains et de l'ouvrage, compatibilité du traitement, résultats à atteindre, zones et volumes à traiter ;
- pour chaque zone à traiter : méthode de réalisation, maillage, ordre d'exécution, temps de station, pas de traitement, profondeur traitée ;
- estimation du tassement de la plate-forme.

## **12.4. MATERIAUX**

### **12.4.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, si des matériaux d'apport sont nécessaires, ils doivent répondre aux caractéristiques des matériaux des couches de forme granulaire.

Les procédés et les matériels employés sont précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution.

## **12.5. EXECUTION**

L'attention est attirée sur l'importance du contrôle de l'exécution en raison de la difficulté de réaliser un contrôle exhaustif du traitement par vibration profonde.

La tolérance maximale d'implantation en plan par rapport à l'emplacement théorique des points de traitement par vibration profonde est de 200 mm Cette tolérance doit être respectée de manière à positionner les sondages de contrôle.

## **12.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire et le maître d'œuvre réalisent, avant le début des travaux, un état contradictoire des lieux et des ouvrages ou réseaux avoisinants pouvant être affectés par ces travaux.

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution. Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler avec la fréquence fixée par le marché, que les caractéristiques de l'éventuel matériau d'apport sont conformes à celles agréées par le maître d'œuvre.

Le contrôle des résultats est assuré par le maître d'œuvre. Il consiste à vérifier que les objectifs fixés sont atteints. Sauf disposition contraire du marché, les caractéristiques mécaniques sont vérifiées à partir d'essais in-situ (essais de pénétration statique, pressiomètre).

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire au maître d'œuvre.

### **12.6.1. Plot de convenance**

Le plot de convenance est constitué de différents maillages comportant un nombre significatif de points de traitement (9 à 12) afin de déterminer le maillage optimal qui permet d'atteindre les objectifs fixés par le marché. Il est réalisé dans chaque zone géotechnique homogène à proximité des sondages de reconnaissance et peut être implanté dans l'emprise de l'ouvrage. Il fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi dans lequel sont consignés :

- le maillage (grille ou maille) ;
- le pas de traitement ;
- le temps de station de l'outil ;
- les enregistrements de paramètres ;
- les caractéristiques mécaniques in-situ (essais de pénétration statique, pressiomètre) avant et après traitement ;
- l'implantation des sondages de contrôle des caractéristiques mécaniques ;

- le tassement induit par le traitement ;
- la profondeur atteinte.

Un délai d'attente suffisant doit être observé avant de vérifier les caractéristiques mécaniques in-situ après traitement : par exemple, pour permettre la dissipation des reliquats de la sur-pression interstitielle. L'implantation des sondages de contrôle doit respecter les dispositions définies à la clause 11.6.3 ci-après.

Le document de suivi du plot de convenance est inclus dans le dossier de l'ouvrage géotechnique et remis au maître d'œuvre.

La grille ou maille est choisie après contrôle des caractéristiques mécaniques du plot de convenance.

S'il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure et/ou technique d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

### 12.6.2. Surveillance

Le titulaire doit consigner toutes les informations qui permettent de vérifier le respect des hypothèses prises en compte dans la note technique visée à la clause 12.3 ci-avant, en particulier celles en rapport avec la nature et la compacité des terrains (énergie consommée, profondeur, tassement de la plate-forme, durée du point de traitement).

En complément aux paramètres listés dans le compte-rendu, exigés par la norme NF EN 14731, le titulaire fournit :

- les relevés de déplacements verticaux ou latéraux du terrain ou des ouvrages pouvant être affectés par les travaux ou alors tout autre paramètre fixé par le marché ;
- la quantité des matériaux d'apport lorsqu'ils sont nécessaires.

Le titulaire conserve les comptes rendus, les tient à tout moment à la disposition du maître d'œuvre. Ils sont intégrés dans le dossier d'ouvrage géotechnique.

### 12.6.3. Contrôles

Sauf disposition contraire du marché la fréquence des contrôles du massif de sol traité sont conformes au tableau suivant par zone géotechnique homogène :

	Avec appareil enregistreur	Sans appareil enregistreur
Contrôle au droit du point de traitement	1/50	1/20
Contrôle au centre de la maille des points de traitement	1/50	1/20

Lorsque l'essai de contrôle de compacité n'atteint pas les profondeurs voulues (notamment par refus prématuré), le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

## **13. AMELIORATION DES MASSIFS DE SOL PAR COLONNES BALLASTEES**

### **13.1. DOMAINE D'APPLICATION**

Le domaine d'application concerne le procédé de traitement par colonnes ballastées, conforme à celui défini dans la norme NF EN 14731.

Le procédé de traitement par colonnes ballastées consiste à réaliser des colonnes verticales constituées de matériaux granulaires, sans cohésion, mis en place par refoulement dans le sol et compactés par passes successives.

### **13.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES**

#### **13.2.1. Références normatives**

NF EN 14731 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux - Amélioration des massifs de sol par vibration.

#### **13.2.2. Termes et définitions**

**Colonne de convenance** : colonne ballastée réalisée dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

### **13.3. ÉTUDES D'EXECUTION**

L'attention est attirée sur le fait qu'il peut être nécessaire pour ces technologies de traitement, d'ajuster en cours d'exécution et après étude particulière, certaines considérations liées à la conception. Dans ce cas le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une étude qui détaille les dispositions qu'il envisage de prendre.

Les considérations relatives aux contraintes environnementales prises en compte dès les phases de conception sont détaillées lors des études d'exécution, notamment :

- la préservation, le maintien en bon état de fonctionnement et de sécurité des ouvrages présents dans le terrain à traiter ou à proximité de celui-ci ;
- la stabilité des terrains environnants ;
- la sécurité des personnes et l'impact environnemental conformément à l'article "Exigences particulières" de la norme NF EN 14731.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique et des renseignements qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : but du traitement de sols, description des terrains et de l'ouvrage, compatibilité du traitement, résultats à atteindre, zones et volumes à traiter ;
- pour chaque zone à traiter : méthode de réalisation des colonnes, maille d'implantation, profondeur, diamètre, ordre d'exécution, caractéristiques mécaniques, dimensionnement du matelas de répartition éventuel ;
- estimation de la déformation de la plate-forme (tassement ou soulèvement).

### **13.4. MATERIAUX**

#### **13.4.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, les matériaux d'apport sont des sables, des graviers naturels ou des roches concassées.



Les procédés et les matériels employés pour le dosage des constituants sont précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution.

#### **13.4.2. Matériaux pour le traitement des massifs de sol par colonnes ballastées**

Sauf disposition contraire du marché, le fuseau granulométrique du matériau est compris entre :

- 20 et 75 mm pour les procédés par voie humide ;
- 8 et 40 mm pour les procédés par voie sèche en pied ;
- 40 et 75 mm pour les procédés par voie sèche en tête.

Le passant à 80 µm doit rester inférieur ou égal à 5%.

Les caractéristiques d'abrasivité doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- essai Los Angeles < 35 ;
- essai micro Deval < 30 ;
- somme de l'essai Los Angeles et de l'essai micro Deval < 60.

Le titulaire précise toute disposition différente qu'il souhaite mettre en œuvre dans la procédure d'exécution et en confirmera la faisabilité lors de l'essai de convenance.

#### **13.5. EXECUTION**

La tolérance maximale d'implantation en plan par rapport à l'emplacement théorique est de 150 mm Cette tolérance doit être prise en compte dans la conception.

Lorsque la continuité des colonnes ballastées est un élément essentiel à la justification du projet, les procédés d'alimentation en pied sont privilégiés.

#### **13.6. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire et le maître d'œuvre réalisent, avant le début des travaux, un état contradictoire des lieux et des ouvrages ou réseaux avoisinants pouvant être affectés par ces travaux.

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution. Le titulaire doit disposer sur le chantier des moyens et des matériels nécessaires pour contrôler avec la fréquence fixée par le marché que les caractéristiques du ballast sont conformes à celles agréées par le maître d'œuvre.

Le contrôle des résultats est assuré par le maître d'œuvre. Il consiste à vérifier que les objectifs fixés sont atteints.

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché ou, à défaut, soumise par le titulaire au maître d'œuvre.

##### **13.6.1. Colonne ballastée de convenance**

La première colonne ballastée constitue un essai de convenance. Elle est réalisée hors emprise de l'ouvrage et dans chaque zone géotechnique homogène. Elle fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi dans lequel sont consignés :

- les enregistrements de paramètres ;
- les volumes de ballast incorporé ;
- le diamètre sur la hauteur dégarnie ;
- la profondeur atteinte.

Sauf disposition contraire du marché, cette première colonne ne fait pas l'objet d'essais de contrôle de compacité et d'essai de chargement.

Le document de suivi de la colonne ballastée de convenance est inclus dans le dossier de l'ouvrage géotechnique et remis au maître d'œuvre. En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

### 13.6.2. Surveillance

Le titulaire doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour contrôler et enregistrer le volume, le débit et la pression des produits injectés, de manière à respecter le programme d'exécution visé à la clause 13.3 ci-dessus.

En complément aux paramètres listés dans le compte-rendu exigés par la norme NF EN 14731, le titulaire fournit :

- pour chaque colonne ballastée la nature du ballast utilisé ;
- les relevés de déplacements verticaux ou latéraux du terrain ou des ouvrages pouvant être affectés par les travaux ou alors tout autre paramètre fixé par le marché.

Le titulaire conserve les comptes rendus, les tient à tout moment à la disposition du maître d'œuvre. Ils sont intégrés dans le dossier d'ouvrage géotechnique.

### 13.6.3. Contrôles

Sauf disposition contraire du marché, la nature et la fréquence des contrôles des colonnes ballastées sont conformes au tableau suivant :

Fluide de lançage	EAU		AIR	
	Avec enregistrement	Sans enregistrement	Avec enregistrement	Sans enregistrement
Contrôle du diamètre	1 par tranche de 50 colonnes jusqu'à 100, minimum 3 au-delà			
Contrôle de la continuité	1/50	1/20	Seulement en cas d'anomalie	1/50
Contrôle de la compacité*	1/80 sous dallage ou radier + 1/20 sous massif avec un minimum de 5			
Essai de chargement par zone géotechnique homogène*	1 essai jusqu'à 800 mètres linéaires et un autre par tranche au-delà.		1 essai jusqu'à 2 000 mètres linéaires ou 400 colonnes, et un autre au moins au-delà.	

\*Sauf disposition contraire du marché, lorsque les colonnes ont un rôle drainant ou un rôle de densification du sol environnant et ne sont pas prises en compte dans le dimensionnement de l'ouvrage, il n'est pas nécessaire de procéder à des essais de contrôle de compacité ni à des essais de chargement.

Lorsque l'essai de contrôle de compacité n'atteint pas les profondeurs voulues (notamment par refus prématuré), le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

## **14. DRAINS VERTICAUX**

### **14.1. DOMAINE D'APPLICATION**

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 15237.

### **14.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES**

NF EN 15237 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Drains verticaux.

### **14.3. ÉTUDES D'EXECUTION**

L'attention est attirée sur le fait qu'il peut être nécessaire pour ces technologies de traitement, d'ajuster en cours d'exécution et après étude particulière, certaines considérations liées à la conception. Dans ce cas, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une étude qui détaille les dispositions qu'il envisage de prendre.

Les considérations relatives aux contraintes environnementales prises en compte dès les phases de conception sont détaillées lors des études d'exécution, notamment :

- la préservation, le maintien en bon de fonctionnement et de sécurité des ouvrages présents à proximité du terrain à consolider ;
- la stabilité des terrains environnants ;
- la sécurité des personnes et l'impact environnemental conformément à l'article "Exigences particulières" de la norme NF EN 15237.

Sauf dispositions contraires du marché, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre une note technique établie sur la base des données définies par les documents d'étude qui composent le dossier géotechnique et des renseignements qu'il aura pu recueillir ultérieurement.

Cette note technique comprend notamment les parties suivantes :

- rappel des données et hypothèses prises en compte : but du drainage, description des terrains et de l'ouvrage, zones et volumes à traiter ;
- pour chaque zone à traiter : caractéristiques et méthode de réalisation des drains, maille d'implantation, profondeur, diamètre, ordre d'exécution, dimensionnement du tapis drainant (granulaire ou géosynthétique), liaison entre les drains et le tapis drainant, évacuation des eaux drainées ;
- estimation de la déformation de la plate-forme (tassement) et procédure de chargement éventuel.

Lorsque l'objectif du drainage est de prévenir le risque de liquéfaction sous sollicitations sismiques, le titulaire porte une attention particulière à la pérennité, pour toute la durée de vie de l'ouvrage, du dispositif de drainage dans son ensemble (complexe drainant, exutoire).

### **14.4. MATERIAUX**

#### **14.4.1. Généralités**

Sauf disposition contraire du marché, la provenance et la nature, la qualité et les caractéristiques des produits entrant dans la composition de l'ensemble du dispositif de drainage (drains, tapis, exutoire) sont précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution. Les caractéristiques minimales à fournir concernent la capacité de débit et la résistance à la traction mobilisable.

Les procédés et les matériels employés sont précisés par le titulaire dans les procédures d'exécution.

### **14.5. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire et le maître d'œuvre réalisent, avant le début des travaux, un état contradictoire des lieux et des ouvrages ou réseaux avoisinants pouvant être affectés par ces travaux.

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions précisées par le titulaire dans les procédures d'exécution.

Le contrôle des résultats est assuré par le maître d'œuvre. Il consiste à vérifier que les objectifs fixés sont atteints.

#### **14.5.1. Plot de drains verticaux de convenance**

La première maille de drains constitue un essai de convenance. Elle peut être réalisée dans l'emprise de l'ouvrage. Chaque zone géotechnique homogène fait l'objet d'un plot de convenance. Le plot de convenance fait l'objet, de la part du titulaire, d'un document de suivi dans lequel sont consignés :

- les enregistrements de paramètres éventuels ;
- la profondeur atteinte ;
- les difficultés éventuelles lors de la mise en place (refus, remontée ou arrachement du drain) ;
- la liaison avec le tapis drainant.

Le document de suivi du plot de drains verticaux de convenance est inclus dans le dossier de l'ouvrage géotechnique et remis au maître d'œuvre. Si lors de l'essai de convenance il s'avère nécessaire de modifier substantiellement la procédure d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il envisage de prendre.

#### **14.5.2. Surveillance**

Le titulaire doit consigner toutes les informations qui permettent de vérifier le respect des hypothèses prises en compte dans la note technique visée à la clause

Le titulaire fournit un compte-rendu comprenant au minimum, pour chaque drain les éléments suivants:

- le numéro d'identification du drain ;
- la date et l'heure de réalisation ;
- la profondeur d'installation ;
- la longueur totale de drain mise en place ;
- toute information jugée utile relevée lors de la mise en place du drain (refus prématuré..).

Le titulaire conserve les comptes rendus et les tient à tout moment à la disposition du maître d'œuvre. Ces comptes rendus sont intégrés dans le dossier d'ouvrage géotechnique.

## 15. MICROPIEUX

### 15.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application est conforme à celui défini dans la norme NF EN 14199. Les pieux foncés de diamètre inférieur à 300 mm sont couverts par l'Article 5 du présent fascicule.

### 15.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 15.2.1. Références normatives

NF EN 14199 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux : Micropieux

NF P94-262 - Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes

NF P94-282 - Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement - Écrans

NF P94-150-1 : Sols : reconnaissance et essais - Essai statique de pieu isolé sous un effort axial - Partie 1 : en compression

NF P94-150-2 : Sols : reconnaissance et essais - Essai statique de pieu isolé sous effort axial - Partie 2 : en traction

#### 15.2.2. Terminologie

**micropieu de convenance** : micropieu réalisé dans le cadre du marché de travaux, permettant d'ajuster les procédures de surveillance, de contrôle et d'exécution.

### 15.3. CONCEPTION, ETUDES D'EXECUTION

#### 15.3.1. Conception

Les tolérances d'exécution sont prises en compte lors de la conception. Cette prise en compte peut concerner le dimensionnement des micropieux ou de la structure portée.

Il convient de rappeler que l'influence des tolérances d'exécution est particulièrement sensible pour les ouvrages fondés sur micropieux.

Pour les micropieux soumis à un effort de compression, lorsque le coulis est pris en compte comme protection vis-à-vis de la corrosion, l'épaisseur minimale d'enrobage est de 50 mm Cette épaisseur minimale peut augmenter suivant les conditions d'agressivité du sol.

Sauf disposition contraire du marché, le périmètre et la surface pris en compte dans les calculs sont déduits du diamètre extérieur de l'outil de forage.

#### 15.3.2. Modalité de justification

Les définitions des types de micropieux s'entendent conformément à l'annexe A de la norme NF P94-262.

Pour les ponts, les dispositions de la section "Béton, coulis ou mortier" de la norme NF P 94-262 relatives à la détermination de la résistance caractéristique des bétons, mortiers et coulis sont complétées comme suit :

- $C_{max}$  est limité à 25 MPa ;
- $k_3 = 1$ .

Les éléments de fondation doivent être armés sur toute leur longueur lorsqu'ils supportent des ouvrages de génie civil tels que des ponts ou des ouvrages de soutènement.

Les techniques d'injections suivantes sont assimilées à des micropieux de type 2 :

- en une seule passe par tubage temporaire ;
- injection en une seule passe par élément porteur;
- injection pendant le forage.

L'injection sous pression répétée réalisée en une ou plusieurs passes et en une seule étape de post-injection (claquage du coulis de gaine) est assimilée à une technique de micropieu de type 3.

L'injection sous pression répétée réalisée en plusieurs passes qui permet de réaliser plusieurs étapes de post-injection (claquage du coulis de gaine) est assimilée à une technique de micropieu de type 4.

Le tableau suivant récapitule les correspondances entre les terminologies explicitées dans la norme NF EN 14199 et celles prises en compte dans la norme de justification (NF P94-262).

Techniques d'exécution des micropieux (NF EN 14199)	catégorie de micropieu à considérer (NF P 94-262)							
	Type I	Type II					Type III	Type IV
		1 - FS - Foré simple	2 - FB - Foré boue	3 - FTP - Foré tubé perdu	4 - FTR - Foré tubé provisoire	6 - FTC, FTCD - Foré tarière continue	19 - MIGU - injecté type III <sup>(2)</sup>	20 - MIRS - injecté type IV <sup>(2)</sup>
Remplissage gravitaire	non recommandé dans le cadre d'application du présent fascicule	X	X	X	X			
Injection par un tubage temporaire			X		X			
Injection par élément porteur		X	X	X	X			
Injection pendant le forage						X		
Injection/bétonnage par la tige creuse de la tarière						X		
Injection répétitive <sup>(1)</sup> (tube à manchettes, tubes post-injection ou tube équipé de valves spéciales)								
▪ en une seule passe							X	
▪ en plusieurs étapes et une seule phase							X	
▪ en plusieurs passes et plusieurs							X	

<sup>(1)</sup> : les étapes d'injection sous pression répétée ne sont comptées qu'après durcissement du coulis préalablement mis en place (coulis de gaine).

<sup>(2)</sup> : sous réserve d'obtention de la pression minimale fixée par le marché lors de l'injection sous pression. L'IRS peut être validée après une unique étape d'injection sous pression.

### 15.3.3. Armatures et éléments porteurs

Le titulaire précise dans les procédures d'exécution les dispositions prises en compte au droit des raccords pour assurer la résistance structurelle exigée pour l'élément porteur.

### 15.3.4. Matériaux pour le coulis, le mortier et le béton

Lorsque l'eau de malaxage n'est pas issue du réseau d'eau potable, les critères d'acceptation et les méthodes d'analyse de l'eau doivent être conformes à la norme NF EN 1008.

### 15.3.5. Coulis de ciment

Sauf disposition contraire du marché, le rapport eau efficace / liant équivalent maximal est de 0,5.

Sauf disposition contraire du marché, la résistance à la compression uniaxiale minimale déterminée sur des éprouvettes cylindriques d'élanement hauteur/diamètre égal à 2 doit être d'au moins 25 MPa à 28 jours ou à la date du premier chargement du micropieu si celui-ci est réalisé avant 28 jours.

Le coulis peut être fabriqué à l'aide d'une centrale automatisée ou par introduction manuelle des constituants dans le malaxeur.

Sauf disposition contraire du marché, les coulis d'injection font l'objet des contrôles suivants :

	Centrale automatisée	Introduction manuelle des constituants
Densité	1/jour	1/micropieu
Viscosité (cône de Marsh)		1/jour
Ressuage		
Compression uniaxiale	2 séries de trois éprouvettes tous les 7 jours ouvrés (essais à 7 et 28 jours)	

### 15.3.6. Mortier et béton

Sauf disposition contraire du marché, la résistance à la compression uniaxiale minimale déterminée sur des éprouvettes cylindriques d'élanement hauteur/diamètre égal à 2 doit être d'au moins 25 MPa à 28 jours ou à la date du premier chargement du micropieu si celui-ci est réalisé avant 28 jours.

Pour les mises en place en conditions immergées, la teneur en ciment doit être au moins de 375kg/m<sup>3</sup> avec un rapport eau efficace / liant équivalent inférieur à 0,6. Les additions conformes au NA.5.1.6 de la norme NF EN 206/CN peuvent être utilisées en tant que remplacement partiel du ciment.

## 15.4. EXECUTION

Dans le cas d'utilisation de béton, la clause 3.5 du présent fascicule s'applique.

### 15.4.1. Tolérances d'exécution

Les tolérances géométriques d'exécution pour la réalisation des micropieux sont les suivantes :

- implantation des pieux verticaux et inclinés mesurée au niveau de la plate-forme de travail  $\leq 0,05$  m ;
- déviation par rapport à l'axe théorique du micropieu entre la plate-forme de travail et la base du micropieu :
  - $\leq 2$  % pour les micropieux verticaux,
  - $\leq 4$  % pour les micropieux inclinés de 14° ou moins de 14° par rapport à la verticale,
  - $\leq 6$  % pour les micropieux inclinés de plus de 14° par rapport à la verticale ;
- rayon de courbure :  $\geq 200$  m, en fonction des conditions de flambement ;
- déviation angulaire maximale dans un assemblage d'éléments de micropieu : 1/150 radian.

### 15.4.2. Mise en place du coulis

La mise en place du coulis dans le forage est toujours réalisée du bas vers le haut à l'abri d'un tube plongeur (trémie).

La première phase de mise en place du coulis est complétée par une incorporation de coulis qui vise à compenser l'essorage et la décantation. Ce complément est réalisé par la trémie lorsque le coulis mis en place dans le forage est encore liquide, jusqu'à ce que la résurgence soit observée en tête. Le délai d'attente



entre la phase de mise en place du coulis et l'injection de compensation d'essorage est précisé par le titulaire dans les procédures d'exécution.

## **15.5. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

### **15.5.1. Micropieu de convenance**

Si un micropieu préalable, de faisabilité ou d'essai au sens de la norme NF EN 14199 est réalisé, il constitue un micropieu de convenance.

Toute zone homogène du point de vue géotechnique doit faire l'objet d'un micropieu de convenance. Ce micropieu peut être un micropieu de l'ouvrage définitif et doit être réalisé à proximité d'un sondage de reconnaissance.

A proximité d'avoisinants sensibles ou dans les configurations pour lesquelles la méthode d'exécution présente de fortes incertitudes, le micropieu de convenance ne doit pas être un micropieu de l'ouvrage.

Le micropieu de convenance fait l'objet de la part du titulaire d'un document de suivi sur lequel sont consignés tous les éléments permettant de valider les procédures particulières de mise en œuvre. Ces éléments viennent compléter le compte-rendu individuel pour chaque micropieu (clause 15.5.3 du présent document). Il s'agit à minima de :

- la coupe stratigraphique rencontrée :
  - sous forme d'enregistrements des paramètres de forage. L'interprétation de cet enregistrement sert également de calage du modèle géotechnique,
  - la coupe levée par le personnel de sondage après interprétation des indices relevés lors du forage,
  - le cas échéant lorsque la technique le permet, en réalisant des prélèvements réguliers de sol, même très remaniés, de façon régulière et à tout changement de lithologie. Les échantillons sont conservés à l'abri des précipitations et du gel durant toute la durée du chantier ;
- les procédures particulières d'excavation (outil utilisé, soutien des parois de forage) ;
- la procédure de mise en œuvre des armatures ou des éléments préfabriqués ;
- les procédures de remplissage, d'injection ou de bétonnage ;
- les caractéristiques du béton ou du coulis : consistance, densité ou viscosité le cas échéant, confection de deux échantillons, soit 6 éprouvettes pour mesures des résistances à 7 et 28 jours ;
- la procédure particulière de recépage le cas échéant ;
- les contrôles et essais réalisés.

En cas d'écart importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet sans délai au visa du maître d'œuvre les dispositions complémentaires qu'il envisage et met à jour la procédure d'exécution.

### **15.5.2. Essais de chargement**

Les essais de chargement sont des essais de chargement par palier.

Dans l'attente de la publication des normes d'essais de chargement européennes (NF EN ISO 22477), les normes françaises (NF P94-150-1 et NF P94-150-2) s'appliquent.

#### **15.5.2.1. Essais de chargement statique de micropieu préliminaire**

En complément des cas énumérés dans la norme NF EN 14199 et sauf disposition contraire du marché, des essais préalables de chargement statique doivent être effectués lorsque la technique mise en œuvre ne correspond pas à l'un des types définis à la clause 15.2.2.

Les conditions de sols sont précisées, le cas échéant, par un sondage géotechnique de reconnaissance réalisé au droit de la zone d'essai de chargement statique.

Chaque zone d'essai de chargement fait l'objet d'au moins deux essais de chargement sur micropieux préliminaires.

L'effort de traction maximal lors d'un essai à la rupture est :

- 90 % de la limite élastique des matériaux constitutifs du micropieu,
- au moins de 1,5 fois l'effort d'arrachement limite.

Les micropieux faisant l'objet d'essais de chargement peuvent être considérés comme des micropieux de convenance.

#### 15.5.2.2. Essais de chargement statique sur micropieu de l'ouvrage

Sauf disposition contraire du marché, l'effort de traction maximal lors d'un essai sur micropieu de l'ouvrage est de 1,3 fois l'effort axial appliqué au micropieu aux états limites de service quasi-permanents.

#### 15.5.2.3. Essais à réaliser

Sauf disposition contraire du marché, lorsque la valeur de la traction de calcul de la charge correspondant à la combinaison à l'état limite de service quasi-permanent est inférieure à 15% de la charge ultime de traction, il est réalisé deux essais sur micropieux de l'ouvrage pour les cent premiers micropieux ainsi qu'un essai sur micropieu de l'ouvrage pour chaque groupe de cent micropieux supplémentaires.

Sauf disposition contraire du marché, lorsque la valeur de la traction de calcul de la charge correspondant à la combinaison à l'état limite de service quasi-permanent est supérieure à 15% de la charge ultime de traction, il est réalisé :

- deux essais préliminaires par zone géotechnique homogène ;
- deux essais sur micropieu de l'ouvrage pour les cinquante premiers micropieux, ainsi qu'un essai sur micropieu de l'ouvrage pour chaque groupe suivant de cinquante micropieux.

### 15.5.3. Surveillance

Pour chaque micropieu, le titulaire remet au maître d'œuvre un compte-rendu intégré de chantier conforme à l'ensemble des éléments exigés ou recommandés dans la norme NF EN 14199, complétée comme suit :

- l'enregistrement des paramètres de forage ;
- éventuellement la courbe de bétonnage ;
- l'altimétrie du béton, du coulis et des armatures en fin de remplissage par rapport à un repère altimétrique fixe et clairement identifié.

La liste des éléments composant le compte-rendu est non exhaustive. Elle est adaptée aux techniques mises en œuvre et aux conditions de sols.

Ces différentes observations doivent faire l'objet d'un document de synthèse comprenant un dépouillement et une analyse. En cas d'écarts importants vis-à-vis des procédures d'exécution, le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions qu'il compte prendre et met à jour la procédure d'exécution.

### 15.5.4. Contrôles

Sauf disposition contraire du marché, l'enregistrement des paramètres de forage est obligatoire. Cet enregistrement concerne à minima la vitesse d'avancement, la poussée sur l'outil, la pression d'injection et le couple de rotation.

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire contrôle l'implantation et la profondeur des micropieux. Le marché précise si le contrôle de l'inclinaison et de l'orientation est à vérifier.

En cas d'incidents identifiés lors de la réalisation du micropieu (éboulements, pertes totales ou partielles de fluide stabilisateur, pertes imprévues importantes lors du remplissage ou de l'injection ...), le titulaire soumet au visa du maître d'œuvre les dispositions ou les contrôles complémentaires permettant de garantir l'intégrité de l'élément de fondation et met éventuellement à jour la procédure d'exécution.

Les contrôles réalisés font l'objet d'un compte-rendu comprenant un dépouillement et une analyse.

## 16. RABATTEMENT DE NAPPE

### 16.1. DOMAINE D'APPLICATION

La technique du rabattement de la nappe aquifère consiste à abaisser de façon provisoire ou définitive le niveau piézométrique d'une ou plusieurs nappes souterraines en dessous d'une certaine cote à l'intérieur d'un périmètre donné.

Les procédés auxquels s'applique le présent chapitre sont les suivants :

- les puits de pompage ;
- les pointes filtrantes ;
- les tranchées drainantes ;
- les drains subhorizontaux.

### 16.2. TERMINOLOGIE ET REFERENCES NORMATIVES

#### 16.2.1. Références normatives

NF EN ISO 22282 : Reconnaissance et essais géotechniques – Essais géohydrauliques

NF EN ISO 22475-1 : Reconnaissance et essais géotechniques – Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques – Partie 1 : Principes techniques des travaux

#### 16.2.2. Termes et définitions

**puits de pompage** : forages d'eau avec crépine à ouvertures calibrées avec, au besoin, un massif de gravier. Ils sont équipés d'un dispositif de pompage généralement constitué d'électropompes immergées. Ils sont surtout utilisés dans des chantiers d'assez longue durée et permettent un rabattement important dans des terrains pouvant être relativement perméables.

**pointes filtrantes** : tubage de faible diamètre mis en place par lancement ou introduit dans des forages. Les pointes filtrantes sont constituées par une colonne d'exhaure de faible diamètre, avec une crépine à la base. Elles sont reliées, par un collecteur, à une ou plusieurs pompes à vide. Elles assurent un rabattement de l'ordre de 5 à 6 m, mais il est possible d'obtenir des rabattements supérieurs en disposant plusieurs étages de sondes filtrantes au fur et à mesure du terrassement. Elles peuvent être employées dans des terrains relativement peu perméables en raison de la forte densité des points d'exhaure et de l'essorage par le vide.

**tranchées drainantes** : tranchées remplies de matériaux drainants dans lesquelles l'écoulement est gravitaire, les eaux étant ensuite relevées ou non par pompage. Une variante du procédé est constituée de drains continus horizontaux, généralement placés par une machine travaillant en continu, à la base d'une tranchée étroite. Les drains sont reliés à intervalles réguliers par un tube à un dispositif de pompage sous vide installé en surface. Ce procédé permet de rabattre le niveau piézométrique au ras d'un horizon imperméable. Il intervient le plus souvent en complément des autres dispositifs.

**drains subhorizontaux** : tubage crépiné mis en place par lancement battage ou par forage préalable généralement incliné de 5 à 15°. Le rabattement s'effectue de manière gravitaire. La crépine est fréquemment protégée par un géotextile qui assure la filtration et évite l'entraînement de la matrice fine du sol.

### 16.3. ÉTUDES D'EXECUTION

Sauf disposition contraire du marché, le titulaire établit, sur la base du mémoire de synthèse géologique,

géotechnique et hydrogéologique, du PRE et des renseignements complémentaires qu'il aura pu recueillir, une note technique définissant les installations qu'il propose de retenir et justifiant leurs caractéristiques.

Cette note comporte une partie distinguant les points qui intéressent la conception même de l'ouvrage :

- rappel des données et hypothèses prises en compte ;
- méthodes de calcul utilisées ;

- conception générale du projet, procédé choisi ;
- phases de rabattement ;
- description des moyens correspondants ;
- éventuellement dispositions spéciales relatives à certaines couches du sol et au maintien des nappes aquifères à un niveau piézométrique donné à l'extérieur des fouilles ;
- provenance et qualité des matériaux et matériels ;
- dispositions et mesures envisagées pour contrôler le débit de l'installation ;
- mesures de sécurité retenues au niveau de la conception (surdimensionnements, protection des ouvrages voisins, etc.) ;
- mesures de sécurité retenues au niveau du fonctionnement (conditions d'entretien et de surveillance de l'ensemble du dispositif, alimentations électriques de secours, matériels de réserve, etc.) ;
- dispositif de contrôle dans les conditions définies dans le marché.

Sauf disposition contraire du marché, cette note est soumise au visa du représentant du maître d'ouvrage dans le cas d'un rabattement provisoire et à son approbation dans le cas d'un rabattement définitif.

Sauf disposition contraire du marché définissant les circonstances et la durée d'un fonctionnement complémentaire, le titulaire n'est pas tenu de maintenir ses installations de rabattement en fonctionnement en vue de l'exécution ultérieure de certains travaux ne faisant pas partie de son entreprise.

#### **16.4. EXECUTION**

Le dispositif de rabattement :

- assure la collecte des eaux souterraines (tube crépiné, massif drainant) avec ou sans moyen de pompage,
- évite l'entraînement des éléments fins du sol par un dispositif filtrant anticontaminant (filtre granulaire ou géotextile),
- évacue les eaux vers un exutoire pérenne vers un point de rejet défini dans le marché ou a minima en dehors de la zone d'influence du rabattement.

#### **16.5. SURVEILLANCE, ESSAIS ET CONTROLES**

##### **16.5.1. Surveillance**

Sauf disposition contraire du marché, le comportement des nappes est contrôlé par le titulaire pendant toute la durée de leur rabattement, selon les dispositions qu'il a précisé dans les procédures d'exécution, en ce qui concerne :

- la nature des dispositifs utilisés ;
- la périodicité des relevés.

Toutefois, en cas de rabattement définitif, cette obligation cesse à la réception des travaux.

##### **16.5.2. Essais et contrôles**

Sauf disposition contraire du marché, le contrôle des matériaux et les contrôles de l'exécution sont assurés par le titulaire, selon des dispositions qu'il précise dans les procédures d'exécution.

Le contrôle des résultats est assuré par le maître d'œuvre. Il consiste à vérifier que les objectifs fixés sont atteints.

## ANNEXE A : COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

### Coordination

SALIBA Jérôme CEREMA/ DtecITM puis DterMed

### Secrétariat

BRACH Aurore CEREMA/DtecITM

ROCHER-LACOSTE Frédéric CEREMA DtecITM puis DIR IdF

SALIBA Jérôme CEREMA/ DtecITM puis DterMed

### Groupe de rédaction

JOSEPH Agnès CEREMA/DterCE

MAUREL Cécile CEREMA/DterIdF

BATISTA Dominique CEREMA/DterMed

BURLON Sébastien IFSTTAR

CARPINTEIRO Luis SOCOTEC/COPREC

DAUBILLY Benjamin FNTP

HABERT Julien CEREMA/DterNP

JUILLIE Yann Accotec / USG

MERCIER Philippe SPIE Fondations / SOFFONS

PAULIN Charly ANTEA / SYNTEC

PIOLINE Michel CEREMA/DterNC – retraité

RACINAIS Jérôme MENARD / SOFFONS

SUBRIN Didier CETU

VABRE Pierre-Jean DIR Ouest

VOLCKE Jean-Paul FRANKI FONDATION / SOFFONS

Groupe de relecture

BRIE Jean-François

ADP

CARDINALE Vincenzo

CG03 / ADSTD

CREMONA Christian

CEREMA / DtecITM

DELLA LONGA Yannick

RFF

GUIGNARD Philippe

CG33 / ADSTD

KRETZ Thierry

Sétra puis IFSTTAR

LEGENDRE Yves

SOLETANCHE / CNETG

MAGNAN Jean-Pierre

IFSTTAR

MOUSSARD Hervé

SNCF

RUDENT Daniel

CG62 / ADSTD

## ANNEXE B : GLOSSAIRE DES SIGLES ET ACRONYMES UTILISES

ADP	Aéroports De Paris
ADSTD	Association des Directeurs de Services Techniques Départementaux
CCAG	Cahier des Clauses Administratives Générales
CCTG	Cahier des Clauses Techniques Générales
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
Cerema	Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CETU	Centre d'Étude des Tunnels
COP	Chargé des Ouvrages Provisoires
COPREC	Confédération des Organismes indépendants tierce partie de PREvention, de Contrôle et d'inspection.
DIR	Direction Interrégionale des Routes
DIUO	Dossier d'Intervention Ulérieure sur Ouvrage
DOE	Dossier des Ouvrages Exécutés
FNTP	Fédération Nationale des Travaux Publics
GEM-OTM	Groupe d'Études des Marchés « Ouvrages, Travaux et Maîtrise d'Œuvre »
IFSTTAR	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
NOG	Note d'Organisation Générale
NRE	Notice de Respect de l'Environnement
PAQ	Plan Qualité
PGCSPS	Plan Général de Coordination de Sécurité et de Protection de la Santé
PIC	Projet des Installations de Chantier
PPSPS	Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé
PRE	Plan de Respect de l'Environnement
RC	Règlement de Consultation
RFF	Réseaux Ferrés de France
SDQ	Schéma Directeur de la Qualité
Sétra	Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
SI	Système International d'unités
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer
SOFFONS	syndicat des entrepreneurs de Sondages, Forages et FONdations Spéciales



SOGED	Schéma d'Organisation de la GEstion des Déchets
SOPAQ	Schéma d'Organisation du Plan Qualité
SOPRE	Schéma d'Organisation du Plan de Respect de l'Environnement
USG	Union Syndicale Géotechnique

## ANNEXE C : COMPOSITION DU DOSSIER GEOTECHNIQUE

### 1 DISPOSITIONS COMMUNES

#### 1.1 Catégorie géotechnique de l'ouvrage

Le marché définit les exigences minimales relatives aux reconnaissances géotechniques, calculs justificatifs et contrôles d'exécution des travaux.

À ce titre, il convient de classer l'ouvrage dans l'une des trois catégories géotechniques (catégories 1, 2 ou 3) définies dans la section Bases du calcul géotechnique – Exigences de calcul de la norme NF EN 1997-1. Le choix de la catégorie peut évoluer à chaque étape du processus de conception de l'ouvrage.

#### 1.2 Composition du dossier géotechnique

Pour des ouvrages de catégorie géotechnique 1, le dossier géotechnique est inclus dans le CCTP et peut se limiter aux données retenues pour servir de base à la conception des ouvrages ainsi qu'à leur exécution.

Pour les ouvrages de catégories 2 ou 3, le dossier géotechnique est composé d'un mémoire géotechnique de synthèse et d'un rapport comprenant les résultats d'essais et les études de conception. Le rapport géotechnique comprend les résultats des essais effectués, accompagnés de la description des modes opératoires et normes utilisés, et de toute précision utile sur les difficultés éventuellement rencontrées et sur la fiabilité des résultats obtenus. Il est également fait état d'éléments de contexte du site et de l'ouvrage et de dispositions constructives particulières : hydrologie, hydraulique, sismicité, zone d'influence géotechnique, variations saisonnières, conditions relatives au voisinage du projet, durée de vie de calcul de l'ouvrage, qualité des eaux.

#### 1.3 Mémoire de synthèse géotechnique

Le mémoire de synthèse géotechnique comprend les données géologiques, géotechniques et hydrogéologiques qui ont été retenues et interprétées en vue de l'établissement du marché, qui ont servi de base à la conception des ouvrages, et qui servent de base à leur exécution et à l'avant métré. Il présente les contraintes particulières qui s'appliquent au projet, les dispositions constructives choisies par le maître d'œuvre ainsi que les principes de suivi et d'adaptation des méthodes en cours de chantier.

En parallèle du dossier géotechnique, et en particulier pour les ouvrages en interaction forte avec leur environnement, le marché comprend un dossier concernant les avoisinants qui répertorie toutes les données disponibles et précise la sensibilité des bâtiments, ouvrages et réseaux vis-à-vis des travaux envisagés, en vue de la détermination des seuils définis au marché.

Le mémoire de synthèse géotechnique est la base sur laquelle le titulaire se fonde pour choisir les méthodes d'exécution et pour établir ses prix.

#### 1.4 Conditions techniques imprévues

Si le caractère imprévu des conditions géotechniques ou hydrogéologiques effectivement rencontrées impose une modification importante des conditions du marché, le titulaire en avise aussitôt le maître d'œuvre et lui soumet les dispositions techniques nouvelles qu'il propose d'adopter. Les décisions prises par le maître d'œuvre au vu de ces propositions font l'objet d'un ordre de service de la part du maître d'œuvre.

Si l'urgence ne permet pas au titulaire de se conformer aux prescriptions ci-dessus, il prend les mesures nécessaires et en avise le maître d'œuvre dans les 24 heures.

## **2 FONDATIONS DIRECTES SUR LE SOL**

En complément des dispositions communes il convient que le dossier géotechnique précise :

- la nature et les propriétés physiques et mécaniques du sol de fondation ;
- le volume des fouilles nécessaires à la réalisation de la fondation et notamment la profondeur du fond de fouille par rapport au terrain naturel, la surface de l'emprise au niveau du fond de fouille et les pentes de talus ;
- les caractéristiques attendues d'un éventuel matériau de substitution ;
- la présence d'eaux souterraines ;
- les méthodes utilisées pour justifier la fondation.

## **3 PIEUX FORÉS**

### **3.1 Composition du dossier géotechnique**

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique doit être également conforme aux chapitres "Informations nécessaires pour l'exécution du projet" et "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 1536.

### **3.2 Modalité de justification**

Pour les ponts, les dispositions de conception et de justification des pieux forés doivent être conformes à l'Annexe Q de la norme NF P94-262.

Pour les autres ouvrages de génie civil, le marché précise si les dispositions de conception et de justification de l'Annexe Q de la norme NF P94-262 sont applicables.

## **4 PAROIS MOULEES**

### **4.1 Caractéristiques particulières**

Les exigences propres à la paroi en particulier concernant la perméabilité du matériau qui la compose ou le type de joint peuvent se traduire par une valeur de débit de fuite.

### **4.2 Modalités de justification**

Pour les ponts, les dispositions de conception et de justification des parois moulées doivent être conformes à l'annexe Q de la norme NF P94-262.

Pour les autres ouvrages de génie civil, le marché précise si les dispositions de conception et de justification de l'annexe Q de la norme NF P94-262 sont applicables.

### **4.3 Composition dossier géotechnique**

En complément des dispositions communes il convient que le dossier géotechnique soit conforme aux chapitres "Informations nécessaires pour l'exécution du projet" et "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 1538.

## **5 PIEUX AVEC REFOULEMENT DE SOL**

### **5.1 Caractéristiques particulières**

Sauf disposition contraire du marché, un pieu préfabriqué en acier relève d'une classe d'exécution 2 (norme NF EN 1090). Le niveau d'acceptation des défauts pour les soudures structurales relève de la classe C.

### **5.2 Modalité de justification**

Pour les ponts, les dispositions de conception et de justification des pieux à refoulement de sol doivent être conformes à l'annexe Q de la norme NF P94-262.

Pour les autres ouvrages de génie civil le marché précise si les dispositions de conception et de justification de l'annexe Q de la norme NF P94-262 sont applicables.

### **5.3 Composition du dossier géotechnique**

En complément aux dispositions communes le dossier géotechnique doit être également conforme aux chapitres "Informations nécessaires" et "Reconnaissance des terrains" de la norme NF EN 12699.

## **6 RIDEAUX DE PALPLANCHES**

### **6.1 Caractéristiques particulières**

Les exigences propres relatives au type de joint peuvent se traduire par une valeur de débit de fuite.

### **6.2 Composition du dossier géotechnique**

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique doit être également conforme aux chapitres traitant des informations nécessaires pour l'exécution et des reconnaissances des terrains de la norme NF EN 12063.

## **7 INJECTIONS**

Le dossier géotechnique doit satisfaire aux articles d'application obligatoire de la norme NF EN 12715.

Les limites acceptables des tassements, des soulèvements, des distorsions des structures et des réseaux susceptibles d'être affectés par l'exécution des injections doivent être définies par le marché, en complément de l'article "Données de base et objectifs" de la norme NF EN 12715.

En complément des dispositions communes, le mémoire de synthèse géotechnique précise les points particuliers éventuellement nécessaires à la mise en œuvre de l'injection :

- la nature, les caractéristiques et l'état des terrains intéressés (granulométrie, anisotropie, minéralogie, degré de fissures, présence et dimensions de cavités, ...) ;
- le contexte hydrogéologique (coefficient de perméabilité, niveau piézométrique et évolution des nappes, chimie des eaux, température, ...) ;
- les résultats d'essais en place portant sur la mesure des coefficients de perméabilité ;
- les résultats d'essais obtenus dans le cadre de plots d'essais préliminaires visant à établir la faisabilité des travaux ou de travaux similaires préalablement réalisés sur le site ;
- les contraintes environnementales.

Le marché donne également les précisions suivantes :

- but des injections ;
- s'il y a lieu l'ouvrage concerné par l'injection particulièrement pour les injections de collage et de régénération (géométrie, âge, nature et état des matériaux le constituant et sollicitations auxquelles il est soumis) ;
- durabilité du coulis à injecter ;
- zones et volumes à traiter ;
- résultats à atteindre ;
- conditions d'alimentation en énergie et en eau ;
- conditions de rejet des effluents.

Le marché donne éventuellement les contraintes à respecter :

- présence d'ouvrages et réseaux dans le terrain à traiter, ou à proximité de celui-ci ;
- préservation de la sécurité et du bon fonctionnement de l'ouvrage et des ouvrages ou réseaux voisins ;
- préservation de la stabilité des terrains environnants ;
- perturbations nuisibles à l'environnement telles que pollution de nappes ou perturbation dans l'écoulement des eaux.

## **8 ÉLÉMENTS ET STRUCTURES DE SOL-CIMENT REALISES PAR JET**

En complément des dispositions communes, le dossier géotechnique doit être également conforme aux chapitres "Besoins spécifiques" et "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 12716.

Les limites acceptables des tassements, des soulèvements, des distorsions des structures et des réseaux susceptibles d'être affectés par l'exécution des éléments de sol-ciment et des structures de sol-ciment, tant en phase provisoire que définitive, doivent être définies dans le marché.

En complément à l'article "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 12716, le dossier géotechnique doit préciser :

- les variations de la compacité des sols avec la profondeur sur toute la hauteur des éléments à réaliser,
- les résultats d'essais obtenus dans le cadre de plots d'essais préliminaires (articles "Considérations relatives à la conception - Généralités" et les items 2 et 7 du tableau "Liste des activités recommandées pour la conception et l'exécution des éléments et des structures de sol-ciment réalisés par jet" de la norme NF EN 12716).

Lorsque la mesure est appropriée, le dossier géotechnique doit fournir :

- des mesures de valeur au bleu du sol ;
- une analyse chimique de l'eau et du sol (sulfates, chlorures ...).

## **9 CLOUAGE**

### **9.1 Composition du dossier géotechnique**

En complément aux dispositions communes, les études en phase projet doivent satisfaire au minimum aux articles "Informations nécessaires pour l'exécution des travaux" et « Reconnaissances géotechniques » de la norme NF EN 14-490.

Compte tenu des incertitudes liées aux déplacements induits par la construction d'ouvrage en sol cloué, il convient de suivre les déformations de l'ouvrage. Lorsque le suivi à long terme de l'ouvrage est reconnu nécessaire, les objectifs, les dispositions à prendre et la fréquence des contrôles sont définis dans le marché.

Dans le cas de la mise en œuvre de la méthode observationnelle, les éléments nécessaires à son application doivent être fournis dans le marché.

### **9.2 Études de projet**

La conception de l'ouvrage en sol cloué est conforme à l'Annexe B "Considérations relatives à la conception" de la norme NF EN 14-490 complétée par les éléments suivants relatifs à la prise en compte de la corrosion.

Les systèmes de protection contre la corrosion acceptables sont les suivants :

- épaisseur sacrifiée à la corrosion conforme au tableau des valeurs de pertes d'épaisseur d'acier par corrosion (tableau B.3 de la norme NF EN 14-490) ;
- gaine plastique ;
- galvanisation ;
- protection par revêtement non métallique ;
- pour des ouvrages provisoires de durée de service inférieure à 18 mois, un enrobage approprié en coulis mortier ou béton.

La résistance ultime de traction doit également être conforme à l'annexe F "Détermination des valeurs de calcul des résistances ultimes de traction" de la norme NF P94-270.

## **10 TIRANTS D'ANCRAGE**

En complément des dispositions communes les études en phase projet doivent satisfaire au minimum aux articles "Informations requises pour l'exécution des travaux" et "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 1537.

Compte tenu de la sensibilité des ouvrages ancrés par tirants et de la présence d'avoisinants, il convient de suivre les déformations de l'ouvrage. Lorsque le suivi à long terme de l'ouvrage est reconnu nécessaire, les objectifs, les dispositions à prendre et la fréquence des contrôles sont définis par le marché.

Dans le cas de mise en œuvre de la méthode observationnelle, les éléments nécessaires à son application (valeurs seuils par exemple) doivent être fournis dans le marché.

Les éléments particuliers d'essais, de phasage ou de maintenance (contrôle périodique de la traction) des tirants mis en œuvre sont définis dans le marché.

## **11 COLONNES DE SOL TRAITE**

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique se compose d'un mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique qui précise les points particuliers éventuellement nécessaires à la mise en œuvre du traitement :

- caractéristiques physiques et paramètres d'état du sol à traiter : limites d'Atterberg, classification, masse volumique, courbe granulométrique, aptitude au traitement, minéralogie, teneur en eau naturelle, teneur en matières organiques ;
- caractéristiques mécaniques du sol à traiter : déformation et consolidation, résistance mécanique ;
- le contexte hydrogéologique (coefficient de perméabilité, niveau piézométrique et évolution des nappes, chimie des eaux, température, ...) ;
- le contexte environnemental.

Le marché donne également les précisions suivantes :

- but du traitement ;
- ouvrage : géométrie de l'ouvrage, s'il y a lieu, âge, nature et état des matériaux le constituant et sollicitations auxquelles il est soumis ;
- durabilité des traitements à réaliser ;
- zones et volumes estimés à traiter ;
- résultats à atteindre ;
- conditions d'alimentation en énergie et en eau ;
- conditions de rejet des effluents.

Le marché donne éventuellement les contraintes à respecter :

- présence d'ouvrages dans le terrain à traiter, ou à proximité de celui-ci ;
- préservation de la sécurité et du bon fonctionnement de l'ouvrage et des ouvrages voisins ;
- préservation de la stabilité des terrains environnants ;
- perturbations nuisibles à l'environnement telles que pollution de nappes ou perturbation dans l'écoulement des eaux.

## **12 AMELIORATION DE SOLS PAR VIBRATION PROFONDE**

En complément des dispositions communes, le dossier géotechnique est composé d'un mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique qui précise les points particuliers éventuellement nécessaires à la mise en œuvre du traitement :

- caractéristiques physiques et paramètres d'état du sol à améliorer : courbe granulométrique, teneur en eau naturelle, teneur en matières organiques ;
- caractéristiques mécaniques in-situ avant traitement ;
- estimation du tassement induit par le traitement ;
- le contexte hydrogéologique (identification des différents niveaux piézométriques, coefficient de perméabilité et évolution des nappes...).

Le marché précise les objectifs et les critères associés :

- amélioration de la stabilité (statique ou dynamique) après traitement ;
- amplitude des tassements absolus ou différentiels admissibles des ouvrages.

Le marché précise les contraintes suivantes :

- conditions d'alimentation en énergie et en eau ;
- préservation de la sécurité et du bon fonctionnement des ouvrages voisins ;
- préservation de la stabilité des terrains environnants ;
- perturbations nuisibles à l'environnement telles que pollution de nappes ou perturbation dans l'écoulement des eaux.

### **13 AMELIORATION DE SOLS PAR COLONNES BALLASTEES**

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique est composé d'un mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique qui précise les points particuliers éventuellement nécessaires à la mise en œuvre du traitement :

- caractéristiques physiques et paramètres d'état du sol à améliorer : valeur au bleu des sols, courbe granulométrique, teneur en eau naturelle, teneur en matières organiques ;
- caractéristiques mécaniques du sol à traiter et notamment les paramètres de compressibilité ( $C_c$ ,  $\sigma'_p$ ,  $C_s$ ,  $C_v$ ) ;
- le contexte hydrogéologique (identification des différents niveaux piézométriques, coefficient de perméabilité et évolution des nappes, incidence sur les écoulements liés à la présence des colonnes...).

Le marché précise les objectifs et les critères associés :

- amélioration de la stabilité (statique ou dynamique) ;
- amplitude des tassements absolus ou différentiels admissibles ;
- temps de consolidation.

Le marché précise les contraintes suivantes :

- conditions d'alimentation en énergie et en eau ;
- préservation de la sécurité et du bon fonctionnement des ouvrages voisins ;
- préservation de la stabilité des terrains environnants ;
- perturbations nuisibles à l'environnement telles que pollution de nappes ou perturbation dans l'écoulement des eaux.



- 

## 14 DRAINS VERTICAUX

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique est composé d'un mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique qui précise les points particuliers nécessaires à la mise en œuvre du drainage vertical :

- caractéristiques physiques et paramètres d'état du sol à améliorer : poids volumique, courbe granulométrique, teneur en eau naturelle, teneur en matières organiques ;
- coefficients de perméabilité et les coefficients de consolidation horizontaux et verticaux ;
- caractéristiques mécaniques in-situ ;
- le contexte hydrogéologique (identification des différents niveaux piézométriques, évolution des nappes, contamination éventuelle de l'eau interstitielle...) ;
- estimation du tassement induit par l'ouvrage et temps de consolidation avec et sans drainage ;
- phasage de montée des remblais de pré-chargeement, le cas échéant.

Le marché précise les objectifs et les critères associés :

- amélioration de la stabilité (statique ou dynamique) après consolidation ;
- amplitude des tassements absolus ou différentiels admissibles des ouvrages ;
- type et nature de l'instrumentation du site à mettre en œuvre ;
- temps de consolidation.

## 15 MICROPIEUX

### 15.1 Conception

Les tolérances d'exécution sont prises en compte lors de la conception. Cette prise en compte peut concerner le dimensionnement des micropieux ou de la structure portée.

Il convient de rappeler que l'influence des tolérances d'exécution est particulièrement sensible pour les ouvrages fondés sur micropieux.

Pour les micropieux soumis à un effort de compression, lorsque le coulis est pris en compte comme protection vis-à-vis de la corrosion, l'épaisseur minimale d'enrobage est de 50 mm Cette épaisseur minimale peut augmenter suivant les conditions d'agressivité du sol.

Sauf disposition contraire du marché, le périmètre et la surface pris en compte dans les calculs sont déduits du diamètre extérieur de l'outil de forage.

### 15.2 Modalité de justification

Les définitions des types de micropieux s'entendent conformément à l'annexe A de la norme NF P94-262.

Pour les ponts, les dispositions de la section "Béton, coulis ou mortier" de la norme NF P 94-262 relatives à la détermination de la résistance caractéristique des bétons, mortiers et coulis sont complétées comme suit :

- $C_{max}$  est limité à 25 MPa ;
- $k_3 = 1$ .

Les éléments de fondation doivent être armés sur toute leur longueur lorsqu'ils supportent des ouvrages de génie civil tels que des ponts ou des ouvrages de soutènement.

Les techniques d'injections suivantes sont assimilées à des micropieux de type 2 :

- en une seule passe par tubage temporaire ;

- injection en une seule passe par élément porteur;
- injection pendant le forage.

L'injection sous pression répétée réalisée en une ou plusieurs passes et en une seule étape de post-injection (claquage du coulis de gaine) est assimilée à une technique de micropieu de type 3.

L'injection sous pression répétée réalisée en plusieurs passes qui permet de réaliser plusieurs étapes de post-injection (claquage du coulis de gaine) est assimilée à une technique de micropieu de type 4.

Le tableau suivant récapitule les correspondances entre les terminologies explicitées dans la norme NF EN 14199 et celles prises en compte dans la norme de justification (NF P94-262).

	catégorie de micropieu à considérer (NF P 94-262)							
	Type I	Type II					Type III	Type IV
		1 - FS - Foré simple	2 - FB - Foré boue	3 - FTP - Foré tubé perdu	4 - FTR - Foré tubé provisoire	6 - FTC, FTCD - Foré tarière continue	19 - MIGU - injecté type III <sup>(2)</sup>	20 - MIRS - injecté type IV <sup>(2)</sup>
Techniques d'exécution des micropieux (NF EN 14199)								
Remplissage gravitaire	non recommandé dans le cadre d'application du présent fascicule	X	X	X	X			
Injection par un tubage temporaire			X		X			
Injection par élément porteur		X	X	X	X			
Injection pendant le forage						X		
Injection/bétonnage par la tige creuse de la tarière						X		
Injection répétitive <sup>(1)</sup> (tube à manchettes, tubes post-injection ou tube équipé de valves spéciales)								
▪ en une seule passe							X	
▪ en plusieurs étapes et une seule phase							X	
▪ en plusieurs passes et plusieurs							X	

<sup>(1)</sup> : les étapes d'injection sous pression répétée ne sont comptées qu'après durcissement du coulis préalablement mis en place (coulis de gaine).

<sup>(2)</sup> : sous réserve d'obtention de la pression minimale fixée par le marché lors de l'injection sous pression. L'IRS peut être validée après une unique étape d'injection sous pression.

### 15.3 Composition du dossier géotechnique

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique doit être également conforme aux chapitres "Informations nécessaires pour l'exécution des travaux" et "Reconnaissance géotechnique" de la norme NF EN 14199.

## 16 RABATTEMENT DE NAPPE

En complément des dispositions communes le dossier géotechnique est composé d'un mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique qui précise les points particuliers éventuellement nécessaires à la mise en œuvre du rabattement de nappe :

- informations disponibles concernant les résultats des essais de pompage ;
- cotes en contrebas desquelles doivent être maintenus les niveaux piézométriques des nappes après rabattement ;

- dimensions limites des fouilles et périmètre à l'intérieur duquel doivent être implantées les installations de rabattement ;
- durée du rabattement, compte tenu du programme général du déroulement des travaux ;
- tolérances admissibles par rapport aux cotes, dimensions limites, périmètre et durée définis ci-dessus, ces données devant servir à définir les conditions de sécurité du chantier ;
- débit maximum auquel les installations du titulaire doivent pouvoir faire face ;
- points de rejet des eaux d'exhaure ;
- conditions d'alimentation en énergie, et notamment :
  - si l'énergie est fournie par le maître de l'ouvrage ou par le titulaire,
  - la nature de l'énergie,
  - les points de branchement, avec tension et puissance disponibles,
  - s'il y a lieu, de prévoir la fourniture d'énergie de secours (raccordement à des lignes différentes, mise à disposition de groupes électrogènes, réserves de carburant, etc.) ;
- dispositions particulières concernant les eaux superficielles, en tant que de besoin ;
- dispositions à prendre s'il y a lieu de maintenir les nappes à un niveau piézométrique déterminé dans certaines zones extérieures aux fouilles ;
- sensibilité des ouvrages et des installations aux effets du rabattement dans la zone d'influence géotechnique ;
- précautions particulières à prendre si nécessaire, en fonction de la nature des couches traversées et des caractéristiques des ouvrages, pour la mise en service des installations en début de travaux et leur repli en fin de travaux.

## ANNEXE D : TEXTES DE REFERENCES

La présente annexe récapitule les textes de référence cités par le fascicule. Pour les références la date indiquée est celle de l'édition utilisée pour la rédaction du présent fascicule, mais c'est la dernière édition du document (y compris les éventuels amendements intervenus dans l'intervalle) qui s'applique.

NOTE Cette annexe a été finalisée, comme le fascicule, en août 2015. Le contexte normatif étant en constante évolution, il est conseillé au maître d'œuvre de s'appuyer sur une veille normative pour prévoir dans son CCTP les adaptations aux dispositions du présent fascicule résultant de cette évolution. Il peut s'appuyer pour cela sur le site «Référentiel Ouvrages d'Art» du Cerema.

NOM DE LA REFERENCE	DATE	PARTIE CONTRACTUELLE : citations dans le corps du texte	PARTIE NON CONTRACTUELLE : citations en annexe 3 du document
<b>TEXTES LEGISLATIFS ET REGLEMENTAIRES, CCAG, CCTG</b>			
CCAG travaux	Septembre 2009	1.3.1	
Fascicule 65 du CCTG	A paraître	1.8.1, 1.9.1.3	
<b>TEXTES NORMATIFS D'ORIGINE EUROPEENNE</b>			
NF EN 206/CN	Décembre 2014	1.8.1, 3.2.1, 4.2.1, 5.2.1, 15.3.6	
NF EN 288	Juin 1992	6.2.1	
NF EN 1008	Juillet 2003	7.2.2, 8.2.2, 15.3.4	
NF EN 1090	Février 2012	5.3.1, 6.4.2	5.1
NF EN 1536	Octobre 2010	1.2, 3.1 (cité 2 fois), 3.2.1, 3.4.1, 3.4.2.1, 3.4.2.2 (cité 2 fois), 3.6.1, 3.6.3	3.1
NF EN 1537	Avril 2000	1.2, 10.1 (cité 2 fois), 10.2.1, 10.2.2, 10.3, 10.6.2 (cité 2 fois)	10
NF EN 1538	Octobre 2010	1.2, 4.1, 4.2.1, 4.4.1, 4.4.2.1, 4.6.1, 4.6.2	4.3
NF EN 1992	Octobre 2005	1.3.2, 4.5.1.1	
NF EN 1993-5	Août 2007	6.4.1.2	
NF EN 1993-5/NA	Août 2008	6.4.1.2	
NF EN 1997-1	Juin 2005	1.3.2, 2.6.1	1.1
NF EN 1997-2	Septembre 2007	1.3.2, 11.6.3	
NF EN 12063	Août 1999	1.2, 6.1, 6.2.1 (cité 2 fois), 6.5.2	6.2
NF EN 12699	Mars 2001	1.2, 5.1, 5.2.1, 5.6.1	5.3
NF EN 12715	Octobre 2000	1.2, 7.1, 7.2.1 (cité 3 fois), 7.2.2, 7.3.1, 7.5	7 (cité 2 fois)
NF EN 12716	Octobre 2001	1.2, 8.1, 8.2.2, 8.3.1 (cité 2 fois), 8.6.2	8 (cité 3 fois)
NF EN 14199	Septembre 2005	1.2, 15.1, 15.2.1, 15.3.2 (cité 2 fois), 15.5.1, 15.5.2.1, 15.5.3	15.2 (cité 2 fois), 15.3
NF EN 14490	Septembre 2010	1.2, 9.1, 9.2.2, 9.6.2 (cité 2 fois)	9.1, 9.2 (cité 2 fois)
NF EN 14679	Septembre 2005	1.2, 11.1, 11.2.2, 11.3, 11.6.2	
NF EN 14731	Décembre 2005	1.2, 12.1, 12.2.1, 12.2.2, 12.3, 12.6.2, 13.1, 13.2.1, 13.3, 13.6.2	
NF EN 15237	Mai 2007	1.2, 14.1, 14.2, 14.3	
NF EN 25817	Novembre 1992	6.2.1	
NF EN 29692	Mai 1994	6.2.1	

<b>TEXTES NORMATIFS NATIONAUX</b>			
NF P94-040	Octobre 1993	8.2.2	
NF P94-100	Août 1999	11.2.2	
NF P94-150-1	Décembre 1999	3.2.1, 5.2.1, 15.2.1, 15.5.2	
NF P94-150-2	Décembre 1999	3.2.1, 5.2.1, 15.2.1, 15.5.2	
NF P94-151	Octobre 1993	3.2.1, 4.2.1, 5.2.1	
NF P94-153	Décembre 1993	9.2.2, 9.6.3.1, 10.2.2, 10.6.3	
NF P94-160-1	Octobre 2000	3.2.1, 4.2.1, 5.2.1	
NF P94-160-2	Novembre 1993	3.2.1	
NF P94-160-4	Mars 1994	3.2.1	
NF P94-242-1	Mars 1993	9.2.2, 9.6.3.1	
NF P94-261	Juin 2013	2.2	
NF P94-262	Juillet 2012	3.2.1, 3.3 (cité 2 fois), 3.6.4, 4.2.1, 4.3.2 (cité 2 fois), 4.6.3, 5.2.1, 5.3.2 (cité 2 fois), 5.6.4, 6.2.1, 15.2.1, 15.3.2 (cité 3 fois)	3.2 (cité 2 fois), 4.2 (cité 2 fois), 5.2 (cité 2 fois), 15.2 (cité 4 fois)
NF P94-270	Juillet 2009	9.2.2, 9.3.1, 9.6.3.1	9.2
NF P94-281	Avril 2014	2.2	
NF P94-282	Mars 2009	3.2.1, 4.2.1, 5.2.1, 6.2.1, 10.2.2, 15.2.1	
NF P94-420	Décembre 2000	8.2.2	
NF P94-425	Avril 2002	8.2.2	
NF P94-500	Novembre 2013	1.3.1 (cité 2fois)	
NF P98-331	Février 2005	2.5.4	
<b>TEXTES NORMATIFS D'ORIGINE INTERNATIONALE OU ETRANGERE</b>			
NF EN ISO 5817	Avril 2014	6.2.1	
NF EN ISO 9692	Novembre 2013	6.2.1	
NF EN ISO 15609	Janvier 2005	6.2.1	
NF EN ISO 22282	Janvier 2014	16.2.1	
NF EN ISO 22475-1	Mars 2007	16.2.1	
NF EN ISO 22477-5	Mai 2010	10.5.3, 15.5.2	
<b>LITTERATURE TECHNIQUE</b>			
Recommandations professionnelles sur le clouage : Clouterre 1991 et additif 2002	Novembre 1994 et 2002	9.6.3.1	
Recommandations professionnelles sur les tirants d'ancrage : TA 95	Septembre 1995	10.5.3, 10.6.3	