

Recommandations professionnelles relatives aux fondations de grues à tour

Guide professionnel

En vue de la conception, de la réalisation et du contrôle
des fondations de grues à tour

Edition 2015

Les organismes ayant participé à la rédaction de ce guide sont :



Liste des experts ayant participé :

<i>Badreddine Aissaoui</i>	<i>DEKRA</i>
<i>Philippe Baudet</i>	<i>EIFFAGE CONSTRUCTION</i>
<i>Jean Michel Bordes</i>	<i>EIFFAGE CONSTRUCTION</i>
<i>Renaud Buronfosse</i>	<i>CISMA</i>
<i>Lucia Canali</i>	<i>TEREX CRANES</i>
<i>Benoît Cayzac</i>	<i>BOUYGUES CONSTRUCTION</i>
<i>Jean Marc Froger</i>	<i>LEON GROSSE</i>
<i>Michel Glandy</i>	<i>SOLETANCHE BACHY PIEUX</i>
<i>Eric Klingenstein</i>	<i>LIEBHERR GRUES A TOUR</i>
<i>Arnaud Miton</i>	<i>MANITOWOC</i>
<i>Benoît Meunier</i>	<i>BUREAU VERITAS</i>
<i>Edouard Moreau</i>	<i>BOUYGUES BATIMENT IDF</i>
<i>Jean Marie Paillé</i>	<i>SOCOTEC</i>
<i>Wilfried Pillard</i>	<i>EGFBTP</i>
<i>Raymond Sailly</i>	<i>BOUYGUES CONSTRUCTION</i>
<i>Pierre-Eric Thévenin</i>	<i>BUREAU VERITAS</i>
<i>Pierre Vezole</i>	<i>EIFFAGE CONSTRUCTION</i>
<i>Jean Paul Volcke</i>	<i>FRANKI FONDATION / SOFFONS</i>

Avant-propos :

Une grue à tour est une machine.

Les constructeurs de grue à tour appliquent les règles ressortant des normes NF EN 14 439, actuellement, et NF EN 13001, dans un avenir proche.

L'analyse des actions et de leurs combinaisons diffère quelque peu de ce que le projeteur en charge de la justification d'une structure de bâtiment ou de pont pratique usuellement dans le cadre des Eurocodes. Par exemple, la rotation de la grue autour de l'axe vertical engendre un effort tranchant sur les fondations et une variation des efforts verticaux sur appui ; un moment autour d'un axe horizontal peut amener des efforts verticaux (par décomposition du moment de renversement sur les points d'appui) qui varient avec l'orientation de la grue.

La pratique antérieure consistait en des interprétations variables avec les interlocuteurs des données fournies par les constructeurs de grue à tour, sans concertation réelle sur les bases utilisées et l'exploitation qui en était faite ; l'ambition du présent document est de combler cette lacune en proposant une approche cohérente et consensuelle de la façon de justifier un ouvrage qui porte une grue à tour.

Ces recommandations ont pour objectif de mettre à disposition de la profession une aide au calcul et à la réalisation des fondations des grues à tour.

Sommaire

Introduction	5
A – Domaine d’application, définitions et références	6
1- Domaine d’application	6
2- Termes et définitions	6
3- Références normatives	7
B – Actions de charges des grues à tour sur les fondations	8
1- Données nécessaires	8
1.1 Actions fournies par le constructeur de grue à tour	8
1.2 Combinaisons d’actions	9
C- Conception des systèmes de fondation	12
1-Combinaisons d’actions en approche simplifiée	12
1.1 Pondération des charges	12
1.2 Cas des grues lestées	12
1.3 Cas des grues scellées	12
2-Dispositions constructives et considérations liées à la conception	13
2.1 Informations nécessaires sur les sols et reconnaissances géotechniques	13
2.2 Principes de conception	13
2.3. Durabilité	15
2.4 Dispositions relatives aux ouvrages en béton armé	15
3- Configurations particulières	16
3.1 Cas particulier de systèmes de fondations communs aux grues et à l’ouvrage fini	16
3.2 Grue reposant sur deux plots et sur la tête d’un soutènement	16
3.3 Grue reposant sur un ou plusieurs plots en tête d’un talus	17
4-Justifications à produire	17
4.1 Justification des ouvrages	17
4.2 Justification ELU des fondations	17
4.3 Justification ELS des fondations	18
Bibliographie	21

Introduction

Le présent document est établi après plusieurs réunions entre constructeurs de grues à tour, bureaux de contrôle, bureaux d'études et entreprises de construction.

Elles ont permis une connaissance réciproque des besoins, des procédures de conception et des hypothèses des uns et des autres.

L'aboutissement est cette synthèse de méthodes qui simplifient les données d'entrée, et proposent des dispositions constructives qui couvrent la plupart des configurations usuelles.

Ce document est composé de trois chapitres principaux :

- La partie A introduit le domaine d'application, les définitions et références.
- La partie B traite spécifiquement des efforts résultant de la grue à tour, et de leur considération vis-à-vis du dimensionnement des fondations, établi en concertation avec les constructeurs de grues à tour.
- La partie C intéresse les dispositions constructives et critères associées pour la conception de la fondation, résultant des échanges entre bureaux de contrôle, bureaux d'études et entreprises de construction.

A – Domaine d’application, définitions et références

1- Domaine d’application

Il existe de nombreux modes de fondation d’une grue à tour ; par exemple, appui sur massifs de type fondation superficielle, ou bien sur pieux, ou bien encastrement dans un massif en béton ; fondations qui peuvent être indépendantes ou faire partie d’une structure ; la grue peut être haubanée ou solidarisée avec une ossature ou une pile de pont au moyen de bracons ; elle peut aussi évoluer sur une voie...

Le présent document de recommandations traite des systèmes de fondation pour :

- des grues lestées dont la base est un châssis reposant sur un système de fondation, sans liaison s’opposant à un soulèvement.
- des grues scellées dont le fût est encastré dans le système de fondation.

Toutes les configurations de grues (y compris sur voie ou haubanées) peuvent s’inspirer des présentes spécifications.

2- Termes et définitions

Définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s’appliquent.

3.1 Fondation : élément structurel assurant l’interface avec le sol ; il s’agit généralement d’une fondation superficielle ou d’une fondation profonde ; la justification relève de NF EN 1997 et des normes d’application nationale.

3.2 Système de fondation : ensemble constitué de la fondation et (le cas échéant) du ou des éléments structurels compris entre la fondation et la grue.

3.3 Constructeur de grue à tour : entité en charge de la justification, de la fabrication et de la définition des conditions d’utilisation et de montage de la grue à tour.

3.4 Grue à tour : machine de levage et de manutention, à flèche orientable, avec la flèche située au sommet d’un mât, lequel reste approximativement vertical en position de travail ; cet équipement motorisé est équipé de mécanismes permettant de lever ou descendre des charges suspendues et de déplacer ces charges en modifiant la portée, l’orientation et/ou la translation de la grue ; elle peut être à montage par éléments (GME), à montage automatisé (GMA) ou rapide (GMR).

Abréviations

M = moment de flexion apporté par la grue, donné à la base de celle-ci

V : composante verticale du torseur des efforts apporté par la grue, donnée à la base de celle-ci

H : composante horizontale du torseur des efforts apportés par la grue, donnée à la base de la grue

C_t : couple de torsion apporté par la grue, donné à la base de celle-ci

d : entraxe (hors diagonale) des pieux ou distance entre barycentres des semelles d'appui, lorsque le système de fondation est constitué de fondations distinctes aux sommets d'un carré

c : distance (hors diagonale) entre pieds de scellement (largeur du fût de la grue) dans le cas des grues scellées

3- Références normatives

Les systèmes de fondation devront plus généralement être justifiés selon les Eurocodes adéquats ; à titre d'exemples :

- NF EN 1992 pour les éléments en béton armé ;
- NF EN 1993 pour les éléments en acier.

Les fondations de grues doivent être :

- calculées selon les normes de conception et de calcul (NF EN 1997, NF P 94 261, NF P 94 262...) et
- réalisées conformément aux normes d'exécution (NF EN 1536 pour les pieux forés, NF EN 12699 pour les pieux à refoulement de sol,...).

Note : il existe aussi certaines recommandations professionnelles qui sont applicables en l'absence de norme.

B – Actions de charges des grues à tour sur les fondations

Le CISMA s'est associé à la rédaction de cette partie, qui explicite les principes généraux des actions de charge des grues à tour sur leur système de fondation.



1- Données nécessaires

1.1 Actions fournies par le constructeur de grue à tour

Pour la justification des fondations, ces actions s'ajoutent à celles apportées par le système de fondation (par exemple, leur poids propre).

Note : ce système de fondation est réputé respecter des caractéristiques de fondation minimale transmises par le constructeur (par exemple : dimension et poids minimal du massif superficiel).

Les situations suivantes sont l'objet de la description de charges résultantes appliquées sur les systèmes de fondations :

- grue en service ;
- grue hors service en girouette ;
- grue hors service en situation accidentelle (voir note), grue hors service vent avant ou grue hors service vent de tout azimut, vent pris à 100 km/h ;
- grue en montage (voir note).

Note : le constructeur ne fournit pas systématiquement l'information pour les deux derniers cas. Pour le calcul de dimensionnement des fondations de la grue, les efforts pour ces deux situations sont alors présumés être couverts par les autres informations fournies.

Les forces appliquées par la grue sur le système de fondations sont fournies par les constructeurs de grue à tour sous forme de tableaux de réactions :

- les forces exercées sur le système de fondations par la grue en service résultent du poids propre, des charges déplacées, des mouvements de la grue (effets statiques et effets dynamiques), et des effets du vent dont la vitesse (généralement sous rafale maximale de 72 km/h), est compatible avec l'exploitation de la grue ;
- les forces exercées sur le système de fondations par la grue hors service en girouette résultent du poids propre et du vent maximal du site qui doit tenir compte des effets de site (influence de l'environnement et turbulences) ;
- les forces exercées sur le système de fondations par la grue hors service en situation accidentelle résultent du poids propre et du vent ;

- les forces exercées sur le système de fondations par la grue en cours de montage résultent du poids propre, des mouvements de la grue (effets statiques et effets dynamiques), et des effets du vent dont la vitesse, précisée dans la notice du constructeur de grue à tour, est compatible avec le montage de la grue (généralement compris au maximum entre 50 km/h et 60 km/h).

Pour les grues scellées, le constructeur de grue à tour indique le torseur des efforts à la base de la grue (résultante verticale, résultantes horizontales et moment de flexion, couple de torsion) ainsi que les réactions d'ancrage enveloppes exercées par la grue sur son pied de scellement (en compression et en traction).

Dans le cas courant d'une grue reposant sur un châssis, le constructeur de grue à tour indique,

- pour la grue en service, des ensembles de quatre réactions verticales, un couple de torsion autour de l'axe vertical Oz, et une réaction horizontale globale; ces ensembles de réactions sont réputés enveloppes ;
- pour la grue hors service en girouette, pour la grue en montage, pour la grue hors service en situation accidentelle, la grue hors service vent avant ou la grue hors service vent de tout azimut, les réactions verticales et une réaction horizontale globale (le couple de torsion n'existe pas).

Les valeurs fournies par le constructeur de grue à tour sont des valeurs caractéristiques.

Commentaire :

Lorsque les constructeurs de grue à tour proposent une approche globale avec une résultante des actions considérée comme une résultante unique des charges variables, les valeurs de résultantes sont considérées comme étant appropriées au calcul de fondation de grues à tour.

1.2 Combinaisons d'actions

1.2.1 Généralités

On doit considérer comme suit les actions :

- la composante verticale V du torseur à la base de la grue, comme étant une charge permanente au sens des Eurocodes, bien que cette composante puisse contenir la part amenée par la charge manutentionnée ;
- la résultante de tous les autres efforts (vent, charge statique, moment résultant du poids propre), comme étant une charge variable au sens des Eurocodes.

Pour le calcul des éléments de fondation, il convient d'ajouter, de façon appropriée, les efforts apportés par le système de fondation.

Note : Il convient ne pas oublier le cas échéant les effets du retrait, de la température et de l'eau.

Les conventions sur les combinaisons d'actions sont les suivantes :

- les résultantes de la grue en service servent dans les combinaisons des ELS fréquents et celles des ELU fondamentaux ;
- les résultantes de la grue hors service en girouette servent dans les combinaisons des ELS caractéristiques et celles des ELU fondamentaux ;
- les résultantes de la grue, en situation accidentelle (grue hors service vent avant ou grue hors service vent de tout azimut), servent dans les combinaisons des ELU accidentels ;
- les résultantes de la grue en montage servent dans les combinaisons des ELU fondamentaux.

Note 1 : Il n'y a pas de combinaisons ELS quasi permanentes à déduire des données fournies par les constructeurs de grue à tour.

Note 2 : Les valeurs simplifiées des coefficients de pondération proposés en §4.3 et §4.4 conduisent, pour certaines configurations et particulièrement lorsque le vent est dimensionnant, à des sollicitations très défavorables pour les fondations ; on peut alors recourir à tout ou partie des procédures suivantes:

- évaluer de manière plus précise les efforts et réactions d'appui à partir du profil de vent spécifique au projet (et non un profil de vent enveloppe);
- éviter les méthodes simplifiées ou enveloppes au profit de calculs plus précis ;
- mettre en œuvre des procédures d'exécution plus performantes, permettant de mieux maîtriser les caractéristiques des matériaux et les tolérances d'exécution;
- enfin, impliquer toutes les parties pour une conception plus élaborée associée à une mise en œuvre plus suivie ; cette concertation sera basée sur l'analyse des incertitudes des données et hypothèses, sans affecter le niveau de sécurité attendu, en toutes circonstances de la vie de la grue à tour.

1.2.2 Décomposition de l'action horizontale

La répartition de l'effort horizontal entre plots (le cas échéant) s'effectue selon les règles suivantes :

- pour une fondation sur semelles, cette répartition de l'effort horizontal sur les points d'appui peut être faite au prorata des charges verticales.
- pour une fondation sur pieux, en présence d'un diaphragme ou d'un dispositif équivalent (par exemple, des longrines selon les diagonales), justifié en conséquence, l'effort horizontal peut être uniformément réparti entre les pieux.
- dans tous les cas, on peut retenir la simplification d'un effort horizontal égal à :

$$T = \frac{C_t}{d} + \frac{H}{2}$$

1.2.3 Pondération des charges

Le document FEM « **Lignes directrices pour l'exploitation des charges de grues à tour sur les structures support** » (voir Bibliographie) établit les coefficients de pondération (coefficients partiels de sécurité) appropriés à chaque combinaison de charge considérée, en adéquation avec le dimensionnement de la grue elle-même.

C- Conception des systèmes de fondation

Cette partie s'appuie essentiellement sur les annexes nationales des normes européennes et sur les normes françaises qui en découlent.

Pour cette raison le CISMA n'a pas été partie prenante de cette partie dont l'élaboration résulte des échanges entre bureaux de contrôle, bureaux d'études et entreprises de construction

1-Combinaisons d'actions en approche simplifiée

1.1 Pondération des charges

La complexité des combinaisons de charges d'une grue en service et hors service est telle qu'on passe par des simplifications pour établir les justifications de résistance ELU (GEO et STR) des systèmes de fondation.

De ce fait, des coefficients de pondération des charges ont été définis en adéquation avec les simplifications retenues.

Note : l'application de ces pondérations conduit à une augmentation des actions charges résultantes de la grue de l'ordre de 10% à 15% en comparaison des actions obtenues par les pondérations présentées dans le document FEM (chapitre 4.2.3.).

1.2 Cas des grues lestées

Pour établir les justifications de résistance ELU (GEO et STR) des systèmes de fondation :

- composante verticale maximale sur un plot prise égale à 1,5 fois la composante verticale maximale annoncée par le constructeur de grue à tour;
- composante verticale minimale sur le plot résultant d'une composante verticale de grue égale à 0 ;
- composante horizontale déduite d'une répartition de la torsion et de la force horizontale totale, avec une pondération de 1,5 ;
- pondération du poids du massif de 1,35.

1.3 Cas des grues scellées

Pour établir les justifications globales de résistance ELU (GEO et STR) :

- le facteur affecté à la composante verticale du poids propre de la grue et du système de fondation est de 1,35 (ou 1 si l'effet de cette pondération conduit à une sollicitation plus défavorable pour le système de fondation) ;
- le facteur affecté à la résultante de tous les autres efforts est généralement de 1,5 pour les combinaisons ELU fondamentales ;

Dans le cas des combinaisons des ELU accidentels, le facteur affecté sera de 1.

Note : La résultante de tous les autres efforts tient naturellement compte de la transformation des moments en traction-compression en fonction de l'écartement des pieux

Pour les vérifications locales (poinçonnement et l'arrachement), on affectera aux valeurs des réactions un coefficient de 1,5.

2-Dispositions constructives et considérations liées à la conception

Ces dispositions s'entendent comme un complément aux dispositions normatives et aux instructions d'installation fournies par le constructeur de grue à tour, auxquelles elles ne se substituent en aucune manière.

2.1 Informations nécessaires sur les sols et reconnaissances géotechniques

La reconnaissance de sol doit être conforme aux spécifications des normes de dimensionnement et de calcul.

La norme sur les missions géotechniques (NF P 94-500) constitue un cadre approprié pour la constitution de cette information et la réalisation de cette reconnaissance.

2.2 Principes de conception

Lors de la conception des ouvrages de fondation de grue, il convient de :

1/ considérer que la grue est montée verticalement.

- Note : C'est-à-dire que le calcul des systèmes de fondation est effectué sans prendre en compte l'effet d'un défaut de verticalité. Aucun effet de second ordre n'est pris en compte.

2/ prendre comme hypothèse de calcul, pour les grues sur châssis, que la tolérance en plan de la pose de la grue lestée est inférieure à 10 cm.

- Note 1 : Ceci ne s'applique donc pas aux grues scellées.
- Note 2 : C'est-à-dire que le calcul des systèmes de fondation est effectué en intégrant un excentrement de 10 cm sur le point d'application de la force verticale amenée par la grue.
- Note 3 : Si la tolérance en plan ne peut être respectée (par exemple, parce que le massif de fondation est excentré sans que l'on puisse rattraper ce défaut lors du montage), il est nécessaire d'évaluer les conséquences de cette excentricité et de reprendre, le cas échéant, les calculs avec l'excentrement constaté.

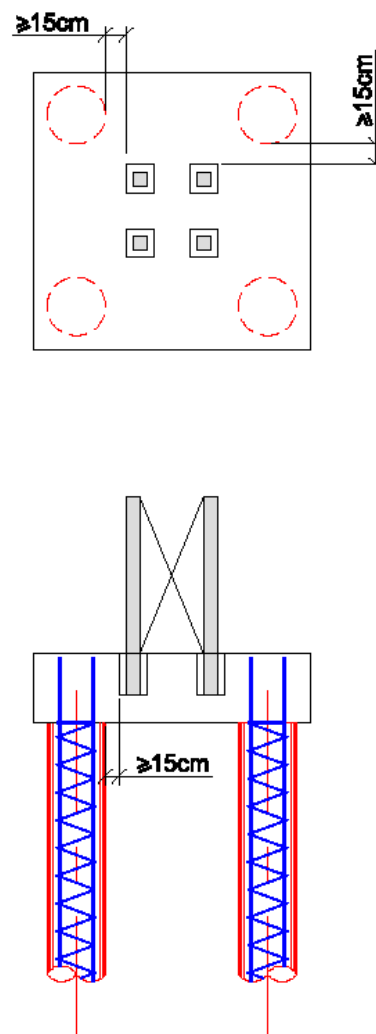
- Note 4 : Il est fortement déconseillé d'introduire dans les calculs de conception une valeur inférieure à 10 cm, qui serait en opposition avec les tolérances normales d'exécution et/ou avec la précision des autocontrôles usuels.

3/ en cas d'appui sur des massifs isolés (par opposition à un massif unique), assurer la possibilité de report d'une force horizontale depuis un plot vers les autres.

4/ dans le cas où les massifs isolés sont appuyés sur des pieux, limiter la possibilité de rotation de ces massifs sous l'action des charges transversales (charge horizontale et couple de torsion de la grue), mais aussi les conséquences de l'effet en plan de la tolérance d'inclinaison des pieux (voir note).

- Note : La tolérance en plan d'un pieu est augmentée de l'effet de la tolérance d'inclinaison sur la profondeur d'arase.

5/ Dans le cas de grues scellées dans les massifs sur pieux, il convient de positionner les pieux à l'extérieur de l'enveloppe des platines de scellement.



Pour répondre aux points 2, 3 et 4, sauf exception objet de justifications spécifiques, les quatre plots d'appui sont reliés entre eux par quatre longrines disposées en plan selon les côtés d'un carré (côté de longueur égale à la distance entre points d'appui du châssis). Les longrines, généralement en béton armé, peuvent éventuellement être des profilés en acier.

- Note : Dans ce cas, aucun moment n'est habituellement appliqué aux pieux.

Le système de fondation doit être conçu de telle sorte qu'aucun des éléments de fondation ne soit sollicité en traction sous état limite de service fréquent (voir § 6.2.1).

- Note : Lorsqu'on ne peut pas jouer sur le positionnement des appuis pour obtenir ce résultat, on est le plus souvent conduit à réaliser un massif dont la masse et la position du centre de gravité permettent de respecter cette condition.

2.3. Durabilité

Les cas de longue durée d'utilisation et/ou de milieu spécialement agressif doivent être spécifiés dès que possible, au stade de l'avant-projet.

Sauf cas de longue durée d'utilisation et/ou de milieu spécialement agressif, il n'y a pas lieu de tenir compte de la durabilité des matériaux constitutifs des systèmes de fondation.

- Note : Cela se traduit, par exemple, par l'absence de prescription en matière de classe d'exposition pour les bétons et par la non prise en compte de la corrosion des éléments métalliques.

2.4 Dispositions relatives aux ouvrages en béton armé

2.4.1 Spécifications pour les fondations profondes

Pour une fondation sur pieux, ces derniers sont obligatoirement armés au moins sur 6m en tête ou toute hauteur pour des pieux plus courts, au minimum requis par les normes d'exécution.

La liaison entre la tête de pieu et la structure est généralement une rotule (le pieu est calculé comme libre en tête, soumis à un effort horizontal et vertical, mais à aucun moment).

2.4.2 Spécifications pour les longrines

Les longrines sont conventionnellement armées sur la base d'un calcul en flexion composée, avec un moment de flexion égal à plus ou moins 10 cm multiplié par la charge verticale maximale de calcul, et une traction égale à l'effort horizontal maximal.

Pour les longrines en béton armé, on applique les conditions de non-fragilité en flexion simple telles que définies dans la norme NF EN 1992 (art. 9.2.1.1).

2.4.3 Spécifications pour les pieds de scellement

On doit respecter les longueurs de scellement données par les constructeurs de grue à tour pour les pieds des grues scellées.

Cela ne dispense pas de justifier le béton armé à l'arrachement et au poinçonnement sous les efforts donnés par le constructeur pour ce pied de scellement.

- Note : En l'absence de la fourniture par le constructeur de la grue des réactions d'ancrage (traction, compression), une valeur peut être obtenue à l'aide des formules suivantes :

- Cas 1 :

$$\frac{V}{4} \pm \frac{M}{2c}$$

- Cas 2 :

$$\frac{V}{4} \pm \frac{M}{c\sqrt{2}}$$

3- Configurations particulières

3.1 Cas particulier de systèmes de fondations communs aux grues et à l'ouvrage fini

Les systèmes de fondations doivent être justifiés vis-à-vis des 3 configurations suivantes :

- action amenée par la grue seule ;
- action amenée par l'ouvrage seul ;
- action concomitante de la grue et de l'ouvrage.

Il est nécessaire d'établir une étude détaillée des conditions de charges des actions concomitantes.

A défaut d'une étude plus précise de ces conditions de charges concomitantes, une contribution de l'ouvrage à hauteur de 90% de la charge permanente de l'ouvrage fini et de 50% de la charge d'exploitation de l'ouvrage fini peut être retenue.

3.2 Grue reposant sur deux plots et sur la tête d'un soutènement

Les dispositions constructives de liaisons entre appuis restent indispensables ; la liaison entre points d'appui sur soutènement doit être adaptée à la technologie du soutènement.

L'application d'efforts verticaux à proximité d'une paroi entraîne une pression horizontale sur celle-ci. Cette pression vient s'ajouter aux efforts horizontaux directement amenés par la grue. Ces efforts doivent être pris en compte dans le dimensionnement du soutènement.

L'application d'efforts verticaux sur la paroi peut aussi demander une vérification du flambement de celle-ci, et entraîner une augmentation de la réaction horizontale des appuis intermédiaires qui s'opposeraient à ce flambement.

Note : Ce dernier point, difficile à modéliser, doit être abordé avec précaution.

Les déformations qui en découlent doivent être compatibles avec la finalité du soutènement tant en phase provisoire qu'en phase définitive.

Par ailleurs, ces déformations peuvent entraîner des déformations du sol sous la grue ; il faut alors vérifier que les déformations verticales relatives entre appuis restent inférieures aux valeurs admissibles (voir art. 7.3.1).

3.3 Grue reposant sur un ou plusieurs plots en tête d'un talus

La géométrie de ce talus est une donnée d'entrée du dimensionnement, tant dans le cas de fondations superficielles pour des problèmes de portance, que dans le cas de fondations profondes pour des problèmes de reprise des efforts horizontaux.

Ce cas doit être spécifié dès que possible, au stade avant-projet.

4-Justifications à produire

4.1 Justification des ouvrages

On se référera aux Eurocodes pertinents pour justifier les ouvrages compris entre les fondations et la grue elle-même (par exemple les longrines, un massif sur pieux, ou encore assurer la vérification au poinçonnement d'un massif soumis à des efforts localisés aux ancrages d'une grue scellée).

Note : sauf spécification particulière, les sollicitations sismiques ne sont pas prises en compte.

4.2 Justification ELU des fondations

4.2.1 Généralités

Les vérifications ELU suivantes doivent être produites :

- vis-à-vis d'un défaut de résistance du terrain (GEO) ;
- vis-à-vis d'un défaut de résistance structurale des fondations (STR) ;

- vis-à-vis de la stabilité d'ensemble (STA) ;
- vis à vis des déformations (cas des stabilités de forme) (STR).

Note 1 : L'utilisation de la grue s'accompagne souvent d'une variation notable de son environnement ; il peut donc être nécessaire de fournir plusieurs vérifications correspondant à différentes phases critiques de la construction ; par exemple, si la grue est à proximité d'un soutènement lui-même provisoire.

Note 2 : Il est rappelé qu'une grue apporte toujours un effort horizontal et que la justification doit tenir compte de l'inclinaison de la charge, en particulier pour les fondations superficielles.

Note 3 : Les cas de rupture envisagés pour l'ouvrage en construction lui-même peuvent ne pas être pertinents pour le système de fondation de la grue ; par exemple, une grue dans une fouille inondable en phase travaux n'est pas obligatoirement soumise au phénomène UPL.

Sauf précision contraire, disposition spécifique ou conception adaptée, les actions géotechniques sont les mêmes pour les fondations de grue que pour l'ouvrage.

4.2.2 Cas d'un massif unique fondé superficiellement

En raison du caractère cyclique de la sollicitation du sol et compte tenu de la simplification adoptée pour la présentation du torseur des efforts fourni par le constructeur de grue à tour, on doit vérifier pour la combinaison ELU fondamentale :

- pour un massif rectangulaire de largeur B et de longueur L :

$$\left(1 - 2 \times \frac{e_B}{B}\right) \times \left(1 - 2 \times \frac{e_L}{L}\right) \geq \frac{1}{5}$$

Note : e est l'excentricité de la résultante des actions

4.2.3 Cas des fondations par pieux

On dimensionne le pieu à l'ELU en appliquant la norme des fondations profondes.

On admet que les justifications à l'ELS couvrent le risque d'une dégradation progressive du frottement axial résistant disponible le long des pieux sous l'effet des chargements cycliques correspondant à l'exploitation de la grue.

4.3 Justification ELS des fondations

4.3.1 Généralités

Les fondations d'une grue doivent présenter une raideur verticale suffisante pour que l'inclinaison induite par une dénivellation d'appui sous l'effet des charges reste limitée.

Les calculs justificatifs doivent ainsi vérifier que la dénivellation théorique par tassement différentiel entre 2 points d'appuis est inférieure ou égale à 1/500^e sous combinaison ELS fréquent.

Note 1 : Il est rappelé que la grue est réputée parfaitement horizontale à la fin du montage ; cette dénivellation maximale ne s'ajoute pas à une dénivellation initiale.

Note 2 : Il est rappelé que les méthodes d'évaluation des tassements ne permettent pas d'obtenir une précision supérieure au centimètre ; cette évaluation est rendue délicate par la variation en plan et en profondeur des caractéristiques des sols ; les chargements cycliques peuvent augmenter le degré d'incertitude.

En cas de doute et si la précision du calcul n'est pas satisfaisante, il conviendra de mettre en œuvre des mesures et un suivi spécifique sur site.

Note : Un contrôle périodique de déplacement d'appui, à mettre en œuvre selon une période brève (intervalle entre deux mesures n'excédant pas une semaine) convient pour apprécier ce risque.

Lorsque la vérification (par exemple en portance) ou le calcul (par exemple en contraintes) sont requis à l'ELS quasi-permanent, il convient d'utiliser les sollicitations fournies par les combinaisons fréquentes issues des constructeurs de grue à tour.

4.3.2 Cas des fondations profondes

Il est rappelé que, dans le cas de grue en service, à ELS fréquent, on n'accepte pas de traction dans le pieu.

Note 1 : Lorsqu'il n'est pas possible de réaliser un massif en béton permettant de respecter cette spécification pour des raisons d'encombrement de chantier (cas des grues scellées), on admet de faire travailler le pieu en traction (dans la limite de 15% de la résistance limite de traction du pieu) sous réserve des conditions suivantes:

- le frottement axial n'est pas pris en compte sur les 5 premiers mètres au minimum (donc le pieu est long) ;
- le bon comportement dans le temps du pieu est vérifié par recours à la méthode observationnelle (par contrôle périodique de déplacement d'appui).

Note 2 : Cette méthode repose sur le suivi des déformations ; le critère d'alerte sera atteint lorsqu'à cycle de chargement identique il sera observé une amplification des déformations.

4.3.3 Cas d'un massif unique fondé superficiellement

En raison du caractère cyclique de la sollicitation du sol et compte tenu de la simplification adoptée pour la présentation du torseur des efforts fourni par le constructeur de grue à tour, on doit vérifier pour les combinaisons à l'ELS fréquent (grue en service) et l'ELS caractéristique (grue hors service) :

- pour une semelle ou un massif rectangulaire de largeur B et de longueur L :

$$\left(1 - 2 \times \frac{e_B}{B}\right) \times \left(1 - 2 \times \frac{e_L}{L}\right) \geq \frac{1}{2}$$

Note 1 : e est l'excentricité de la résultante des actions.

Note 2 : Il est rappelé qu'une grue apporte toujours un effort horizontal et que la justification doit tenir compte de l'inclinaison de la charge, en particulier pour les fondations superficielles.

Bibliographie

Références normatives :

- NF EN 1536, *Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Pieux forés*
- NF EN 1992, *Eurocode 2 : Calcul des structures en béton*
- NF EN 1993, *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier*
- NF EN 1997, *Eurocode 7 : Calcul géotechnique*
- NF EN 12699, *Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Pieux avec refoulement de sol*
- NF EN 13001, *Appareils de levage à charge suspendue - Conception générale*
- NF EN 14439, *Appareils de levage à charge suspendue - Sécurité - Grues à tour*
- NF P 94-261, *Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles - Calcul géotechnique*
- NF P 94-262, *Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes*
- NF P 94-500, *Missions d'ingénierie géotechnique - Classification et spécifications*

Autre document :

« **Guidelines for considering tower crane loads on supporting structures ; Lignes directrices pour l'exploitation des charges de grues à tour sur les structures support** », Fédération Européenne de la Manutention (FEM), http://fem.uniweb.be/data/File/2014_02_Tower_cranes_loads_on_supporting_structures.pdf.