

Instruction technique du 19 octobre 1979

2^e PARTIE

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES

FASCICULE **11**

Fondations en site terrestre

Décembre 1991

Document diffusé par

le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
59, boulevard Lefebvre - 75732 PARIS CEDEX 15

le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
46, avenue Aristide Briand - 92223 BAGNEUX

Service IST-Publications
Tél. : 33 (1) 40 43 52 26
Télécopie : 33 (1) 40 43 54 98
Télex : lcpari 200361 f

Bureau de Vente :
Tél. : 33 (1) 46 11 31 53 et 33 (1) 46 11 31 55
Télécopie : 33 (1) 46 11 31 69
Télex : 260763 SETRA BAGNX

AVERTISSEMENT

Le présent document est l'un des fascicules dont l'ensemble constitue la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979. La liste de ces fascicules est la suivante :

- Fasc. 01. Dossiers d'ouvrage.
- Fasc. 02. Généralités de la surveillance.
- Fasc. 03. Mesures de sécurité — Auscultation — Surveillance renforcée — Haute surveillance.
- Fasc. 04. Surveillance topométrique.
- Fasc. 10. Fondations en site aquatique.
- Fasc. 11. Fondations en site terrestre.
- Fasc. 12. Appuis.
- Fasc. 13. Appareils d'appui.
- Fasc. 20. Zone d'influence — Accès — Abords.
- Fasc. 21. Équipements des ouvrages (protection contre les eaux — revêtements — joints de chaussée et de trottoirs — garde-corps — dispositifs de retenue).
- Fasc. 30. Ponts et viaducs en maçonnerie.
- Fasc. 31. Ponts en béton non armé et en béton armé.
- Fasc. 32. Ponts en béton précontraint.
- Fasc. 33. Ponts métalliques (acier, fer, fonte).
- Fasc. 34. Ponts suspendus et ponts à haubans.
- Fasc. 35. Ponts de secours.
- Fasc. 36. Ponts mobiles.
- Fasc. 37. Ponts en bois.

-
- Fasc. 38. Ponts en alliage léger.
- Fasc. 40. Tunnels, tranchées couvertes, galeries de protection.
- Fasc. 50. Buses métalliques.
- Fasc. 51. Ouvrages de soutènement.
- Fasc. 52. Déblais et remblais.
- Fasc. 53. Ouvrages de protection.

Cet ensemble de fascicules est élaboré, au sein du groupe chargé — sous la présidence de M. André MOGARAY, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, coordonnateur de la mission spécialisée d'inspection générale des ouvrages d'art — de l'étude de la politique générale de surveillance et d'entretien des ouvrages d'art, par un groupe de travail dans lequel sont représentés :

- Les Directions départementales de l'Équipement de l'Ain, des Alpes de Haute-Provence, du Gard, de la Moselle et du Nord.
- Les Centres d'études techniques de l'Équipement d'Aix-en-Provence, de Bordeaux, de Lille, de Lyon et de Rouen.
- Le Laboratoire central des Ponts et Chaussées.
- Le Service d'études techniques des routes et autoroutes.
- Le Centre d'études des tunnels.
- Le Service central technique des ports maritimes et des voies navigables.
- Le Centre national des ponts de secours.
- Le service du contrôle des autoroutes concédées.
- La Direction générale des collectivités locales du ministère de l'Intérieur.

Le rapporteur du présent fascicule 11 (Fondations en site terrestre) est O. Combarieu, adjoint au directeur du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Rouen.

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 – Champ d'application	5
CHAPITRE 2 – Généralités	5
2.1 – Mode de fonctionnement	5
2.1.1 – Fondation superficielle ou fondation directe sur le sol	5
2.1.2 – Fondation profonde	6
2.1.3 – Fondation mixte	7
2.1.4 – Limites du calcul	7
2.2 – Éléments d'information particuliers aux fondations à faire figurer au dossier d'ouvrage	7
CHAPITRE 3 – Notions sur les causes et la nature des désordres	9
3.1 – Causes des désordres	9
3.1.1 – Conception	9
3.1.2 – Exécution	10
3.1.3 – Événements divers intervenant pendant la vie de l'ouvrage	10
3.2 – Description des désordres	12
CHAPITRE 4 – Surveillance	14
4.1 – Particularités de la surveillance continue	14
4.2 – Visite annuelle	14
4.3 – Inspection détaillée	14
CHAPITRE 5 – Entretien	15
CHAPITRE 6 – Réparations et confortement des fondations	15
ANNEXE 1 – Documentation - Bibliographie	18
ANNEXE 2 – Modèle de document signalétique	18
ANNEXE 3 – Modèle de procès-verbal de visite annuelle	19
ANNEXE 4 – Cadre de procès-verbal d'inspection détaillée périodique	20

CHAPITRE 1

Champ d'application

Les dispositions du présent fascicule s'appliquent aux fondations en site terrestre des ouvrages de franchissement et des ouvrages de soutènement

Par « fondation », il faut entendre l'élément porteur (semelle, radier, pieux, etc.) situé sous la base d'un appui ou d'un soutènement et en contact direct avec le sol support. Cet élément peut ne pas être distinct de la structure, certains ouvrages massifs (murs poids notamment) reposant directement sur le sol.

Ces dispositions s'étendent au volume de sol agissant ou réagissant sur la fondation et appelé, dans le présent fascicule, sol support.

Une fondation est en site terrestre lorsqu'elle n'est pas soumise à l'action d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau. Dans certains cas (crue exceptionnelle), il peut y avoir lieu d'appliquer à une telle fondation la méthodologie définie pour les fondations en site aquatique par le fascicule 10 de la présente instruction.

CHAPITRE 2

Généralités

2.1 – MODE DE FONCTIONNEMENT

La surveillance et l'entretien des fondations peuvent être éclairés par la connaissance du comportement théorique de cette partie d'ouvrage. Pour faciliter la compréhension de ce comportement, les deux principaux modes de fondation sont présentés, ci-après, à partir d'exemples.

2.1.1 – Fondation superficielle ou fondation directe sur le sol

La figure 1 donne l'exemple d'un mur de soutènement. La poussée des terres qui s'exerce sur le parement arrière du mur, le poids des terres qui s'applique sur le talon de la semelle, le poids propre du mur et de la semelle se traduisent au niveau de la base de celle-ci par une force Q à laquelle s'oppose la réaction du sol sous la base de la fondation. La réaction du sol sur les faces latérales de la semelle peut être prise en compte dans le bilan des forces lorsque l'encastrement est suffisant. La fondation est définie de telle sorte que la sécurité soit assurée vis-à-vis du poinçonnement (déplacement vertical), du glissement (déplacement horizontal) et du renversement du soutènement. L'action de l'eau est naturellement à prendre en compte lorsqu'il y a présence d'une nappe phréatique.

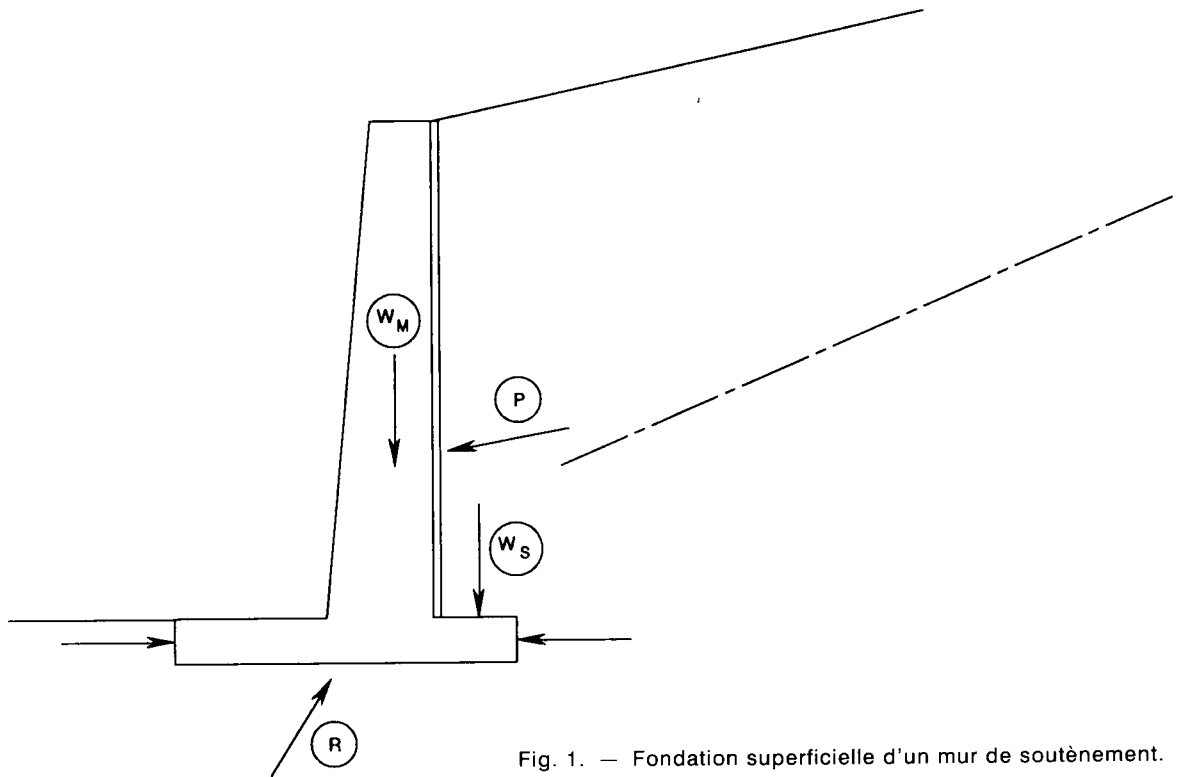


Fig. 1. — Fondation superficielle d'un mur de soutènement.

2.1.2 – Fondation profonde

La figure 2 donne l'exemple d'une culée fondée sur pieux et indique les principaux efforts auxquels peut être couramment soumise une fondation profonde.

Il est important de noter qu'aux actions liées à l'ouvrage (permanentes, variables, accidentelles) s'ajoutent les actions liées à l'eau et au sol et que, parmi ces dernières, certaines peuvent être dues aux dispositifs connexes à l'ouvrage, tels que le remblai d'accès, auquel cas elles ont en principe été prises en compte dans le calcul du projet ; mais elles peuvent aussi provenir d'aménagements voisins dont l'incidence n'est pas toujours perçue. C'est le cas notamment lorsque les pieux traversent une couche compressible, « pincée » de façon dissymétrique entre le remblai et le substratum ; cette couche se déforme et engendre un effort parasite sur les pieux dont les composantes l'une verticale appelée frottement négatif et l'autre horizontale, s'ajoutent aux actions dues à l'ouvrage et au remblai derrière la culée. Toute modification de la géométrie du sol support par apport de remblai ou par excavation au voisinage de la fondation risque d'accroître de tels efforts parasites et de mettre en péril la fondation.

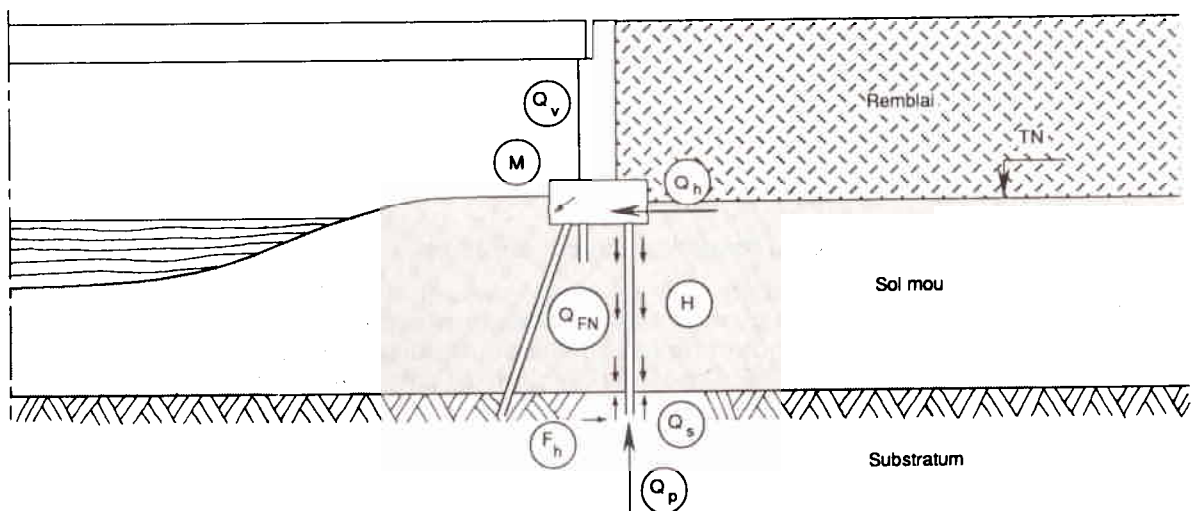


Fig. 2. — Fondation d'une culée sur pieux.

2.1.3 – Fondation mixte

Une fondation mixte est généralement constituée d'une semelle reposant sur des pieux. Dans ce cas, une certaine répartition des efforts s'opère entre les différents éléments, selon les schémas évoqués ci-dessus, en fonction de la déformabilité des différents horizons du sol de fondation.

2.1.4 – Limites du calcul

La fondation peut périr par rupture du matériau qui la constitue (béton, acier, maçonnerie, bois, etc.) ou par défaut de « capacité portante » du sol support. Cette dernière est estimée grâce aux méthodes de calcul de la mécanique des sols, dont il convient d'être conscient du caractère partiellement empirique, donc fatalement entaché d'une relative imprécision par comparaison aux règles de calcul en vigueur pour les matériaux mieux connus tels que l'acier ou le béton.

2.2 — ÉLÉMENTS D'INFORMATION PARTICULIERS AUX FONDATIONS À FAIRE FIGURER AU DOSSIER D'OUVRAGE

Le fascicule 01 de la présente instruction définit des éléments du dossier d'ouvrage spécifiques aux fondations. Les plus importants sont explicités ici, de manière à préciser les compléments à apporter à ce dossier s'il y a lieu.

Des considérations développées en 2.1, il résulte que le comportement d'une fondation dépend :

- de la nature et des caractéristiques du sol support ;
- des conditions hydrogéologiques du site ;
- de la nature et des caractéristiques de la fondation proprement dite ;
- des actions de service ou exceptionnelles.

Les principaux éléments, dont le gestionnaire ou le spécialiste ont besoin pour analyser une anomalie éventuelle de comportement, sont rappelés ci-dessous :

Les reconnaissances géologique et géotechnique sont notamment traduites par :

- les coupes de sondages, complétées par les éléments recueillis lors des travaux ;
- les résultats d'essais mécaniques de laboratoire ou en place (y compris essais de battage ou essais de chargement statique) ;
- les données hydrogéologiques, précisant en particulier les variations du niveau de la nappe ou l'existence de circulation d'eau dans le sol support.

Quel que soit le type de fondation, il est essentiel de disposer des données concernant :

- leur géométrie et leur structure : plans, coupes, plans de ferrailage ; les cotes de niveau et les coordonnées planimétriques doivent être rattachées à un levé topographique d'ensemble de l'ouvrage qui doit être réalisé, au plus tard, lors de la première inspection détaillée ;
- la résistance effective des matériaux constitutifs (béton, acier, etc.)

Plus spécifiquement, il est important de connaître :

Pour les pieux :

- nature, mode de mise en oeuvre, procès-verbaux de battage et d'essais ;
- longueur des tubages définitifs ;
- ordre d'exécution des pieux.

Pour les fondations superficielles :

- mode de blindage des fouilles ;
- débit d'épuisement ;
- procès-verbal de réception des fouilles.

Pour les fondations massives :

- conditions d'exécution et de mise en oeuvre ;
- procès-verbal de réception des fouilles.

Si, de plus, un traitement particulier du sol a été exécuté avant ou pendant la mise en place de la fondation, les données relatives à ce traitement sont indispensables. Ce sont par exemple :

a) *en cas d'injection*, les matériels utilisés, la disposition des forages, la nature et la quantité de coulis injecté, les pressions d'injection, les résultats des essais de contrôle ;

b) *en cas de purge*, la géométrie de la zone purgée, les caractéristiques du matériau de substitution.

Toutes les notes de calcul justificatives du dimensionnement des fondations sont naturellement un précieux élément de jugement.

Dans le cas d'ouvrages anciens, les éléments concernant les fondations, qui permettent notamment d'établir l'état de référence, sont souvent difficiles, voire impossibles, à retrouver. Dans un premier temps, il y a lieu de tirer parti de toute information provenant, par exemple, des reconnaissances géologiques et géotechniques qui ont pu être réalisées à proximité. Il est bon, en outre, de se familiariser avec les modes de fondation mis en oeuvre à l'époque de la construction.

S'il est envisagé des réparations, des modifications de structure ou de charge, le gestionnaire doit s'attacher à faire effectuer une reconnaissance de la nature et de l'état des fondations et du sol support, reconnaissance dont la teneur doit être définie après consultation d'un géotechnicien.

En tout état de cause, il importe de noter explicitement l'origine des informations prises en considération afin qu'il n'y ait pas d'ambiguïté sur leur fiabilité.

CHAPITRE 3

Notions sur les causes et la nature des désordres

3.1 — CAUSES DES DÉSORDRES

Les principales causes de désordres peuvent être classées comme suit :

3.1.1.- Conception

Un sous-dimensionnement de la fondation peut résulter :

- de la surévaluation de la résistance du sol ;
- de la sous-évaluation des efforts transmis, provenant notamment du sol (frottements négatifs ou poussées horizontales) (fig. 3) et de l'eau ;
- d'un mauvais choix du matériau de fondation vis-à-vis de la nature des eaux de la nappe ;
- de la mauvaise évaluation de l'étendue du sol support.

Ce sont là, en général, les conséquences d'une insuffisance, voire d'une absence, de reconnaissance.

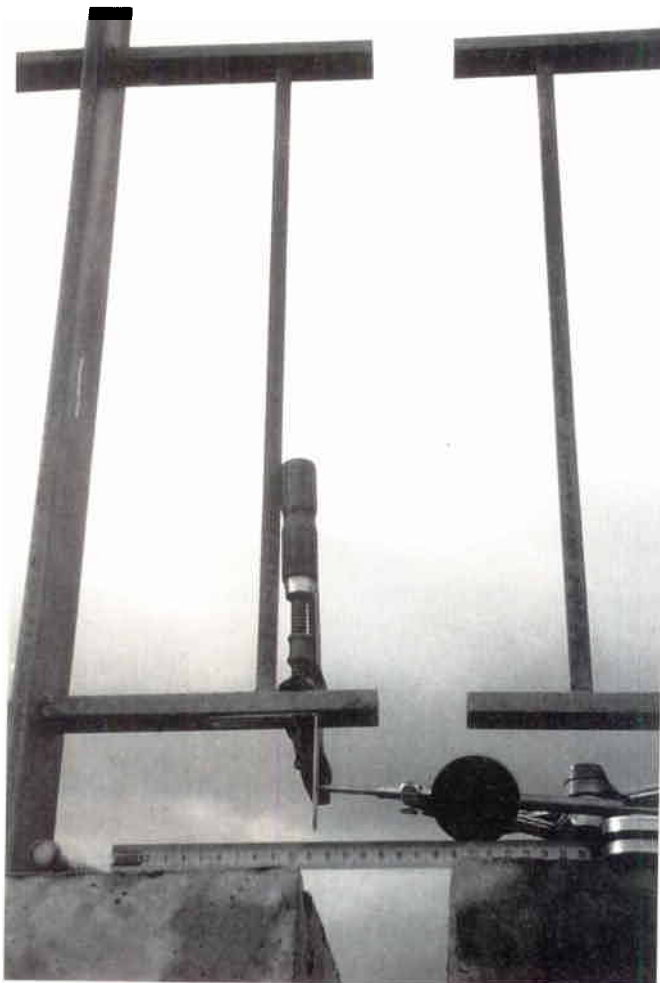


Fig. 3. — Conséquences du déplacement d'un appui sous l'effet de poussées horizontales : les pieux travaillent en flexion.

3.1.2. – Exécution

Les causes de désordres rencontrées le plus souvent à ce stade sont :

Quel que soit le type de fondation :

- la non-conformité aux plans et les malfaçons ;
- l'insuffisance de résistance des matériaux mis en œuvre.

Pour les fondations superficielles ou massives :

- le réglage du fond de fouille avec une pente défectueuse ;
- le curage défectueux du fond de fouille ;
- l'altération du fond de fouille ou des parois par mise à l'air libre sans protection sur une trop longue durée, notamment en période d'intempéries ;
- reprise de bétonnage incorrecte ;
- mauvais compactage du matériau substitué à tout ou partie du sol support.

Pour les fondations profondes :

- absence d'adaptation du projet aux accidents rencontrés dans le sol support pendant le chantier ;
- implantation incorrecte d'un pieu entraînant un excentrement des charges ;
- arrêt de battage d'un pieu sur un faux refus ;
- refus prématuré du fait des limites de la technologie à l'époque de la construction ;
- forage défectueux et/ou mauvaise mise en œuvre du béton dans le cas de pieux forés ou de barrettes ; c'est notamment le cas d'une rupture dans le bétonnage d'un pieu foré à la boue ;
- mauvais curage de la pointe de pieux ;
- protection insuffisante des armatures.

3.1.3 – Événements divers intervenant pendant la vie de l'ouvrage

Les fondations sont particulièrement sensibles aux modifications affectant les paramètres suivants :

Charges transmises à la fondation par l'ouvrage. C'est le cas notamment lorsqu'il y a :

- désordre dans la structure, pouvant d'ailleurs résulter de tassements anormaux des appuis eux-mêmes, ou évolution dans le temps de l'hyperstaticité de la structure ;
- modification provisoire ou définitive de la structure de l'ouvrage ;
- modification sensible du trafic ;
- passage de convois exceptionnels ;
- choc ;
- modification des pressions s'exerçant sur un soutènement, due notamment à une modification de la géométrie des terres retenues.

Actions transmises par le sol. De telles modifications résultent :

- de mouvements de terrain (glissement superficiel ou profond, érosion, effondrement minier ou karstique, etc.) (fig. 4) ;
- d'une surcharge au voisinage des fondations (construction à proximité, remblai d'accès à une culée, etc.) ;
- d'une excavation proche, pouvant être l'élargissement et/ou le surcreusement du lit d'une rivière, l'exécution de fouilles pour les fondations d'un autre ouvrage, etc ;
- de la variation du régime hydraulique de la nappe, par exemple rabattement de la nappe résultant de la vidange d'un bief ;

- de l'effet d'un chantier de battage ou de pilonnage intensif à proximité, vibrations ou impulsions notamment ;
- d'un séisme.

Propriétés et/ou géométrie du sol support. Cela peut prendre les aspects suivants :

- formation de cavités dans certains sols (fontis de gypse par exemple) ;
- sous-cavage par érosion de fondations en tête de talus ou de falaise ;
- altération par circulation d'eau ou infiltration de produits chimiques ;
- érosion du remblai d'une culée (fig. 5) ;



Fig. 4. --- Conséquences d'un mouvement de terrain : les culées de l'arc ont été entraînées et se sont rapprochées.



Fig. 5. — Mise à nu de la fondation d'une culée par érosion du remblai.

- injection mal conduite lors de la réparation de l'ouvrage ou d'un ouvrage voisin. Ce type d'intervention peut provoquer un soulèvement de la fondation.

Propriétés du matériau constitutif de la fondation :

- corrosion des parties métalliques (pieux, palplanches, armatures, tubages, etc.) ;
- pourrissement de pieux en bois (notamment en cas d'abaissement de nappe) ;
- dislocation de maçonnerie ou attaque du béton par des eaux agressives ;
- altération par le milieu environnant (apparition de courants vagabonds provoqués par des protections cathodiques mises en place à proximité, etc.).

3.2 – DESCRIPTION DES DÉSORDRES

Les principaux types de désordres des fondations qui peuvent se produire sont :

- les mouvements : tassements ou soulèvements, basculements, ripages (fig. 6) ;
- l'altération de la partie visible de la fondation : fissuration, rupture, dislocation ;
- la rupture de pieux ;
- le poinçonnement du sol support, soit par une fondation superficielle, soit en pointe de pieux sous l'effet d'une charge excessive (fig. 7)

C'est le plus souvent par leurs effets dans les structures que ces désordres peuvent être décelés.

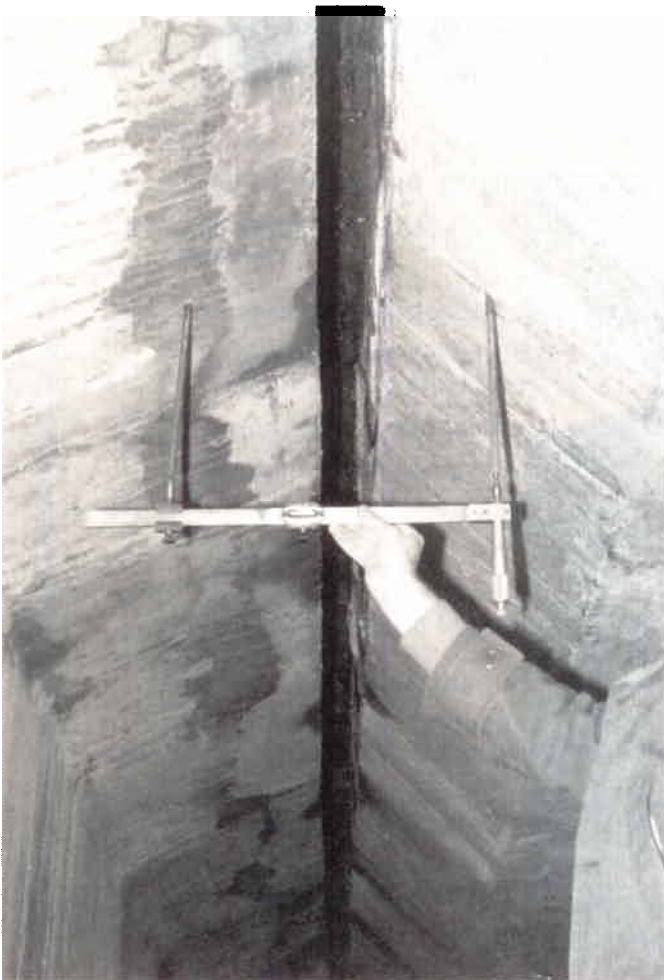


Fig. 6. — Mesure du rapprochement entre une culée et un tablier consécutif à des poussées horizontales sur les pieux.



Fig. 7. — Conséquences de frottements négatifs sur les pieux : le sol support est poinçonné et la fondation tasse.

Le tableau I indique les liens possibles entre les causes énumérées au paragraphe 3.1 et les manifestations.

TABLEAU I

	Manifestations externes				Rupture des pieux et/ou poinçonnement du sol de fondation
	Tassement	Basculement	Ripage	Altération Fissuration Rupture Dislocation	
DÉFAUTS D'EXÉCUTION - Fond de fouille défectueux - Faux refus au battage - Forage défectueux, mauvais bétonnage - Compactage insuffisant des remblais	XX XX XX XX	X XX			X XX
MODIFICATIONS INTERVENANT PENDANT LA VIE DE L'OUVRAGE 1. Modification des charges transmises par l'ouvrage 2. Modification des sollicitations transmises par le sol - surcharge au voisinage - excavation - rabattement de nappe - vibrations, pilonnage intensif - mouvements de terrain 3. Modification des propriétés du sol support 4. Modification des propriétés du matériau constitutif de la fondation	XX XX(1) X	XX X XX X	X X XX X	X X XX XX	XX X
XX Manifestations les plus courantes des désordres X Autres manifestations (1) Soulèvement possible en cas d'injection					

CHAPITRE 4

Surveillance

4.1 — PARTICULARITÉS DE LA SURVEILLANCE CONTINUE

La principale difficulté inhérente à la surveillance des fondations tient à ce que cette partie d'ouvrage est très difficilement accessible à l'examen visuel et que, lorsque des désordres apparaissent dans la structure ou à la base des appuis, les fondations peuvent être déjà largement affectées en profondeur.

La surveillance continue doit permettre de suivre les causes de ces désordres afin d'intensifier en cas de besoin la surveillance de la structure. Il faut noter tout particulièrement :

- la présence de chantiers ou de nouvelles constructions aux abords ;
- l'évolution de la topographie du terrain autour de la fondation (excavations, surcharges, érosion, mouvements de terrain, etc.) ;
- l'apparition de tout phénomène nouveau susceptible de modifier les propriétés du sol (rejet d'effluents, de produits chimiques, etc.) ou du matériau de fondation (courants vagabonds pouvant provenir de protection cathodique d'installations voisines, par exemple) ;
- tout événement susceptible de provoquer un abaissement durable de la nappe (drainage à proximité, sécheresse exceptionnelle, etc.).

Sont à noter, naturellement, les traces de désordres affectant directement le matériau de la partie visible de la fondation : dislocation de maçonnerie, trace de choc, fissures, etc.

4.2 — VISITE ANNUELLE

Outre l'examen des points mentionnés au paragraphe 4.1, la visite annuelle comporte :

- l'examen de l'état de la partie visible du sol support et de la fondation ;
- le nivellement de la fondation lorsqu'elle est implantée dans un site dont la stabilité est douteuse (versant naturel, proximité d'un talus ou d'une berge, etc.) ;
- le relevé des dispositifs éventuels de surveillance (nivelle de précision, dispositifs de mesure des déplacements de viroles de protection de pieux traversant une zone en mouvement par exemple) ;
- la vérification de l'écartement des fondations des ponts en arc ou à béquilles.

La constatation de désordres dans les structures peut amener à effectuer des relevés complémentaires portant notamment sur la géométrie des fondations.

4.3 — INSPECTION DÉTAILLÉE

La consistance des inspections détaillées périodiques ne diffère pas fondamentalement de celle des visites annuelles tant qu'aucun élément, notamment en structure, ne laisse présumer que l'état des fondations soit devenu douteux ou défectueux.

Dans ce dernier cas, et selon les dispositions du fascicule 03 « Mesures de sécurité, auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance », il doit être fait appel à un spécialiste en fondations qui définira avec le gestionnaire le programme d'investigations à mettre en œuvre.

CHAPITRE 5

Entretien

L'entretien courant des fondations vise à éviter l'érosion intempestive par les eaux de ruissellement et l'envahissement par la végétation nuisible (racines notamment).

Hormis ces opérations, l'entretien relève généralement du niveau de l'entretien spécialisé. C'est en particulier le cas de l'entretien :

- des protections cathodiques de pieux métalliques ;
- des sols supports des fondations lorsque celles-ci sont situées à proximité d'un talus ou d'une falaise dont la topographie évolue avec le temps (érosion).

CHAPITRE 6

Réparations et confortement des fondations

En cas de mise en évidence d'une défaillance des fondations, les opérations de réparation et de confortement, toujours délicates, ne sont mises en oeuvre qu'après examen complet de l'état de l'ensemble de l'ouvrage. Le projet doit être élaboré avec le concours d'un spécialiste, et les travaux doivent être confiés à une entreprise compétente.

La méthode la plus répandue est celle désignée sous le terme générique de reprise en sous-oeuvre. Elle consiste à intercaler, entre les éléments de fondation existants et le sol, des éléments de fondation nouveaux, par quelque méthode que ce soit. Deux techniques sont particulièrement développées :

- la mise en oeuvre de pieux vérinés, qui sont foncés par éléments successifs jusqu'au terrain de résistance suffisante, la réaction de fonçage étant assurée par la structure existante. L'emploi de cette technique nécessite un examen attentif des possibilités qu'offre la structure d'assurer les réactions de fonçage, afin d'éviter de provoquer des désordres. Dans la majorité des cas, une poutraison en béton armé est mise en place entre pieux nouveaux et structure ancienne ;
- l'exécution d'éléments forés de petit diamètre, appelés micropieux : cette technique, apparue dans les années 1970, consiste à exécuter un forage en petit diamètre (0,25 m au maximum) à travers toute formation, y compris béton ou rocher. Ce forage, équipé d'armatures, est rempli par injection sur tout ou partie de sa longueur. Le micropieu ainsi réalisé travaille aussi bien en traction qu'en compression. Cette méthode dérive de celle, déjà ancienne, de l'ancrage par tirants, qui peut elle-même être utilisée à titre de confortement, notamment pour la reprise d'efforts horizontaux.

Une troisième technique est précieuse lorsqu'elle permet de restituer au sol support des propriétés mécaniques suffisantes pour accepter les charges qui lui sont transmises. C'est l'injection des sols. Elle nécessite un contrôle étroit, sans lequel pourraient se produire des désordres éventuellement plus graves que ceux auxquels on cherche à remédier, tels que le soulèvement des structures sous la pression d'injection, ou des désordres sur des ouvrages voisins.

Dans tous les cas, l'attention est attirée sur la nécessité de mettre en place, pendant les travaux, un dispositif de surveillance destiné à mettre en évidence tout déplacement intempestif des appuis faisant l'objet de la réparation et des appuis voisins. Ce dispositif complète le contrôle spécifique à la technique adoptée : suivi des pressions d'injection et des volumes injectés, ou de la réaction de fonçage, selon les cas.

Annexes

ANNEXE 1

DOCUMENTATION-BIBLIOGRAPHIE

Liste arrêtée en septembre 1991

- LCPC-SETRA (1978), *Les pieux forés — Recueil des règles de l'art*, 196 p.
- CCTG, Projet de fascicule 62, Titre V, *Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil* (projet de révision du fascicule 62 de 1967).
- CCTG, Projet de fascicule 68, *Exécution des travaux de fondations d'ouvrages* (projet de révision du fascicule 68 de 1967).
- LCPC-SETRA (1985), *Règles de justification des fondations sur pieux à partir des résultats des essais pressiométriques*, 32 p.
- LCPC-SETRA (1972), *Fond 72 - Fondations courantes d'ouvrages d'art*.
- LOGEAS L. (1971), Ann. ITBTP, Chroniques de pathologie du Bureau SECURITAS et de la SOCOTEC, Série « Gros œuvre », **8**, avr. 54 p.
- BRU J.-P., DELUDE P., LAPERNA P., (1991). *Études expérimentales sur le bétonnage des pieux forés*, Études et Recherches des LPC, Série géotechnique **GT 45**, 62 p.
- CSTB (1978 - 1982 - 1983), *Document technique unifié DTU 13.2 — Travaux de fondations profondes pour le bâtiment*.
- CSTB (1988), *Document technique unifié DTU 13.1-Fondations superficielles pour le bâtiment*.
- Projet du DTU « Étude géotechnique et reconnaissance des sols ». *Revue Française de géotechnique*, févr. 1983.
- CAMBEFORT H. (1967), *Injection des sols*, tomes 1 et 2, Ed. Eyrolles, Paris.

Se reporter également à l'annexe 1 du fascicule 10 de la présente instruction, « Fondations en site aquatique ».

ANNEXE 2

MODÈLE DE DOCUMENT SIGNALÉTIQUE

Parties intéressant les fondations en site terrestre, à ajouter au modèle du fascicule concernant le type d'ouvrage.

1 — IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE (selon le modèle défini par le fascicule concernant le type d'ouvrage).

2 — CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Fondations : coupes schématiques en plan et en élévation.
- Topographie du site.
- Présence de constructions ou d'aménagements voisins de tous types, liés à l'ouvrage ou non.
- Destination des terrains immédiatement avoisinants (stockage, industrie, pompages...).

3 — CONCEPTION ET CONSTRUCTION

- Caractéristiques géotechniques (coupe schématique du profil géotechnique).
- Caractéristiques hydrogéologiques prises en compte pour la conception de l'ouvrage.
- Fondations :
 - mode de construction (type de pieux, fondations directes, batardéau, épaisements...),
 - nature des matériaux mis en œuvre,
 - incidents en cours de construction.

4 — ÉTAT DE RÉFÉRENCE — VIE DE L'OUVRAGE

Points méritant une attention spéciale lors des actions de surveillance.

ANNEXE 3

MODÈLE DE PROCÈS-VERBAL DE VISITE ANNUELLE

La visite annuelle des fondations en site terrestre étant groupée dans la majorité des cas avec celle du reste de l'ouvrage, il est établi un procès-verbal unique. Le modèle ci-dessous ne comporte donc que les constatations à faire sur les fondations. Il est à ajouter au chapitre 4 (sous-chapitre relatif aux fondations) du modèle de procès-verbal de visite annuelle figurant en annexe 3 au fascicule concernant le type d'ouvrage.

1 – 2 – 3 – (pour mémoire)

4 – CONSTATATIONS RELATIVES AUX FONDATIONS

Chaque constatation doit être localisée, décrite et accompagnée, si possible, de renseignements chiffrés, de croquis ou de photographies.

4.1 – Hydrogéologie

Modification majeure du régime hydrogéologique :

- pompages
- arrêt de pompages
- drainage
- rupture de canalisation

4.2 – Modifications naturelles des abords de l'ouvrage

- glissement
- affaissement
- érosion, ravinement
- végétation

4.3 – Modifications par suite d'interventions externes à l'ouvrage proprement dit

- constructions ou démolitions au voisinage immédiat
- excavations, déblais
- apport de remblais
- rechargement des voies d'accès
- travaux de VRD

4.4 – État de la partie visible de la fondation et de la base des appuis

- fissures
- dislocation
- mouvement caractérisé
- altération, traces de choc
- abrasion
- entraînement de matériaux

4.5 – Dispositifs de surveillance en place

- Relevé des dispositifs de mesure sur les plans de l'ouvrage à partir des documents existant dans le dossier d'ouvrage (vue en plan, en élévation ou développée).
- Vérification du fonctionnement de certains appareils de mesure et relevé de l'évolution éventuelle des ouvertures, des décrochements, tassements, basculements, hauteurs, etc.

ANNEXE 4

CADRE DE PROCÈS-VERBAL D'INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE

L'inspection détaillée périodique des fondations en site terrestre étant groupée dans la majorité des cas avec celle du reste de l'ouvrage, il est établi un procès-verbal unique. Le cadre ci-dessous ne concerne que les fondations. Ses chapitres 4 à 8 sont à ajouter aux chapitres correspondants du cadre de procès-verbal d'inspection détaillée périodique figurant en annexe 4 au fascicule concernant le type d'ouvrage.

Ce cadre ne s'applique qu'aux inspections détaillées périodiques, à l'exclusion des autres types d'inspection : inspection détaillée avant mise en service, inspection détaillée de fin de garantie, inspection détaillée exceptionnelle, pour lesquelles l'agent conduisant l'opération peut, en fonction du but recherché et des constatations effectuées, adapter et modifier le présent cadre.

L'inspection détaillée périodique valant visite annuelle, l'énumération des points à examiner, explicitée dans le modèle de procès-verbal de visite annuelle, n'a pas été reprise dans le chapitre « Constatations » du présent cadre.

1 – 2 – 3 – (pour mémoire)

4 – CONDITIONS DE L'INSPECTION PROPRES AUX FONDATIONS

4.1 – Date de l'inspection

4.2 – Équipe d'inspection :
nom(s) et fonction(s)

4.3 – Autres participants à l'inspection :
nom(s) et fonction(s)

5 – CONSTATATIONS

Le modèle de procès-verbal de visite annuelle (annexe 3) donne une énumération des points à examiner.

6 – MESURES, ESSAIS, RECONNAISSANCES EFFECTUÉES

7 – DOCUMENTS

Plans à l'échelle, photographies et dessins de détail des désordres liés ou présumés liés aux fondations.

8 – INTERPRÉTATION DÉTAILLÉE DES OBSERVATIONS EFFECTUÉES

Cette interprétation est à faire globalement pour l'ouvrage, en tenant compte de l'ensemble des observations effectuées, y compris celles qui concernent le comportement des fondations.