

Manuel de l'utilisateur

Eléments de fondation

Eléments de fondation

Manuel de l'utilisateur



Software pour
l'Architecture et
l'Ingénierie de
la **Construction**

CYPE Ingenieros, S.A.
Avda. Eusebio Sempere, 5
03003 Alicante
Tel. (+34) 965 92 25 50
Fax (+34) 965 12 49 50
cype@cype.com

www.cype.fr

IMPORTANT: CE TEXTE REQUIERT VOTRE ATTENTION

L'information contenue dans ce document est propriété de CYPE Ingenieros, S.A. et la reproduction partielle ou totale ainsi que la diffusion sous quelque forme et support que ce soit est interdite sans l'autorisation expresse et préalable de CYPE Ingenieros, S.A.. L'infraction des droits de propriété intellectuelle peut constituer un délit au sens de l'Article L.122-4 du Code de la Propriété Intellectuelle.

Ce document et l'information qui l'accompagne sont partie intégrante et indissociable de la documentation qui accompagne la Licence d'Utilisation des programmes informatiques de CYPE Ingenieros, S.A.. Par conséquent elle est soumise aux mêmes devoirs et conditions.

N'oubliez pas que vous devrez lire, comprendre et accepter le Contrat de Licence d'Utilisation du software associé à cette documentation avant toute utilisation d'un des composants du produit. Si vous N'ACCEPTÉZ PAS les termes du Contrat de Licence d'Utilisation rendez immédiatement le software et tous les éléments qui l'accompagnent au lieu d'achat afin d'en obtenir le remboursement intégral.

Ce manuel correspond à la version du software dénommé Eléments de fondation par CYPE Ingenieros, S.A. L'information contenue dans ce document décrit substantiellement les caractéristiques et méthodes d'utilisation du ou des programmes qu'elle accompagne.

L'information contenue dans ce document peut avoir été modifiée postérieurement à l'édition mécanique de ce livre sans avis préalable. Le software associé à ce document peut être soumis à des modifications sans avis préalable.

CYPE Ingenieros, S.A. dispose d'autres services parmi lesquels se trouvent les Mises à Jour, qui vous permettront d'acquérir les dernières versions du software et la documentation qui l'accompagne. Si vous avez des doutes sur les présentes conditions, par rapport au Contrat de Licence d'Utilisation du software, ou si vous souhaitez simplement rentrer en contact avec CYPE Ingenieros, S.A., adressez-vous à votre Distributeur Local Autorisé ou au Service Après-Vente de CYPE Ingenieros, S.A. à l'adresse suivante :

Avda. Eusebio Sempere, 5 · 03003 Alicante (Espagne) · Tel: +34 965 92 25 50 · Fax: +34 965 12 49 50 · www.cype.com

© CYPE Ingenieros, S.A.

1ère Edition (Avril, 2008)

Edité et imprimé à Alicante (Espagne)

Windows ® est une marque enregistrée de Microsoft Corporation ®

Présentation	5
1. Mémoire de calcul	7
1.1. Semelles superficielles isolées	7
1.1.1. Contraintes sur le terrain	7
1.1.2. Etats d'équilibre	8
1.1.3. Etats du béton	8
1.2. Longrines de redressement	9
1.3. Semelles sur pieux	10
1.3.1. Critères de calcul	11
1.3.2. Critère de signes	11
1.3.3. Considérations de calcul et géométrie	11
1.4. Plaques d'ancrage	13
1.5. Semelles en béton massif	14
1.5.1. Calcul des semelles comme solide rigide	15
1.5.2. Calcul de la semelle comme structure en béton massif ..	15
1.5.3. Récapitulatif des vérifications	16
2. Aides à l'écran	18
2.1. Touche F1	18
2.2. Icône avec le signe d'interrogation	18
2.3. Icône en forme de livre	18
2.4. Guide rapide	18

Présentation

*Le programme **Éléments de fondation** calcule des semelles sur pieux, des semelles superficielles, des plaques d'ancrage et des longrines de liaison et de redressement.*

Il dimensionne et calcule les éléments de fondations, leur armature, etc. et contrôle les données introduites. Les vérifications effectuées comprennent celles de la norme en application et les critères propres à CYPE Ingenieros, tirés de divers livres et normes.

1. Mémoire de calcul

Dans cette partie, vous trouverez les conditions générales prises en compte pour la vérification et le dimensionnement des éléments de fondation (également définissables dans **CYPECAD** et **Métal 3D**) sous les éléments porteurs verticaux du bâtiment.

Ce manuel explique leur utilisation en tant qu'éditeur, c'est-à-dire en introduisant des éléments de fondation sans calcul afin d'obtenir les plans et les mesures.

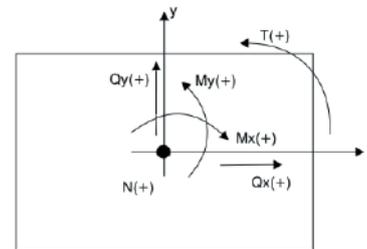


Fig. 1.1

1.1. Semelles superficielles isolées

Il est possible de calculer des semelles en béton armé et en béton massif des types suivants :

- Semelles d'épaisseur constante
- Semelles d'épaisseur variable ou pyramidales

En plan, elles peuvent être classées selon les critères suivants :

- Carrées
- Rectangulaires centrées (cas particuliers : mitoyennes ou en coin)

Les charges reçues des éléments porteurs sont transmises au centre de la semelle pour en obtenir la résultante. Les différents efforts transmis peuvent être les suivants :

N : effort normal
 M_x : moment en x
 M_y : moment en y
 Q_x : effort tranchant en x
 Q_y : effort tranchant en y
 T : torseur

Les hypothèses pouvant être considérées sont le **Poids propre**, les **Surcharges**, le **Vent**, la **Neige** et le **Séisme**.

Les états devant être vérifiés sont :

- Les contraintes sur le terrain
- L'équilibre
- Le béton (flexion et cisaillement)

Il est possible de réaliser un dimensionnement à partir des dimensions par défaut définies dans les options du programme ou à partir de dimensions données. Il est également possible d'obtenir simplement l'armature à partir d'une géométrie déterminée. Le contrôle repose sur la vérification des aspects normatifs de la géométrie et de l'armature d'une semelle.

1.1.1. Contraintes sur le terrain

On suppose que le diagramme de déformation de la semelle est plan. On obtiendra donc, en fonction des efforts, des diagrammes de contraintes sur le terrain trapézoïdaux.

Les tractions n'étant pas admises, lorsque la résultante sort du noyau central, des zones libres de contraintes apparaissent.

Pour qu'il y ait équilibre, la résultante doit se trouver dans la semelle. Le poids propre de cette dernière est pris en compte.

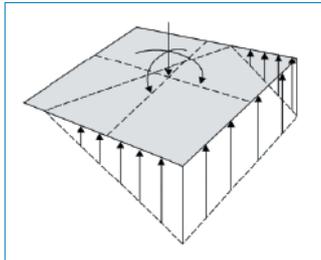


Fig. 1.2

On vérifie que :

- La contrainte moyenne ne dépasse pas celle du terrain.
- La contrainte maximale de bord ne dépasse pas un certain pourcentage dépendant du type de combinaison :
 - Gravitationnelle : 25%
 - Avec vent : 33%
 - Avec séisme : 50%

Ces valeurs sont optionnelles et peuvent être modifiées.

1.1.2. Etats d'équilibre

En appliquant les combinaisons d'état limite correspondantes, on vérifie que la résultante reste à l'intérieur de la semelle.

L'excès par rapport au coefficient de sécurité s'exprime par le concept de % de réserve de sécurité :

$$\left(\frac{0,5 \cdot \text{largeur_semelle}}{\text{excentricité_résultante}} - 1 \right) \cdot 100$$

S'il est égal à zéro, l'équilibre est strict, tandis que s'il est élevé, cela indique qu'il se trouve du côté de la sécurité par rapport à l'équilibre.

1.1.3. Etats du béton

Il faut vérifier la flexion de la semelle et les contraintes tangentielles.

Moments fléchissants

Dans le cas d'un poteau unique, le moment fléchissant est contrôlé au niveau de la section de référence située à 0,15 fois la dimension du poteau vers l'intérieur.

Le contrôle est réalisé suivant les directions x et y, avec des poteaux métalliques et une plaque d'ancrage, au point milieu entre le bord de la plaque et le profil.

Efforts tranchants

La section de référence se trouve à une hauteur utile des bords du support.

Ancrage des armatures

Aux extrémités des armatures, les pattes d'ancrage sont calculées et placées selon les cas et leur position.

Epaisseurs minimales

L'épaisseur minimale spécifiée dans la norme est vérifiée.

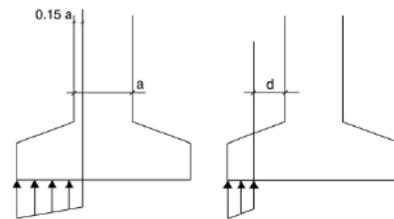


Fig. 1.3

Séparation des armatures

Les séparations minimales entre armatures données par la norme sont contrôlées. Dans le cas d'un dimensionnement, un minimum pratique de 10 cm sera considéré.

Quantités minimales et maximales

Il est vérifié que les quantités limites, mécaniques et géométriques, spécifiées dans la norme, sont respectées.

Diamètres minimaux

Il est vérifié que le diamètre est supérieur au minimum indiqué dans la norme.

Dimensionnement

Le dimensionnement à la flexion oblige à placer des épaisseurs suffisantes pour éviter d'avoir recours à une armature de compression. Il en va de même lors du dimensionnement à l'effort tranchant, pour ne pas avoir à placer de renfort transversal.

Vérification à la compression oblique

Elle est réalisée au niveau du bord de l'appui, et le dépassement de la contrainte dans le béton par rupture à la compression oblique n'est pas permis. Selon le type de support, et afin de prendre en compte l'effet d'excentricité des charges, l'effort normal du support sera pondéré par :

- Support intérieurs : 1,15
- Supports mitoyens : 1,4
- Supports en coin : 1,5

Les semelles rigides sont toujours dimensionnées, alors que lors d'une vérification, le seul avis de non vérification pouvant être émis apparaisse dans le cas où :

$$\frac{\text{débord}}{\text{épaisseur}} \leq 2$$

Des options de dimensionnement sont mises à disposition de façon à ce que l'utilisateur puisse choisir la forme d'augmentation de la semelle, ou fixer une dimension, selon le type de semelle. Les résultats peuvent logiquement être différents selon l'option sélectionnée.

Lorsque le diagramme des contraintes ne s'étend pas sur l'ensemble de la semelle, des tractions peuvent apparaître dans la face supérieure du fait du poids propre de la semelle en porte-à-faux, une armature supérieure étant mise en place si nécessaire.

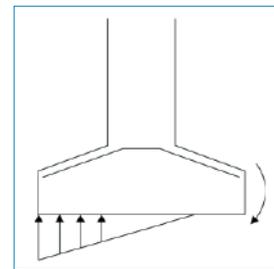


Fig. 1.4

1.2. Longrines de redressement

Le programme calcule les longrines de redressement en béton armé entre deux fondations.

Les longrines de redressement sont utilisées pour le redressement des semelles superficielles et sur pieux. Il en existe deux types :

- Moments négatifs : $\begin{matrix} A_{ts} \\ \square \\ A_t \end{matrix} \quad A_s > A_t$
- Moments positifs : $\begin{matrix} \square \\ A \\ A \end{matrix}$ armature symétrique

Pour chaque type, il existe des tables d'armature, définissables et modifiables.

Les efforts sur les longrines de redressement sont les suivants :

- Moments et efforts tranchants nécessaires pour l'effet de redressement
- Le poids propre des longrines de redressement n'est pas pris en compte et les charges ne sont pas admises sur celles-ci. On suppose qu'elles les transmettent au terrain sans reprendre d'efforts.
- Lorsqu'elles sont multiples, les efforts qu'elles reçoivent sont proportionnels à leurs raideurs.

Si leur longueur est inférieure à 25 cm, un avis de longrine courte est émis.

Il existe une table d'armature pour chaque type, son adaptation pour les efforts auxquels elle est soumise étant vérifiée.

Les vérifications suivantes sont réalisées :

- Diamètre minimum de l'armature longitudinale
- Diamètre minimum de l'armature transversale
- Quantité géométrique minimum de traction
- Quantité mécanique minimum (les réductions sont acceptées)
- Quantité maximum d'armature longitudinale
- Séparation minimum entre armatures longitudinales
- Séparation minimum entre les cadres
- Séparation maximum entre armatures longitudinales
- Séparation maximum entre les cadres
- Largeur minimum des longrines ($\geq 1/20$ de la portée)
- Hauteur minimum des longrines ($\geq 1/12$ de la portée)
- Vérification à la fissuration (0,3 mm)
- Longueur d'ancrage armature supérieure

- Longueur d'ancrage armature de peau
- Longueur d'ancrage armature inférieure
- Vérification à la flexion (ne pas avoir d'armature de compression)
- Vérification à l'effort tranchant (béton + cadres résistent à l'effort tranchant)

Une certaine tolérance est admise pour l'angle de déviation de la longrine de redressement lorsqu'elle arrive sur le bord de la semelle (15°).

Il existe une option qui permet de fixer une quantité géométrique minimum de traction.

Il existe des critères permettant de positionner la longrine par rapport à la semelle, en fonction de l'épaisseur relative des deux éléments, en arasant la face supérieure ou inférieure.

Pour toutes les vérifications et le dimensionnement, on utilise les combinaisons des longrines de redressement de la même façon que pour les éléments de béton armé, sauf pour la fissuration, pour laquelle on utilise les contraintes sur le terrain.

1.3. Semelles sur pieux

Le programme calcule des semelles sur pieux en béton armé avec des pieux de section carrée ou circulaire, des typologies suivantes :

- 1 pieu. (A)
- 2 pieux. (B)
- 3 pieux. (C)
- 4 pieux. (D)
- Linéaire. Vous pouvez choisir le nombre de pieux (3 par défaut). (B)

- Rectangulaire. Vous pouvez choisir le nombre de pieux (9 par défaut). (D)
- Rectangulaire sur 5 pieux (un central). (D)
- Pentagonale sur 5 pieux. (C)
- Pentagonale sur 6 pieux. (C)
- Hexagonale sur 6 pieux. (C)
- Hexagonale sur 7 pieux (un central). (C)

1.3.1. Critères de calcul

Les semelles sur pieux **type A** sont basées sur le modèle de charges concentrées sur des zones massives. Elles sont armées avec des cadres verticaux et horizontaux (et optionnellement avec des diagonales).

Les semelles sur pieux **type B** sont basées sur le modèle des bielles et des tirants. Elles sont armées comme des longrines, avec des armatures longitudinales inférieures et supérieures, des armatures de peau et des cadres verticaux.

Les semelles sur pieux **type C** sont basées sur le modèle des bielles et des tirants. Elles sont armées avec des longrines latérales ou diagonales, des grilles inférieures ou supérieures, et une armature de contour de chaînage.

Les semelles sur pieux **type D** sont basées sur le modèle des bielles et des tirants. Elles sont armées avec des longrines latérales ou diagonales (sauf la rectangulaire), des grilles inférieures et supérieures.

Toute semelle sur pieux peut être vérifiée ou dimensionnée. La vérification consiste à contrôler les aspects géométriques et mécaniques à partir des dimensions et des armatures données. Il est possible de définir des charges.

Le dimensionnement nécessite des charges et, à partir des dimensions minimales considérées par le programme (dimensionnement complet), ou des dimensions initiales apportées par l'utilisateur (dimensions minimales), on obtient (si c'est possible) une géométrie et des armatures en accord avec la norme et les options définies.

La norme EHE étant celle fournissant le plus d'informations et d'analyses pour le calcul des semelles sur pieux, c'est celle qui a été adoptée comme norme de base pour les semelles sur pieux, toujours rigides. Dans les cas où cela est possible, les autres normes sont appliquées (ACI-318/95, CIRSOC, NB-1, EH-91, etc.). Sont également considérés des bibliographies techniques telles que le livre 'Structures de fondation' de Marcelo da Cunha Moraes et des critères de **CYPE Ingenieros**.

Dans les récapitulatifs des vérifications, il est toujours fait référence à la norme et aux articles appliqués.

1.3.2. Critère de signes

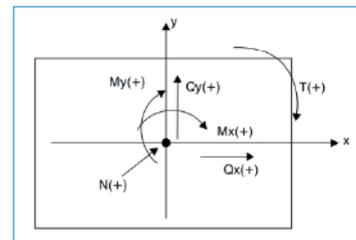


Fig. 1.5

1.3.3. Considérations de calcul et géométrie

Lors de la définition d'une semelle sur pieux, vous devez également définir les pieux en indiquant leur type, leur nombre et leur position. La capacité portante, c'est-à-dire la charge de service qu'il est capable de supporter (sans majoration), est une donnée du pieu.

Il sera au préalable nécessaire de calculer la charge que reçoivent les pieux, laquelle sera la somme du poids propre de la semelle, des actions extérieures et de l'application de la formule classique de Navier :

$$P_i = \frac{N}{N_b \text{ de pieux}} + M_x \cdot \frac{x_i}{\sum x_i^2} + M_y \cdot \frac{y_i}{\sum y_i^2}$$

Avec les combinaisons des contraintes sur le terrain.

La capacité portante du pieu le plus chargé est vérifiée et, si elle est dépassée, un avis est émis.

Lorsqu'un pieu est défini, la distance minimum entre les pieux est demandée. Cette donnée doit être fournie par l'utilisateur (valeur par défaut = 1,00 m) en fonction du type de pieu, du diamètre, du terrain, etc.

Lors de la définition d'une semelle sur pieux, les distances entre les axes des poteaux doivent être définies (1,00 m par défaut). Il est vérifié que cette distance est supérieure à la distance minimale.

La vérification et le dimensionnement des semelles sur pieux sont basés sur la charge maximale du pieu le plus chargé, en appliquant les combinaisons de béton sélectionnées aux charges définies par hypothèses.

Si vous souhaitez que toutes les semelles sur pieux d'une même typologie aient une géométrie et une armature caractéristiques pour un même type de pieu, vous disposez d'une option intitulée **Charge par pieu** qui, lorsqu'elle est activée, permet d'unifier les semelles sur pieux, de manière à pouvoir dimensionner la semelle sur pieux pour la capacité portante du pieu.

Dans ce cas, définissez un coefficient de majoration de la capacité portante (coefficient de sécurité pour la considérer comme une combinaison de plus) nommé **Coefficient d'utilisation du pieu** (1,5 par défaut).

Si vous ne souhaitez pas considérer toute la capacité portante du pieu, vous pouvez définir un pourcentage de celle-ci, intitulé **Fraction des charges de pieux** et variable entre 0 et 1 (1 par défaut). Dans ce cas, le programme déterminera le maximum entre la valeur précédente, qui est fonction de la capacité portante, et le maximum des pieux par les charges extérieures appliquées.

Dans certaines zones et pays, il est habituel d'obtenir une unique semelle sur pieux par diamètre et nombre de pieux, ce qui simplifie l'exécution. Cette option est désactivée par défaut.

Par rapport aux efforts, les vérifications suivantes sont réalisées :

- Tractions dans les poteaux : traction maximale \geq 10% de la compression maximale.
- Moments fléchissants : il sera nécessaire de placer des longrines de redressement.
- Efforts tranchants excessifs : si, dans une combinaison, l'effort tranchant dépasse 3% de l'effort normal avec vent, il peut être intéressant de placer des poteaux inclinés.
- Torsions, si elles existent telles que définies dans les charges.

Si vous introduisez des poutres centrées, celles-ci absorberont les moments dans la direction dans laquelle elles agissent. Avec les semelles sur un seul pieu, elles sont toujours nécessaires dans les deux directions. Avec les semelles de 2 pieux et linéaires, elles le sont dans la direction perpendiculaire à la ligne des pieux.

Le programme ne considère aucune excentricité minimale ou constructive, bien qu'il soit habituel de prendre 10% de l'effort normal pour éviter les implantations incorrectes des pieux ou de la semelle elle-même.

Les moments sont incrémentés de $0,10 \times N$ dans les hypothèses de charges correspondantes si jugé nécessaire.

Si plus d'une longrine de redressement agissent dans la même direction, le moment sera réparti proportionnellement à leurs raideurs. Les vérifications réalisées sont les suivantes :

Vérifications générales :

- Avis à l'écran
- Débord minimum depuis le périmètre du pieu
- Débord minimum depuis l'axe du pieu
- Débord minimum depuis le poteau
- Largeur minimum du pieu
- Capacité portante du pieu

Vérifications particulières :

- Pour chaque type de semelles sur pieux, les vérifications géométriques et mécaniques réalisées sont celles indiquées dans la norme. Il est recommandé de faire un exemple de chaque type afin d'obtenir les listes des vérifications réalisées, les avis émis et les références aux articles de la norme ou du critère utilisé par le programme.
- Pour les semelles sur pieux, vous pouvez obtenir les listes des données introduites, les tables de pieux et les listes de vérifications.
- En ce qui concerne les plans, vous pourrez obtenir graphiquement la géométrie et les armatures obtenues ainsi qu'un tableau des mesures.

1.4. Plaques d'ancrage

Pour la vérification d'une plaque d'ancrage, l'hypothèse basique assumée par le programme est celle de la plaque

rigide ou hypothèse de Bernoulli. Cela implique de supposer que la plaque reste plate face aux efforts auxquels elle est soumise, de manière à pouvoir négliger ses déformations devant les effets de la répartition des charges. Pour que cela soit vérifié, la plaque d'ancrage doit être symétrique (ce qui est toujours garanti par le programme) et suffisamment rigide (épaisseur minimum en fonction du côté).

Les vérifications devant être effectuées pour la validation d'une plaque d'ancrage se divisent en trois groupes, selon l'élément contrôlé : béton de la fondation, boulons d'ancrage et plaque proprement dite, avec ses raidisseurs s'il y en a.

- 1. Vérification sur le béton.** Elle consiste à contrôler que le point le plus comprimé sous la plaque ne dépasse pas la contrainte admissible du béton. La méthode utilisée est celle des contraintes admissibles, en supposant une distribution triangulaire des contraintes sur le béton, celles-ci pouvant uniquement être de compression. La vérification du béton est uniquement effectuée lorsque la plaque d'ancrage s'appuie sur celui-ci et qu'il n'y a pas d'état de traction (simple et composée). D'autre part, le frottement entre le béton et la plaque d'ancrage est négligé, c'est-à-dire que la résistance à l'effort tranchant et à la torsion est exclusivement confiée aux boulons.
- 2. Vérifications sur les boulons.** Dans le cas général, chaque boulon se voit soumis à un effort normal et à un effort tranchant, chacun d'eux étant évalué indépendamment. Le programme considère que dans les plaques d'ancrage appuyées directement sur la fondation, les boulons travaillent uniquement à la traction. Dans le cas où la plaque d'ancrage est à une certaine hauteur sur la fondation, les boulons peuvent travailler à la compression, la vérification au flambement correspondante (suivant le modèle de poutre bi-encastree, avec possibilité de glissement relatif des appuis normaux à la directrice $b = 1$) et la transmission des ef-

forts à la fondation (il apparaît une flexion due aux efforts tranchants sur le profil) étant réalisées sur ces derniers. Le programme réalise trois groupes de contrôles sur chaque boulon :

A. Contrainte sur la tige. Elle consiste à vérifier que la contrainte ne dépasse pas la résistance de calcul du boulon.

B. Béton environnant. Une autre cause de défaut est la rupture du béton qui entoure la tige pour un ou plusieurs des motifs suivants :

- Glissement par perte d'adhérence.
- Arrachement suivant le cône de rupture.
- Rupture par effort tranchant (concentration des contraintes par effet de prisme).

Pour calculer le cône de rupture de chaque boulon, le programme suppose que la génératrice de celui-ci forme un angle de 45° avec son axe. La réduction de l'aire effective du fait de la présence d'autres boulons proches, à l'intérieur du cône de rupture est prise en compte.

Les effets suivants ne sont pas pris en compte et doivent donc être contrôlés par l'utilisateur :

- **Boulons très proches du bord de la fondation.** Aucun boulon ne doit être à une distance du bord de la fondation inférieure à sa longueur d'ancrage, car l'aire effective du cône de rupture serait réduite et, d'autre part, il apparaîtrait un autre mécanisme de rupture latérale par effort tranchant qui n'est pas pris en compte par le programme.
- **Épaisseur réduite de la fondation.** L'effet du cône de rupture globale apparaissant lorsqu'il y a plusieurs boulons groupés et que l'épaisseur du béton est faible n'est pas considéré.
- **Le programme ne considère pas la possibilité d'employer des boulons passants,** étant donné qu'il ne réalise pas les contrôles nécessaires à ce cas (contraintes dans l'autre face du béton).

C. Aplatissement de la plaque. Le programme vérifie également que, dans chaque boulon, l'effort tranchant que produirait l'aplatissement de la plaque contre le boulon n'est pas dépassé.

3. Vérifications sur la plaque.

Calcul des contraintes globales. Le programme construit quatre sections dans le périmètre du profil et vérifie chacune d'elles face aux contraintes. Cette vérification est uniquement réalisée dans les plaques avec débord (les flambements locaux des raidisseurs ne sont pas pris en compte et vous devez contrôler que leurs épaisseurs respectives ne donnent pas un élanement excessif).

Calcul des contraintes locales. Il s'agit de vérifier toutes les plaques locales dans lesquelles le profil et les raidisseurs divisent la plaque proprement dite. Pour chacune de ces plaques locales, en partant de la distribution des contraintes sur le béton et des efforts normaux dans les boulons, on calcule le moment de flexion pondéré le plus défavorable, et on le compare au moment de flexion d'épuisement plastique. Cela paraît raisonnable étant donné que pour vérifier chaque plaque locale, nous considérons le point le plus défavorable de celle-ci, où nous obtenons un pic local des contraintes, qui peut être réduit par l'apparition de la plastification, sans diminuer la sécurité de la plaque.

1.5. Semelles en béton massif

Les semelles en béton massif sont celles dans lesquelles les efforts à l'E.L.U. sont exclusivement repris par le béton.

Le programme permet de placer des grilles dans les semelles mais le calcul est réalisé comme pour une structure faiblement armée, c'est-à-dire une structure dans laquelle les armatures ont pour seule mission de contrôler la fissu-

ration due à la rétraction et à la contraction thermique, sans que soient considérés ses effets résistants.

Il convient de signaler que, contrairement à la croyance largement répandue, *les structures en béton massif requièrent une attention plus grande lors du projet et de l'exécution que celles en béton armé ou précontraint.*

1.5.1. Calcul des semelles comme solide rigide

Le calcul de la semelle comme solide rigide comprend, dans les semelles isolées, deux vérifications :

- Vérification du débord.
- Vérification des contraintes sur le terrain.

Ces deux vérifications sont identiques à celles réalisées sur les semelles en béton armé.

1.5.2. Calcul de la semelle comme structure en béton massif

Ce paragraphe présente les différences fondamentales avec les semelles en béton armé. Les trois vérifications réalisées pour le calcul structural des semelles en béton massif sont exposées ci-après.

Vérification à la flexion

Les sections de référence utilisées pour le calcul à la flexion dans les semelles en béton massif sont les mêmes que pour les semelles en béton armé.

Dans toutes les sections, vous devez vérifier que les contraintes de flexion produites par l'action du moment de flexion de calcul, dans l'hypothèse de déformation plane, sont inférieures à la résistance à la flexo-traction donnée par la formule suivante :

$$f_{ck,min} = 1,43 \cdot \left(\frac{16,75 + h_{0,7}}{h_{0,7}} \right) \cdot f_{ctd,min}$$

$$f_{ctd,min} = \frac{0,21}{1,5} \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Dans les formules précédentes, f_{ck} est en N/mm² et h (hauteur) en mm.

Vérification de l'effort tranchant

Les sections de référence utilisées pour le calcul à l'effort tranchant sont les mêmes que pour les semelles en béton armé.

Dans toutes les sections, il faut vérifier que la contrainte tangentielle maximum produite par l'effort tranchant ne dépasse pas la valeur de $f_{ct,d}$, laquelle est obtenue d'après la formule suivante :

$$f_{ct,d} = \frac{0,21}{1,5} \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Vérification à la compression oblique

Le contrôle d'épuisement du béton par compression oblique est réalisé au bord de l'appui, et il est vérifié que la contrainte tangentielle de calcul dans le périmètre de l'appui est inférieure ou égale à une valeur maximale déterminée.

Cette vérification sera égale pour toutes les normes, en appliquant l'article 46.4 de la norme espagnole EHE. Cet article établit ce qui suit :

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd,ef}}{u_0 \cdot d}$$

$$F_{sd,ef} = \beta \cdot F_{sd}$$

$$\tau_{rd} = f_{1cd} = 0,30 \cdot f_{cd}$$

Où :

- f_{cd} est la résistance de calcul du béton à la compression simple.
- F_{sd} est l'effort normal que l'élément porteur transmet à la semelle.
- β est un coefficient prenant en compte l'excentricité de la charge. Lorsqu'il n'y a pas transmission des moments entre le support et la semelle, ce coefficient est égal à l'unité. Dans le cas où des moments sont transmis, le coefficient prend les valeurs du tableau suivant selon la position du poteau.

	β
Eléments porteurs intérieurs	1,15
Eléments porteurs mitoyens	1,4
Eléments porteurs en coin	1,5

Valeurs du coefficient d'excentricité de la charge

- u_0 est le périmètre de vérification, qui prend les valeurs suivantes :
 - Pour les éléments porteurs intérieurs, il est égal aux périmètres de ceux-ci.
 - Pour les éléments porteurs mitoyens, il vaut :
 $u_0 = c_1 + 3 \cdot d \leq c_1 + 2 \cdot c_2$
 - Pour les éléments porteurs en coin, il vaut :
 $u_0 = 3 \cdot d \leq c_1 + c_2$, c_1 étant la largeur de l'élément porteur parallèle au côté de la semelle duquel le support est mitoyen et c_2 la largeur de l'élément porteur dans la direction perpendiculaire à la mitoyenne.
- d est la hauteur utile de la semelle.

Cette vérification est réalisée pour tous les éléments porteurs arrivant à la semelle et pour toutes les combinaisons du groupe des combinaisons de béton.

Dans la liste des vérifications, apparaît la contrainte tangentielle maximale obtenue en parcourant tous les poteaux et toutes les combinaisons.

Comme vous pouvez le constater, cette vérification est analogue à celle réalisée pour les semelles en béton armé.

1.5.3. Récapitulatif des vérifications

Ce paragraphe traite des vérifications réalisées dans le cas des semelles en béton massif, d'épaisseur constante ou variable et pyramidales.

Vérification de l'épaisseur minimum

Il s'agit de vérifier que l'épaisseur des semelles est supérieure ou égale à la valeur minimum donnée par les normes pour les semelles en béton massif.

Dans le cas des semelles pyramidales ou d'épaisseur variable, cette vérification est effectuée sur le bord.

Vérification de l'épaisseur minimum pour ancrer les amorces

Il est vérifié que l'épaisseur de la semelle est supérieure ou égale à la valeur minimum nécessaire pour ancrer l'armature des poteaux ou les boulons des plaques d'ancrage qui s'appuient sur la semelle.

Dans le cas des semelles pyramidales, l'épaisseur vérifiée est celle du piédestal.

Vérification de l'angle maximum du talus

Cette vérification est analogue à celle réalisée dans le cas des semelles en béton armé.

Vérification au renversement

La vérification au renversement est analogue à celle réalisée pour les semelles en béton armé.

Vérification des contraintes sur le terrain

Les vérifications des contraintes sur le terrain sont analogues à celles réalisées pour les semelles en béton armé.

Vérification à la flexion

La vérification est réalisée en accord avec ce qui est indiqué dans le paragraphe 2.1, et les données apparaissant dans les récapitulatifs des vérifications pour chaque direction sont indiquées ci-après.

Dans le cas où toutes les sections remplissent les exigences à la flexion pour une direction :

- Le moment de calcul le plus défavorable agissant sur la section.
- Dans le paragraphe d'information supplémentaire, apparaît le coefficient d'utilisation maximum, qui correspond à la plus grande relation entre l'effort sollicitant et l'effort résistant.

S'il existe une section qui ne convient pas, les données qui apparaissent dans la liste des vérifications pour cette section sont les suivantes :

- Le premier moment fléchissant rencontré pour lequel la section ne résiste pas.
- La coordonnée de la section sur laquelle agit ce moment fléchissant.

Vérification de l'effort tranchant

La vérification de l'effort tranchant est réalisée suivant ce qui est indiqué dans le paragraphe **Calcul de la semelle comme structure en béton massif**, et les données apparaissant dans la liste des vérifications sont celles indiquées ci-après.

Dans le cas où toutes les sections remplissent les exigences de résistance à l'effort tranchant pour une direction, la liste indique :

- La contrainte tangentielle de calcul que produit la plus grande relation entre la contrainte tangentielle sollicitante et la contrainte tangentielle résistante.
- La contrainte tangentielle résistante de la même section que celle où apparaît la contrainte tangentielle de calcul maximale.

Dans le cas où il y a une section (pour direction donnée) qui ne remplit pas les exigences relatives à l'effort tranchant, les données apparaissant dans les récapitulatifs sont les suivantes :

- La contrainte tangentielle de calcul de la première section rencontrée qui ne résiste pas à l'effort tranchant.
- Les coordonnées de cette section ne convenant pas.

Vérification à la compression oblique

Cette vérification est analogue à celle réalisée pour les semelles en béton armé et est expliquée dans le paragraphe correspondant.

Vérification de séparation minimum des armatures

C'est l'unique vérification effectuée sur les armatures pouvant être placées dans la semelle par l'utilisateur, étant donné que celles-ci ne sont pas prises en compte dans le calcul.

Lors de cette vérification, il est contrôlé que la séparation entre les axes des armatures est supérieure ou égale à 10 cm, qui est la valeur adoptée pour toutes les normes comme critère de **CYPE Ingenieros**.

Cette vérification est uniquement réalisée dans le cas où l'utilisateur décide de placer une grille, afin d'éviter que les barres ne soient trop proches et rendent difficile le bétonnage de la semelle.

2. Aides à l'écran

Les programmes de **CYPE Ingenieros** disposent d'aides à l'écran permettant à l'utilisateur d'obtenir directement du programme les informations nécessaires sur le fonctionnement des menus des dialogues et de leurs options.

Il existe quatre façons différentes d'accéder à ces aides :

2.1. Touche F1

Pour obtenir de l'aide sur une option d'un menu, il suffit de dérouler le menu, de placer le curseur sur l'option pour laquelle vous désirez de l'aide sans l'activer (c'est-à-dire sans cliquer dessus) et d'appuyer sur la touche F1.

2.2. Icône avec le signe d'interrogation

Dans la barre des titres de la fenêtre principale de chaque programme, il y a une icône avec le signe d'interrogation . Vous pouvez obtenir l'aide spécifique d'une option du programme de la façon suivante : cliquez sur cette icône, déroulez le menu contenant l'option pour laquelle vous voulez de l'aide et cliquez sur cette option. Vous verrez apparaître une fenêtre contenant l'information sollicitée. Cette information est la même que celle qui s'obtient avec la touche F1.

Vous pouvez désactiver cette aide de trois manières différentes : en cliquant sur le bouton droit de la souris, en cliquant sur le bouton du point d'interrogation ou en appuyant sur la touche **Esc**.

Vous pouvez également obtenir de l'aide sur les icônes de la barre d'outils. Pour cela, cliquez sur l'icône représentant un point d'interrogation . En faisant cela, les icônes dis-

posant d'une information sont entourés de bleu. Cliquez ensuite sur l'icône pour laquelle vous voulez consulter l'aide.

Dans la barre des titres des fenêtres qui s'ouvrent lors de l'exécution de certaines options du programme, apparaît également l'icône représentant le signe d'interrogation . En cliquant dessus, les options ou parties disposant d'une aide s'entoureront de bleu. Cliquez sur celle pour laquelle vous désirez consulter l'aide.

2.3. Icône en forme de livre

Dans la barre des titres de certaines fenêtres, vous trouverez une icône représentant un livre ouvert  permettant d'accéder à l'information générale de la fenêtre dans laquelle elle apparaît.

2.4. Guide rapide

L'information accessible par la touche F1 et relative aux options des menus peut être consultée et imprimée avec l'option **Aide > Guide rapide**. Certains programmes tels que **CYPECAD**, **Ecrans de soutènement**, **Murs de soutènement en béton armé** possèdent plusieurs fenêtres de travail accessibles en sélectionnant les onglets situés dans la partie inférieure de chacun des programmes.

Les aides des dialogues et celles du guide sont différentes.