

LES FONDATIONS

On appelle fondation, la partie d'un ouvrage reposant sur un terrain d'assise auquel sont transmises toutes les charges permanentes et variables supportées par cet ouvrage.

1°) Fonctions des fondations :

Généralité :

Elles doivent reprendre les charges supportées par la structure et les transmettre au sol dans de bonnes conditions de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage.

Différentes fonctions des fondations :

Assurer la stabilité de l'ouvrage et des fondations

- Les tassements du terrain d'assise ne doivent pas autoriser de désordres graves des fondations et de l'ouvrage.

Limitation des tassements compatibles avec l'utilisation de l'ouvrage (ordre de grandeur : quelques mm de 5 à 25 mm)

- Éviter ou, au pire, limiter les tassements différentiels.
- Tenir compte de la présence d'eau dans le sol (poussée d'Archimède)

Vérifier que les poussées d'Archimède soient inférieures au poids de l'ouvrage (rare) sinon prévoir un ancrage du bâtiment par tirants ou prévoir un lestage.

- L'ouvrage ne doit pas se déplacer sous l'action des forces horizontales ou obliques appliquées à la structure (vent, poussées des terres, poussée hydrostatiques)

Prendre les dispositions constructives adaptées à chaque cas (utilisation de bûches, frottements sol/béton suffisant, tirants ou clous,...)

- Éviter les glissements de l'ouvrage pour les constructions réalisées sur un terrain en pente et ne pas charger les semelles avoisinante avec la semelle étudiée.

Pente maximale entre semelles de fondations de 2/3 (env. 30°)

- Drainage périphérique

LES FONDATIONS

Assurer la résistance des massifs de fondations

- Les actions qui sollicitent les fondations ne doivent pas entraîner leur rupture

Respecter les règles en vigueur et le dimensionnement correct des fondations en fonction du type de l'ouvrage, des charges et surcharges supportées par la structure, de la nature du terrain, du type de fondations et des matériaux employés

Vérifier la résistance du terrain de fondations

- Les actions qui sollicitent le sol de fondations ne doivent pas entraîner son poinçonnement ni des déformations incompatibles avec l'utilisation de l'ouvrage supporté

Respect des règlements en vigueur. L'étude des comportements du sol fait l'objet de la mécanique des sols (DTU 13.1)

S'assurer de la durabilité des fondations

- La résistance des massifs de fondations doit être assurée pendant toute l'existence de l'ouvrage

Les massifs de fondation doivent être protégés de l'oxydation, de l'érosion, de la décomposition chimique, de l'action du gel. Le sol devra être stable à l'érosion, au glissement de terrain, à la dissolution de certaines particules dans l'eau (gypse,...), au gel.

Trouver la solution la plus économique

- On recherchera des solutions qui seront les plus économiques en fonctions du type d'ouvrage, des préconisations de l'étude de sols, de l'accessibilité au terrain (engins TP, de forage,...)

2°) Différents types de fondations :

Il existe quatre catégories de fondations :

- Les fondations superficielles
Lorsque les couches de terrain capables de supporter l'ouvrage sont à faible profondeur : semelles isolées sous poteaux, semelles filantes sous murs, radiers.
- Les fondations profondes
Lorsque les couches de terrain capables de supporter l'ouvrage sont à une grande profondeur : puits, pieux

LES FONDATIONS

- Les fondations spéciales

Colonnes ballastées : Il s'agit de colonnes de pierres ou de graves cimentés que l'on intègre dans le sol et sous des semelles isolées par exemple.

- Les fondations surfaciques ou radier

L'emploi d'un radier se justifie lorsque la contrainte admissible à la compression du sol est faible, que le bon sol est situé en trop grande profondeur, les autres types de fondations transmettraient au sol des contraintes trop élevées, l'aire totale des semelles est supérieure à la moitié de l'aire du bâtiment, les charges apportées par l'ensemble du bâtiment ne risque pas d'entraîner des tassements différentiels incompatibles.

Le ferrailage d'un radier est particulier, les aciers tendus se situent en partie haute de la dalle, les points d'appuis deviennent les murs, les longrines de redressement (situées au droit des ouvertures) et les longrines.

il existe quatre types de radiers :

- Le radier dalle plate (le plus courant)
- Le radier nervuré
- Le radier champignon sous poteaux
- Le radier voûte

Lorsque le radier est enterré et que la présence d'eau est possible, il conviendra de faire un cuvelage (radier de fosse ascenseur,...).

Lorsque le radier est soumis à des poussées d'Archimède, il faut vérifier que ces poussées ne dépassent pas le poids de l'ouvrage. Dans le cas contraire, il faudra lester de manière à équilibrer les forces.

Si le dessus du radier est au ras du sol, il faudra réaliser une bêche périphérique de manière à assurer la mise hors gel de l'ouvrage.

3°) Les tassements différentiels :

Les tassements différentiels entraînent des désordres dans des ouvrages. C'est pourquoi on veillera à respecter les quelques règles qui suivent :

Il est vivement déconseillé de réaliser des fondations sur un terrain remblayé. On prendra les dispositions nécessaires pour descendre les fondations au bon sol.

On ne fonde pas un ouvrage sur sol dont les caractéristiques sont très différentes

LES FONDATIONS

On prévoira un joint de dilatation dans un ouvrage composé de bâtiments de hauteur différentes (immeuble haut et immeuble bas).

Dans le cas d'un bâtiment avec deux types de fondations, on les divisera avec un joint de dilatation . On restera vigilant sur les deux types de fondations avoisinant (l'un pouvant charger l'autre : en tenir compte dans les calculs).

Dans le cas d'un bâtiment fondé sur un terrain incliné, la pente entre les fondations voisines aura un rapport mini de 3/2. Si l'angle est supérieur à 3/2, il faudra donc descendre la semelle la plus haute de manière à atteindre ce rapport.

4°) Facteurs de choix du type de fondation :

- La nature de l'ouvrage à fonder : pont, bât. d'habitation, bât industriel, soutènement,....
- La nature du terrain : connaissance du terrain par sondages et définition des caractéristiques
- Le site : urbain, campagne, montagne, bord de mer,...
- La mise en oeuvre des fondations : terrain sec, présence d'eau,...
- Le type d'entreprise : matériel disponible et compétences,...
- Le coût des fondations : facteur important mais non décisif.

5°) Origines des accidents pouvant survenir aux fondations :

Les accidents survenus aux fondations sont souvent liés aux mauvais choix du type de fondations et même à l'entreprise qui les avait réalisés

Les fondations superficielles :

Fondations assises sur des remblais non stabilisés

Fondations ayant souffert de présence d'eau dans le sol (nappe phréatique,...)

Fondations hétérogènes (terrain, type de fondation,...)

Fondations réalisées en mitoyenneté avec des bâtiments existants (sol décomprimé, règles des 3/2,...)

Fondations réalisées sur des sols trop compressibles.

Fondations réalisées à une profondeur trop faible (hors gel non conforme,...)

Fondations réalisées sur des sols instables (terrain incliné, éboulement,...)

Environ 85% des accidents sont dus à la méconnaissance des caractéristiques des sols ou à des interprétations erronées des reconnaissances.

LES FONDATIONS

Les fondations profondes :

L'essentiel des sinistres rencontrés sur ce type de fondations est une reconnaissance des sols incomplète ou une mauvaise interprétation des reconnaissances.

Erreurs lors de l'exécution.

Détérioration des pieux ou puits (présence d'eaux agressives,...)

Conclusion :

Il est vivement conseillé de faire réaliser une étude de sol avant de commencer l'étude des fondations. L'étude de sol peut faire faire des économies sur le type de fondations elle peut préconiser le déplacement du bâtiment vers une zone plus saine du terrain. Il est bien entendu cette étude sera faite avant même le dépôt de permis de construire et que la surface du terrain le permet.

6°) Méthode de calcul d'une semelle soumise à une charge centrée :

La méthode de calcul utilisée est « la méthode des bielles ».

Avant de commencer un calcul de semelle, on doit avant tout réaliser une descente de charges qui donnera l'effort ultime sur le dessus de la semelle majorée d'un coef de 1.35 pour pouvoir la dimensionner.

Ensuite il faut connaître le taux de travail du sol . Cette information est présente sur le rapport de sol réalisé par une société spécialisée.

Pour des raisons économiques ou que le sol est jugé de bonne qualité, on pourra estimer ce taux de travail en fonction de la constitution du sol et choisir dans la liste ci-dessous (1Mpa = 10bars) – voir le DTU 13.11 :

- | | |
|---|----------------|
| • Limon de plateau | 1.5 à 3.0 bars |
| • Terre à meulière | 3.0 à 4.5 bars |
| • Marne verte, argile | 0.7 à 4.5 bars |
| • Alluvions anciennes, sables, graviers | 6.0 à 9.0 bars |
| • Sables de beauchamp | 7.5 à 15 bars |
| • Craie | 9.0 à 10 bars |
| • Marne + caillasse | 7.5 à 15 bars |
| • Calcaire grossier | 18 à 45 bars |
| • Roches peu fissurées saines non désagrégées de stratification favorable | 7.5 à 4.5 bars |
| • Terrain non cohérent à bonne compacité | 3.5 à 7.5 bars |
| • Terrain non cohérent à moyenne compacité | 2.0 à 4.0 bars |
| • Argile | 0.3 à 3.0 bars |

LES FONDATIONS

Dimensionnement de la semelle :

Semelle isolée :

La surface de la semelle devra satisfaire la relation suivante :

$$S \geq \frac{Nu}{q}$$

S= surface de la semelle en cm²

Nu= effort amené par l'ouvrage sur la semelle en daN

q= taux de travail du sol en bars

Base de la semelle :

Si on choisit une semelle carrée on aura :

$$a = \sqrt{S}$$

a= le coté de la semelle

On arrondira les dimensions de la semelle à valeur entière supérieure et multiple de 5 (121.22 => 125 ; 117 =>120)

Si on choisit la largeur de la semelle, on aura :

$$b = \frac{S}{a}$$

b= un coté de la semelle en cm

a= un coté de la semelle qu'on aura imposé en cm

Si la largeur de la semelle est d'environ 150 à 200cm, on pourra réaliser des glacis pour économiser du béton mais la mise en œuvre sera plus difficile (étude de prix à réaliser). Dans ce cas, il faudra avoir une hauteur de piedmont qui satisfera la relation suivante :

$$hp = 6\phi + 6cm$$

φ= diamètre de l'acier en cm

LES FONDATIONS

Hauteur de la semelle h :

Dans le cas d'une semelle de dimensions (AxB) avec un poteau (a'xb') on prendra la hauteur la plus importante de :

$$\boxed{d \geq \frac{A-a'}{4}} \text{ ou } \boxed{d \geq \frac{B-b'}{4}}$$

$$\boxed{h = d + 5}$$

h = hauteur de la semelle en cm
A et *B* = Cotés de la semelle en cm
A' et *b'* = Cotés du poteau en cm

Calcul d'armatures de la semelle isolée :

Il faut faire très attention à l'utilisation des unités, une erreur est vite arrivée.

Calcul de la section des aciers principaux (en cm²) :

$$A_{s_a} = \frac{Nu \cdot (A - a')}{8 \cdot d \left(\frac{f_e}{\gamma_s} \right)}$$

Nu = effort amené par l'ouvrage sur la semelle en daN
A = côté de la semelle
a' = côté du poteau
d = hauteur de la semelle moins l'enrobage
Fe = Limite élastique de l'acier (prendre 5000)
 γ_s = Coefficient (prendre 1.15)

On choisit les aciers à mettre en œuvre en évitant que leurs espacements soient supérieurs à 30cm et inférieurs à 7cm pour pouvoir bien placer le béton.

LES FONDATIONS

Calcul de la section des aciers secondaires (en cm²) :

$$A_{s_b} = \frac{Nu \cdot (B - b')}{8 \cdot d \left(\frac{f_e}{\gamma_s} \right)}$$

Nu = effort amené par l'ouvrage sur la semelle en daN
B = côté de la semelle
b' = côté du poteau
d = hauteur de la semelle moins l'enrobage
Fe = Limite élastique de l'acier (prendre 5000)
 γ_s = Coefficient (prendre 1.15)

Bien sur, si la semelle et le poteau sont carrés, on appliquera la formule une seule fois et les aciers seront identiques dans les deux sens.

Un petit truc : si on a peu de semelles avec des armatures différentes dans les deux sens, on prend le cas le plus défavorable et on l'applique dans les deux sens. De cette façon, on n'aura pas de risque d'erreur lors de la pose sur le chantier.

Vérification du poinçonnement :

$$N_p = Nu \left[1 - \frac{(a'+h) \cdot (b'+h)}{A \cdot B} \right]$$

$$N_p \leq 0,045 \cdot 2 \cdot (a'+b'+2 \cdot h) \cdot h \cdot f_{c28}$$

Nu = effort amené par l'ouvrage sur la semelle en daN
a' *b'* = dimensions du poteau
A B = dimensions de la semelle
h = hauteur de la semelle
fc28 = limite à la compression de béton à 28 jours (prendre 25 Mpa (le plus courant) soit 250 bars)

Si la relation est vérifiée, la semelle est bonne, sinon il faudra changer de dimensions (souvent, on modifie la hauteur).

LES FONDATIONS

Semelle filante :

La méthode de calcul d'une semelle filante est la même que pour une semelle isolée sauf que le calcul se fait dans un sens : Le sens transversal.

Les armatures principales sont les aciers transversaux, les armatures secondaires servent de chaînages et d'aciers de répartition.

Le calcul est fait pour un mètre de longueur de semelle, la hauteur est calculée de la même façon que pour la semelle isolée.

Calcul d'armatures de la semelle filante :

Calcul de la section des aciers principaux (en cm² par mètre) :

$$As = \frac{Nu \cdot (A - a')}{8 \cdot d \cdot \left(\frac{fe}{\gamma_s} \right)}$$

- Nu* = effort amené par l'ouvrage sur la semelle en daN
A = largeur de la semelle
a' = largeur du mur
d = hauteur de la semelle moins l'enrobage
Fe = Limite élastique de l'acier (prendre 5000)
 γ_s = Coefficient (prendre 1.15)

Calcul des aciers de répartition (aciers filants) :

$$Ar = \max(As/4, \text{section mini pour chaînage})$$

On prendra la valeur maxi entre les ¼ de la section calculée ci-dessus et la section mini pour un chaînage à savoir :

- 3.0cm² pour des ronds lisses Fe E215
- 2.0cm² pour des barres Fe E400
- 1.6cm² pour des treillis soudés ou des barres FeE500

Les recouvrements mini. Des barres filantes seront de 50 \emptyset (50 diamètres de la barre concernée). L'espacement entre les répartitions ne dépassera pas 30 cm.

LES FONDATIONS

Vérification du poinçonnement :

$$Np = Nu \left(1 - \frac{a' + h}{A} \right)$$

$$Np \leq 0,09 \cdot h \cdot fc28$$

- Nu* = effort amené par l'ouvrage sur la semelle en daN
a' = dimensions du poteau
A = dimensions de la semelle
h = hauteur de la semelle
fc28 = limite à la compression de béton à 28 jours (prendre 25 Mpa (le plus courant) soit 250 bars)

Si la relation est vérifiée, la semelle est bonne, sinon il faudra changer de dimensions (souvent, on modifie la hauteur).

Semelle filante sans armatures transversales :

Il est possible de se passer d'armatures transversales quand la hauteur de la semelle filante est supérieure à 2 fois le débord. La section d'aciers dans le sens longitudinal sera la même que celle dans les chaînages (voir page 9).

Note :

La méthode décrite sur ce chapitre ne concerne pas le cas de semelles de murs de soutènement. La méthode de calcul sera décrite dans un autre chapitre. Elle ne concerne pas le cas de semelle soumise à des charges excentrées, au soulèvement.