

Sommaire

	AVANT-PROPOS	7
1	INTRODUCTION	11
2	NOTATIONS ET SYMBOLES UTILISÉS (EC 2)	13
3	FIXONS LES LIMITES	21
4	TYPES DE GRUE ET CONFIGURATIONS POSSIBLES	23
5	DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS DE GRUES	29
5.1	Fondations superficielles isolées.....	30
5.2	Fondations semi-profondes.....	35
5.3	Fondations sur radier.....	38
5.4	Fondations profondes (pieux).....	40
6	EXEMPLES D'APPLICATION POUR LES GRUES À CHÂSSIS LESTÉS	45
6.1	Fondations isolées superficielles.....	45
6.2	Fondations sur radier.....	68
6.3	Fondations semi-profondes.....	98
6.4	Fondations profondes.....	122
	BIBLIOGRAPHIE	133

Avant-propos

Après avoir passé plus de 10 ans chez Bureau Veritas, bureau de contrôle où je m'occupais, entre autres, des fondations de grues, j'ai pu constater que certains bureaux d'études techniques de béton armé présentaient des lacunes dans le domaine du dimensionnement des fondations de grue. La documentation qui traite de ce genre d'ouvrage est limitée

Aujourd'hui, ma fonction d'ingénieur conseil m'exhorte à écrire ce livre pour rendre la tâche de calcul des fondations de grues moins ardue. Je propose ainsi quelques exemples d'études de fondation de grues lestées.

Ce livre est destiné aux ingénieurs d'études en béton armé, aux entreprises de gros œuvre en génie civil et bâtiment ainsi qu'aux étudiants en génie civil et bâtiments.

CHAPITRE 1

Introduction

La bibliographie sur les fondations des grues à tour n'est pas très fournie et il existe peu de référentiel qui leur est spécialement dédié.

Les documents qui servent de référence sont les suivants :

- la recommandation R406 de la CNAMTS (Caisse nationale d'Assurance Maladie pour la protection des travailleurs salariés) ;
- les règles FEM 1004 ;
- les recommandations professionnelles relatives aux fondations de grues à tour (2015).

Pour le calcul des fondations, nous nous référerons aux Recommandations professionnelles relatives aux fondations de grues à tour (édition 2015), à la norme européenne NF EN 1997-1, à la norme NF P 94-500, au DTU 13.12, au *Fascicule 62, titre V*, et enfin au Guide pratique des fondations des remontées mécaniques (CEBTP et STRM, 1993).

Pour le fonctionnement de la grue, nous conseillerons le Manuel de sécurité à l'usage des conducteurs et du personnel d'entretien (INRS, avril 2005) et L'approche de vérification des fondations de grues à tour (Bureau Veritas, décembre 2008).

CHAPITRE

3

Fixons les limites

Comme dans toutes choses, on doit se fixer des limites, quitte à les dépasser une fois arrivé !

Dans ce qui suit, parmi les limites que nous nous fixons :

- Combinaisons fondamentales

En partant de la relation générale :

$$\sum_j (\gamma_{G,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}) + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}), \text{ nous utilisons } (1,35 * G + 1,5 * Q)$$

- ρ = masse volumique du béton

Nous prenons :

- pour les plots sur radier : $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$
- pour la semelle superficielle (et le radier) : $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$
- pour les longrines et les dés de pieux : $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$
- pour le gros béton : $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$

Nous supposons que la semelle de fondation n'est sollicitée par l'effort horizontal que dans une direction principale, donc sollicitée par le moment dans un seul sens.

L'hypothèse ci-dessus nous permet d'écrire : $S' = B * B'$. Pour la simplification des calculs, nous prenons la largeur B' à la place de la surface S' .

Dans le cas des grues scellées, c'est l'entraxe entre les pieds hors diagonale (de scellement) de la grue.

- béton : $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$

- diagramme simplifié des contraintes de compression sur le béton de hauteur $\lambda * X_u$ avec $\lambda = 0,8$; $\epsilon_{bc}^{o/00} = 3,5$
- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435$ MPa avec diagramme de palier horizontal. Le ferrailage est déterminé suivant la méthode du moment réduit limite. Si $\mu_{bu} \leq 0,372$, alors l'acier est bien utilisé : $\sigma_s = f_{yd} = 435$ MPa ; si $\mu_{bu} > 0,372$, nous introduisons les armatures comprimées et nous continuons à utiliser : $\sigma_s = \sigma_{sc} = f_{yd} = 435$ MPa
- enrobage des armatures principales :
c = 3 cm si gros béton ou c = 6 cm si semelle coulée en pleine fouille.

N.B. : Nous arrondissons les nombres dans la mesure du possible, selon le principe suivant :

- 3 décimales pour les nombres inférieurs à l'unité : 0,372 ;
- 2 décimales pour les nombres inférieurs à la dizaine : 3,14 ;
- 1 décimale pour les nombres inférieurs à la centaine : 16,7 ;
- les nombres supérieurs à la centaine sont arrondis à l'unité supérieure la plus proche : 435.

CHAPITRE

4

Types de grue et configurations possibles

Nous distinguons deux grandes familles de grues à tour :

- les grues lestées ;
- les grues scellées.

Les **grues lestées** ont les pieds posés sur la fondation ; une masse suffisante qui fait office de lest s'appuie sur les pieds de la grue et lui apporte un poids suffisant pour rétablir l'équilibre qui risque de se perdre avec les différentes positions des charges induites par la grue ou par son fonctionnement (en présence de vent ou non).

Les **grues scellées** ont les pieds encastrés dans la fondation, laquelle est dimensionnée pour reprendre le poids de la grue et les différentes actions s'exerçant sur la grue (vent, soulèvement et déplacement des charges, etc.).

Voici les éléments nécessaires pour mener le calcul des fondations de grue :

- plan d'installation du chantier (PIC) : vue en plan, coupes... ;
- rapport géotechnique du sol le plus près de la fondation, voire sous la fondation envisagée pour la grue ;
- caractéristiques de la grue : hauteur sous crochet, flèche... ;
- efforts de vent appliqués sur la grue, tenant compte de la présence éventuelle des effets de site ;
- efforts verticaux transmis aux appuis de la grue.

Le fonctionnement d'une grue est conditionné par la vitesse du vent : si le vent ne dépasse pas la vitesse de 72 km/h, la grue peut fonctionner. Mais une fois cette

vitesse dépassée, la grue est arrêtée et mise en girouette. Cette vitesse limite est réduite si les charges soulevées présentent une résistance importante au vent.

Pour le dimensionnement des fondations, nous nous référons à la vitesse de vent d'une période de retour de 50 ans (vitesse maximale instantanée sur 3 secondes mesurée à 10 m). Et nous considérons deux configurations : vent en service noté W_{ES} et vent hors service noté W_{ES} ; de plus, seuls les profils de vent avec une période de retour de 50 ans doivent être pris en compte.

Le vent hors service (grue en girouette) doit tenir compte, dans son évaluation, des éventuels effets de site.

Il est rare que le constructeur fournisse des informations sur les cas de grue hors service en situation accidentelle, grue hors service vent tous azimuts (vitesse de vent de 100 km/h) et les cas de grue en montage. Toutefois, les efforts induits dans ces situations sont considérés comme couverts par les autres informations fournies.

Les fabricants de grues utilisent des profils de vent pour ne pas avoir à calculer les grues pour toutes les vitesses possibles de vent (figure 4.1).

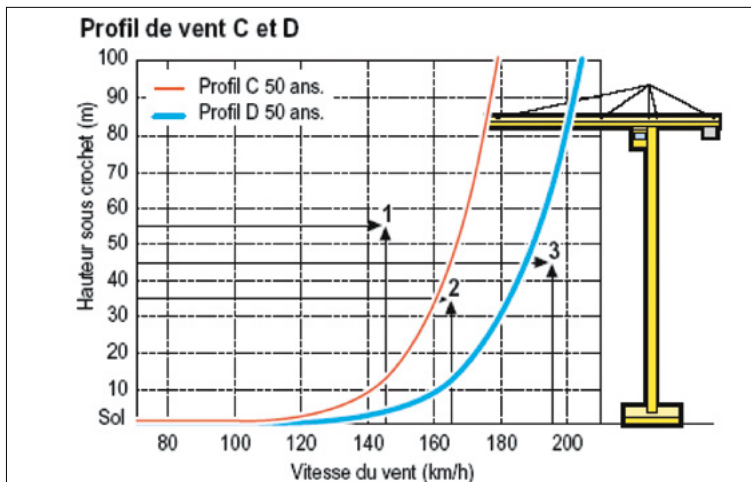


Figure 4.1 Profil de vent C et D

Toute grue dont la vitesse de vent est inférieure à celle donnée par le profil C doit être calculée pour la vitesse du profil C. C'est un minimum.

La vitesse de vent varie avec la hauteur ; la figure donnée par les R406 ne sert pas à extrapoler la vitesse de vent à une hauteur donnée, mais uniquement à définir le profil de vent correspondant à la position d'un point sur cette figure.

Le fabricant de la grue fournit, sous la forme de tableaux, les charges reprises par la grue. Elles sont données sous la forme de réactions d'appui, pour des combinaisons non pondérées des différents cas de charges en situation de grue en service ou hors service, à la base de la grue.

Le moment d'orientation C_{\max} (grue en service) (moment de torsion) est fourni par le fabricant de la grue, en dehors du tableau des charges.

Dans le cas d'une grue sur châssis, la répartition des charges est étroitement liée à la hauteur de la grue : plus la hauteur est grande, plus la résultante des charges est centrée. Mais généralement, on prend la répartition 2/3 (arrière) - 1/3 (avant).

Dans ces combinaisons de charges, on retrouve le poids propre, le vent et le lest.

L'effet du vent est donné sous forme de charge horizontale, ainsi qu'un couple de torsion C_{\max} (lié au fonctionnement de la grue). Cette valeur est nulle si le vent est hors service.

L'effort horizontal est proportionnel à la charge verticale reprise par la semelle, que l'on peut écrire : $F_{Hi} = (V_i / \sum V_j) * T_{\max}$

Dans le cas d'une grue qui s'appuie sur des fondations isolées, la disposition des points d'appui apparaît généralement sous la forme d'un carré. Aussi, quand la grue est en diagonale, l'effort horizontal est : $H_w / 2 + C_{\max} / (d * \sqrt{2})$. Toutefois, le maximum n'étant pas toujours atteint quand la grue est en diagonale, on prend pour évaluer l'effort horizontal maximal : $H_w / 2 + C_{\max} / d$ (approche de sécurité).

- Pour les **radiers**, étant donné que les quatre pieds de la grue sont sur la même fondation, le moment de torsion n'a pas d'influence sur le moment à la base du radier, car C_{\max} engendre deux forces horizontales égales et de sens contraires. Nous avons : $F_{H\max} = H_w$
- Dans le cas des **semelles sur pieux**, la disposition des pieux sera sous forme carrée et en présence d'un diaphragme (ou dispositif équivalent liant les pieux entre eux en diagonales) :

$$F_H = \frac{1}{2} * (H_w / 2 + C_{\max}) \text{ et } H_w = \sqrt{(H_{w1}^2 + H_{w2}^2)}$$

Les fabricants recommandent, pour le bon fonctionnement de la grue, le tassement différentiel entre 2 points d'appui $w \leq 1 / 500$.

Le degré de sécurité pour le calcul des fondations est le même que celui des bâtiments. On utilise donc les mêmes coefficients de sécurité sur les matériaux.

Deux cas seront étudiés :

- la **grue en service** (vitesse de vent $V \leq 72$ km/h) ;
- la **grue hors service** en girouette (vitesse de vent $V > 72$ km/h).

Le calcul de la contrainte au sol doit tenir compte de l'effort horizontal dû au vent.

Pour cela, on peut utiliser les digrammes qui donnent la valeur du coefficient minorateur suivant l'inclinaison de la charge (voir DTU 13.12 art. 3.22, fascicule 62 V, annexe F).

Tableau 4.1

TYPE DE SOL	i_{δ}
Sols cohérents : (argiles, limons, craie, marnes, marno-calcaires) et roches	$\Phi_1(\delta) = (1 - \delta / 90)^2$
Sols frottants : sables et gravés	$\Phi_2(\delta) = (1 - \delta/90)^{2*} (1 - e^{-(D_0/B)}) + (\max[(1 - \delta/45); 0])^{2*} e^{(D_0/B)}$

Les fonctions Φ_1 et Φ_2 sont usuellement représentées à l'aide de l'abaque suivante :

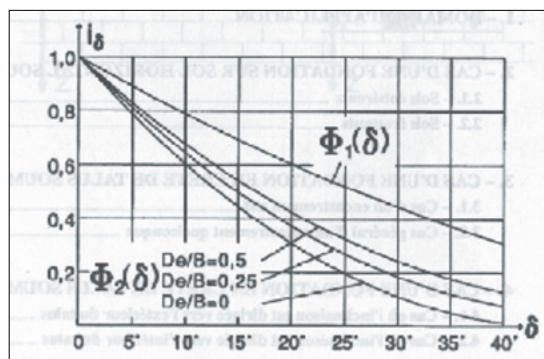


Figure 4.2 (Source : Fascicule 62, livre V)

i_{δ} : coefficient minorateur en fonction de l'inclinaison de la charge.