

Manuel de l'utilisateur
**Murs de soutènement
en béton armé**

Murs de soutènement en béton armé

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 logiciel 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 logiciel 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 logiciel dénommé Murs de Soutènement en béton armé 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 logiciel 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'acquies les dernières versions du logiciel et la documentation qui l'accompagne. Si vous avez des doutes sur les présentes conditions, par rapport au Contrat de Licence d'Utilisation du logiciel, 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.

1^{ère} Edition (août, 2004)

Edité et imprimé à Alicante (Espagne)

Windows ® est une marque enregistrée de Microsoft Corporation ®

Murs de Soutènement en béton armé	5	2. Description du programme	13
1. Note de calcul	7	2.1. Menus du programme	13
1.1. Parties du mur	7	2.1.1. Touche F1	13
1.2. Géométrie	7	2.1.2. Icône avec le point d'interrogation	13
1.4. Résultats	8	2.1.3. Guide rapide	14
1.4.1. Elévation du mur	8	2.2. Assistant	14
1.4.1.1. Vérification du cisaillement à la base du mur	9	2.3. Récapitulatifs	15
1.4.1.2. Epaisseur minimale	9	2.4. Plans	16
1.4.1.3. Pourcentage géométrique minimal	9		
1.4.1.4. Pourcentage mécanique minimal	9		
1.4.1.5. Pourcentage géométrique maximal	9		
1.4.1.6. Séparation minimale des armatures	9		
1.4.1.7. Séparation maximale des armatures	9		
1.4.1.8. Vérification sous flexion composée	9		
1.4.1.9. Vérification à l'effort tranchant	10		
1.4.1.10. Vérification de la fissuration	10		
1.4.1.11. Vérification des longueurs de recouvrement	10		
1.4.1.12. Vérification de l'ancrage de l'armature de base en tête	10		
1.4.2. Semelle du mur	10		
1.4.2.1. Vérification de la stabilité au renversement/glisse- ment	11		
1.4.2.2. Contraintes sur le terrain	11		
1.4.2.3. Epaisseur minimale	11		
1.4.2.4. Longueurs d'ancrage	11		
1.4.2.5. Diamètre minimal des barres	11		
1.4.2.6. Séparation maximale des armatures	11		
1.4.2.7. Séparation minimale des armatures	11		
1.4.2.8. Flexion dans la semelle	11		
1.4.2.9. Effort tranchant	11		
1.4.2.10. Pourcentages géométrique et mécanique	11		
1.4.2.11. Dimensionnement de la géométrie	12		

Éléments de Soutènement

Murs de Soutènement en béton armé

1. Note de calcul

1.1. Parties du mur

Le mur est considéré formé par plusieurs parties différentes :

- **Mur.** Elévation du mur de sa base à son couronnement.
- **Terrains.** Remblais de terre, en une ou plusieurs couches, sur l'extrados et sur l'intrados, avec un éventuel effleurement rocheux et/ou niveau phréatique.
- **Fondation.** Semelle filante sous mur. La semelle peut avoir une bêche pour assurer sa stabilité au glissement.

1.2. Géométrie

Les termes suivants ont la définition suivante :

- **Extrados.** Face en contact avec le remblai.
- **Intrados. Face libre,** peut présenter du remblai dans certains cas.
- **Hauteur.** Mesure verticale entre la base et le couronnement.
- **Épaisseur supérieure.** Largeur en tête.
- **Épaisseur inférieure.** Largeur en pied (doit être supérieure ou égale à l'épaisseur supérieure). Peuvent être différentes, et il est possible de définir des murs d'épaisseur variable. Au moment de la définition de la géométrie vous pouvez fixer les épaisseurs depuis l'extrados, l'intrados et depuis le plan vertical moyen, dans quel cas les épaisseurs sont mesurées partiellement par rapport à chaque face. La somme des deux est l'épaisseur totale.
- **Redans.** Tronçons en hauteur qui présentent un changement brusque de l'épaisseur. Ils sont réalisés en

substitution des murs d'épaisseur variable pour simplifier le coffrage. Ils peuvent être définis sur une seule face ou les deux. L'armature est interrompue par pliage et en recouvrement avec le tronçon supérieur.

- **Recouvrements.** Division en tronçons de l'armature verticale, avec recouvrement. On peut définir le nombre de tronçons ainsi que leur hauteur. L'utilité réside dans les murs de forte hauteur d'épaisseur constante ou variable, pour lesquels le ferrailage résulterait complexe et dangereux ou dont le coffrage ne disposerait pas de la hauteur suffisante, son exécution étant préférable par tronçons. Il est par exemple d'usage que la hauteur des coffrages soit de 2.50 m : pour construire un mur de 7 m de hauteur totale, des phases de 2.50 m, 2.50 m, et 2.00 m doivent être définies.

Le programme calcule des semelles filantes en béton armé sous mur. Ce type de semelle peut s'utiliser pour les murs de soutènement d'épaisseur constante. Il existe trois types de semelles :

- Avec débord des deux côtés
- Avec débord à gauche
- Avec débord à droite

Une bêche peut être définie pour chacun des types précédents afin d'augmenter la résistance au glissement de l'élément.

Le bilan général des actions peut être modélisé par le schéma suivant :

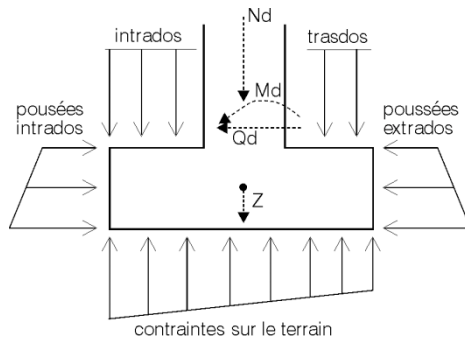


Fig. 1.1

Puisqu'il est possible de définir des remblais des deux côtés, il est évident que pour chaque état ou situation on peut considérer qu'il existe un côté qui produise plus de poussée que l'autre. Ce côté qui pousse plus produit une 'action' sur le mur. Le côté qui pousse le moins produit une 'réaction', puisque le mur tend à se déplacer vers ce côté en le comprimant.

Vous pourrez donc développer les types de poussée, active ou passive, détaillées à la suite :

- **Poussée active.** Le terrain pousse le mur en se permettant les déformations suffisantes dans la direction de la poussée pour amener le sol à un état de rupture. C'est le cas habituel lorsqu'une 'action' du terrain se développe (la valeur par défaut est 'action').
- **Poussée au repos.** Le terrain pousse mais le mur ne souffre que peu de déformations, c'est-à-dire nulles ou négligeables. Il s'agit du cas des murs dont la tête est étayée par d'autres éléments, tels les murs de sous-sols avec un plancher en tête. La valeur de la poussée est supérieure à celle de la poussée active. Il n'est pas recommandé son utilisation dans le programme, pouvant dans des cas spéciaux simuler la résistance en tête de mur au moyen d'une charge horizontale appliquée en tête, si vous vous assurez au préalable que la dite charge annule les déplacements en tête.

- **Poussée passive.** Lorsque le mur se déplace contre le terrain et le comprime, celui-ci réagit. En fonction du déplacement du mur et du type de sol, il peut se développer un % de cette poussée passive ou sa totalité, ce qui exigerait de grandes déformations, sauf si le terrain est très rigide (très compact), c'est-à-dire de la roche. Il s'agit toujours d'une 'réaction'. En général il ne se développe pas totalement, c'est pourquoi il est recommandé de considérer un % de celui-ci. Sa valeur est largement supérieure à celle de la poussée active. Elle est à manier avec prudence.

On associe à cette poussée la définition de 'cote de poussée passive', en-dessous de laquelle elle est considérée, et jamais au-dessus. La cote de la base du mur est zéro '0' et la cote de la poussée passive est également zéro '0'. Cela signifie que si vous activez un % de la poussée elle n'agira que sur l'épaisseur de la semelle. Si vous augmentez la cote de la poussée passive, il peut apparaître le paradoxe d'obtenir une résultante passive supérieure à celle de la poussée active, ce qui n'est pas logique.

Revoyez les diagrammes des efforts tranchants pour que cela ne se produise pas ou laissez toujours la cote de la poussée passive en dessous de la cote de la base du mur.

- **Sans poussées.** Cette situation permet que le terrain qui réagit ne développe aucun type de poussée et que seul son poids soit considéré en tant que composante verticale pesant sur la semelle.

Pour obtenir des informations sur le calcul de ces poussées consultez le manuel **Annexe calcul des poussées**.

1.4. Résultats

1.4.1. Elévation du mur

Vous pouvez consulter le récapitulatif des vérifications à l'écran en utilisant les options de dimensionnement ou de

vérification du programme. A côté de chaque vérification est indiqué le paragraphe correspondant de la norme qui doit être respectée. Dans le cas où celle-ci ne présenterait pas un critère à vérifier, il sera utilisé le critère propre de CYPE Ingenieros ou d'une quelconque bibliographie reconnue à ce sujet.

Pour cette raison, il est très important que vous révisiez ce récapitulatif, car il vous indiquera toutes les vérifications effectuées, les valeurs de calcul et celles de la norme.

Consultez-le dès que vous en exprimez le besoin et, en cas de doute, listez-le pour vous assurer le respect de tous les points de vérification.

Les états à vérifier sont les suivants :

1.4.1.1. Vérification du cisaillement à la base du mur

Il est vérifié que l'effort tranchant de calcul à l'union entre l'élévation du mur et la semelle est inférieur à l'effort tranchant résisté par la section en ce point, en prenant en compte la section de béton et le ferrailage mis en place.

1.4.1.2. Epaisseur minimale

L'épaisseur minimale est limitée selon la norme.

1.4.1.3. Pourcentage géométrique minimal

Afin de contrôler la fissuration due aux déformations générées par les effets de la température ou du retrait, des pourcentages minimaux d'armature sont imposés selon la norme.

1.4.1.4. Pourcentage mécanique minimal

Des pourcentages mécaniques minimaux pour l'armature verticale sont exigés pour que des ruptures fragiles ne se

produisent pas à la fissuration de la section sous les efforts de flexion composée.

1.4.1.5. Pourcentage géométrique maximal

Un maximum est imposé pour le pourcentage d'armature verticale totale.

1.4.1.6. Séparation minimale des armatures

Pour permettre un bétonnage correct, une séparation libre minimale est exigée entre les armatures selon la norme.

1.4.1.7. Séparation maximale des armatures

Cette limite est établie afin d'éviter qu'il reste des zones non ferrillées. On peut considérer qu'il s'agit d'une condition minimale pour rester dans le domaine du 'béton armé' contrairement au 'béton non armé'.

1.4.1.8. Vérification sous flexion composée

La justification résistante de la section est réalisée en utilisant comme règle constitutive du béton le diagramme déformations-contraintes simplifié parabole-rectangle apte pour distinguer la zone des efforts de rupture sous flexion composée de celle de non-rupture d'une section en béton armé. La vérification sous flexion composée a été définie pour toutes les normes que le programme permet d'utiliser selon ses indications quant à l'intégration des contraintes dans la section et aux pivots qui délimitent les déformations maximales permises par les matériaux constitutifs (acier et béton).

A moment de réaliser cette vérification, la précaution est prise d'ancrer les armatures dans le but de pouvoir les considérer effectives dans le calcul sous flexion composée.

De plus, comme les efforts de flexion composée agissent conjointement à l'effort tranchant, il se produit une

interaction entre les deux types d'effort. Ce phénomène est pris en compte en décalant la courbe enveloppe des moments fléchissants dans le sens le plus défavorable, d'une distance déterminée par la norme utilisée.

1.4.1.9. Vérification à l'effort tranchant

La vérification de cet état-limite ultime est réalisée de la même manière que sous flexion composée. Comme la section ne présente pas d'armature transversale seule est considérée la contribution du béton pour la résistance à l'effort tranchant. La valeur de la contribution du béton sous effort tranchant est évaluée à partir d'un terme V_{cu} obtenu de manière expérimentale. Ce terme est inclus en général dans la vérification de l'effort tranchant ultime par traction dans l'âme de la section. Dans l'application, les diverses expressions qui évaluent cette composante V_{cu} selon la norme choisie ont été considérées.

1.4.1.10. Vérification de la fissuration

L'état limite de fissuration est un état limite de service qui se vérifie afin de contrôler l'apparition de fissures dans les structures en béton. Dans le cas des murs, le contrôle de la fissuration est très important puisque celle-ci se produit principalement sur la face extrados. Cette zone, où il est possible que la corrosion des armatures soit abondante, ne peut être observée visuellement. Il peut alors se produire la détérioration de la structure sans qu'il soit possible d'apprécier les effets négatifs qui se produisent sur le mur. Il faut donc contrôler les fissures générées par les actions qui agissent sur le mur (terrain, niveau phréatique, surcharges...), et non les fissures dues au retrait et à la température qui sont déjà prévenues en considérant des minimums géométriques d'armature.

Pour le calcul de la fissuration (contrainte limite des barres ou ouverture limite de la fissure, selon la norme), un processus simplifié en flexion simple a été conduit, avec lequel on obtient des résultats du côté de la sécurité par rapport à ceux qui pourraient s'obtenir en appliquant les

méthodes en flexion composée.

Pour les différentes normes utilisées les résultats obtenus sont comparés avec les limites imposées par chaque norme, selon le type d'exposition ou de fissuration à laquelle notre structure se trouve exposée. A la différence des états-limites ultimes de flexion composée et d'effort tranchant dans lesquels les combinaisons d'actions correspondantes sont utilisées, dans le cas de la fissuration les combinaisons employées sont celles des actions correspondantes aux états-limites de service. Le programme calcule la contrainte de traction des barres ou ouverture caractéristique des fissures w_k pour toutes les hypothèses de chargement.

Le calcul est répété à différentes cotes du voile selon le même procédé que pour les vérifications sous flexion composée et sous effort tranchant. La valeur la plus défavorable est alors extraite et comparée avec la valeur limite de contrainte dans les barres ou d'ouverture des fissures, tel qu'indiqué dans la norme. Il est possible ainsi de s'assurer du respect ou non de cet état-limite de service.

1.4.1.11. Vérification des longueurs de recouvrement

Le calcul des longueurs de recouvrement est effectué selon les différentes normes contemplées.

1.4.1.12. Vérification de l'ancrage de l'armature de base en tête

Le calcul des longueurs d'ancrage est effectué selon les différentes normes contemplées.

1.4.2. Semelle du mur

Le chargement d'un mur est converti et discrétisé en un diagramme de charges le long du mur. Cela revient à

convertir une résultante en un diagramme de contraintes appliquées le long de la base du mur, avec une discrétisation que le programme réalise internement selon ses dimensions.

Les états à vérifier sont les suivants :

1.4.2.1. Vérification de la stabilité au renversement/glissement

En appliquant les combinaisons d'états-limites correspondantes, il est vérifié que la résultante reste appliquée à l'intérieur de la semelle et le programme calcule le coefficient de stabilité au renversement et au glissement.

1.4.2.2. Contraintes sur le terrain

On suppose un diagramme de déformation plan sur la semelle, ce qui amènera des diagrammes de contraintes sur le terrain de forme trapézoïdale en fonction des efforts. Les tractions ne sont pas admises, ce qui signifie que lorsque la résultante sort du noyau central, des zones sans contraintes apparaîtront. La résultante doit rester à l'intérieur de la semelle, sinon il n'y a pas équilibre. Le poids propre de la semelle est considéré.

Il est vérifié que la contrainte moyenne n'excède pas celle du terrain et que la tension maximale sur le bord n'excède pas un % de la contrainte moyenne.

1.4.2.3. Epaisseur minimale

L'épaisseur minimale est vérifiée selon la norme.

1.4.2.4. Longueurs d'ancrage

L'ancrage aux extrémités des armatures est vérifié, en prévoyant les coudes correspondants selon les cas et selon la position de l'armature.

1.4.2.5. Diamètre minimal des barres

Le diamètre doit être au moins celui indiqué par la norme.

1.4.2.6. Séparation maximale des armatures

Cette limite est établie afin d'éviter que restent des zones non ferrillées. On peut considérer qu'il s'agit d'une condition minimale pour rester dans le domaine du 'béton armé' contrairement au 'béton non armé'.

1.4.2.7. Séparation minimale des armatures

Une séparation libre minimale est exigée entre les armatures selon la norme.

1.4.2.8. Flexion dans la semelle

Elle se vérifie dans la section de référence située à 0.15 fois la dimension du mur vers son intérieur. Le dimensionnement à flexion oblige à disposer des épaisseurs pour que des armatures de compression ne soient pas nécessaires. Dans le cas où des tractions apparaîtraient sur la face supérieure de la semelle une armature supérieure sera mise en place.

1.4.2.9. Effort tranchant

La section de référence se situe à une hauteur utile de la semelle à partir du parement du mur. Le dimensionnement à l'effort tranchant oblige à disposer des épaisseurs pour que des renforts transversaux ne soient pas nécessaires.

1.4.2.10. Pourcentages géométrique et mécanique

Le respect des pourcentages mécaniques et géométriques minimaux est vérifié selon la valeur indiquée par la norme.

1.4.2.11. Dimensionnement de la géométrie

Le programme permet de dimensionner la géométrie de l'élévation du mur et de la semelle.

Le critère de dimensionnement pour le voile est le suivant :

- Epaisseur supérieure = 0.25 (m)
- Epaisseur inférieure = $0.11 \times$ Hauteur des terres équivalentes (m). Le programme calcule le moment à la base du mur produit par le terrain sur l'extrados et les charges qui pourraient exister sur le terrain et en tête de mur. A partir de ce moment une hauteur de terrain équivalente est calculée, c'est-à-dire celle qui produirait le moment précédemment calculé.

Le critère de dimensionnement pour la semelle est le suivant:

- Epaisseur = valeur supérieure des suivantes :
 - a) $0.10 \times$ Hauteur des terres équivalentes (m)
 - b) $0.50 \times$ Débord maximal (s'il a été choisi l'option **Ouvrage > Options > Semelle > Dimensionnement épaisseur > Rigide**).
 - c) $0.33 \times$ Débord maximal (s'il a été choisi l'option **Ouvrage > Options > Semelle > Dimensionnement épaisseur > Flexible**).
- Débords. Le dimensionnement est effectué de telle manière qu'il y ait équilibre dans la semelle (au renversement et au glissement) et que la mobilisation du sol ne soit pas excessive.

2. Description du programme

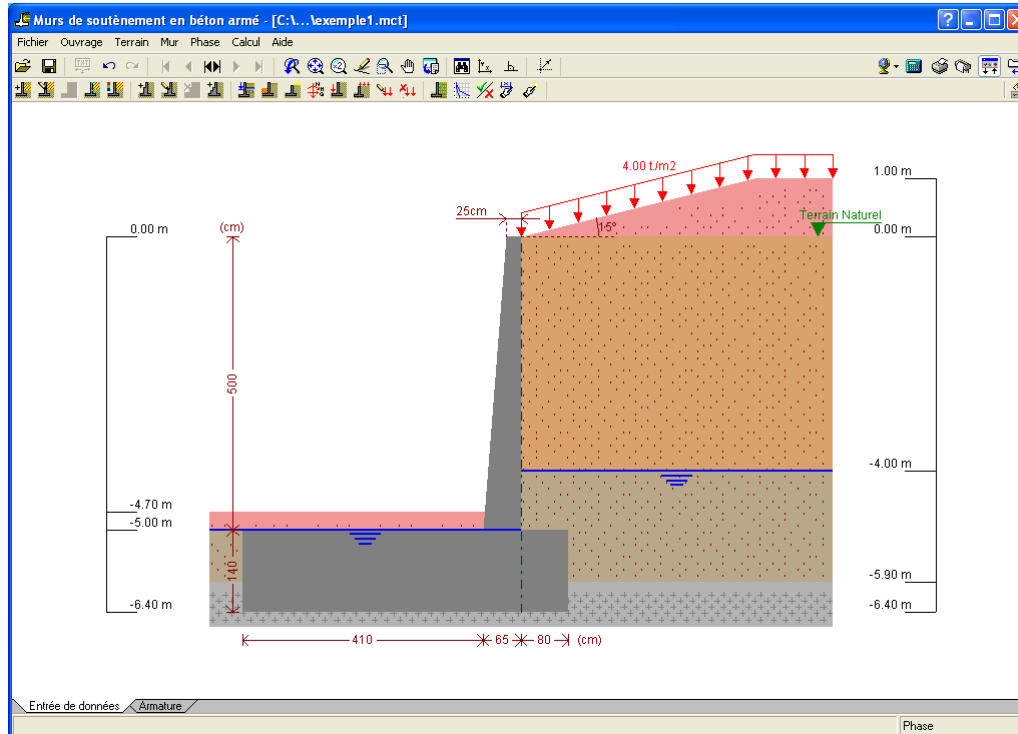


Fig. 2.1

2.1. Menus du programme

Les menus du programme et les dialogues qui s'ouvrent en exécutant certaines options disposent d'une aide à l'écran. Cette aide est disponible de trois manières différentes:

2.1.1. Touche F1

La manière d'obtenir de l'aide sur une option de menu est la suivante : dérouler le menu, se situer sur l'option et, sans l'exécuter, taper sur la touche **F1**.

2.1.2. Icône avec le point d'interrogation

Dans la barre de titre de la fenêtre principale du programme il existe un icône avec le point d'interrogation. Vous pouvez obtenir une aide spécifique sur une option du programme de la manière suivante: cliquez sur l'icône; déroulez le menu qui contient l'option pour laquelle vous souhaitez consulter l'aide, puis cliquez sur l'option. Une fenêtre apparaîtra avec l'information sollicitée.

Pour désactiver ce type d'aide vous disposez de plusieurs possibilités : cliquez sur le bouton droit de la souris,

cliquez sur l'icône avec le point d'interrogation ou utilisez la touche Esc.

Vous pouvez également obtenir de l'aide sur les autres icônes de la barre d'outil. Pour cela cliquez sur l'icône avec le point d'interrogation. A ce moment les icônes pour lesquels vous disposez d'une aide s'entoureront en bleu. Ensuite cliquez sur l'icône pour lequel vous souhaitez obtenir de l'aide.

Dans la barre de titre des dialogues qui s'ouvrent en exécutant quelques options du programme il existe également un icône avec le point d'interrogation. Une fois sélectionnée cet icône s'entoureront en bleu les options ou parties du dialogue pour lesquels vous disposez d'un dialogue d'aide. Cliquez sur celle que vous souhaitez pour consulter l'aide.

2.1.3. Guide rapide

L'information relative aux options de menu peut être consultée et imprimée en accédant à l'option **Aide > Guide rapide**.

Dans le guide rapide les aides spécifiques des options des boîtes de dialogue ne sont pas détaillées.

2.2. Assistant

En créant un ouvrage nouveau vous avez la possibilité d'utiliser un assistant, lequel générera les données nécessaires pour définir le mur à partir d'un nombre réduit de paramètres introduits de manière séquentielle. Il comprend le prédimensionnement de la géométrie et la génération des charges. N'importe quelle donnée introduite peut être révisée et/ou modifiée une fois l'ouvrage généré.

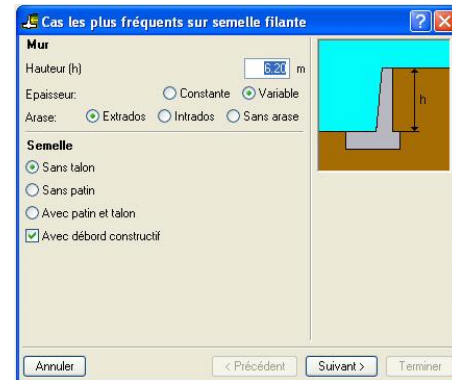


Fig. 2.2

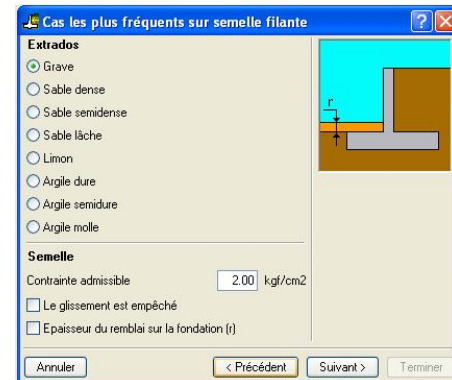


Fig. 2.3

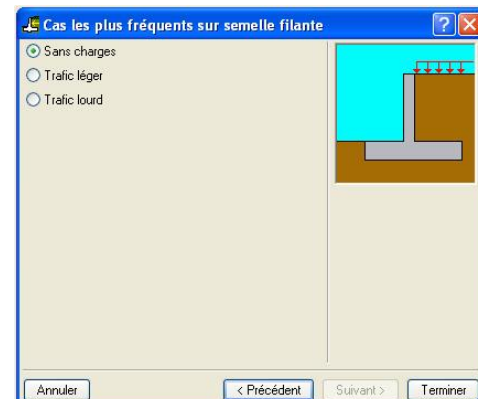


Fig. 2.4

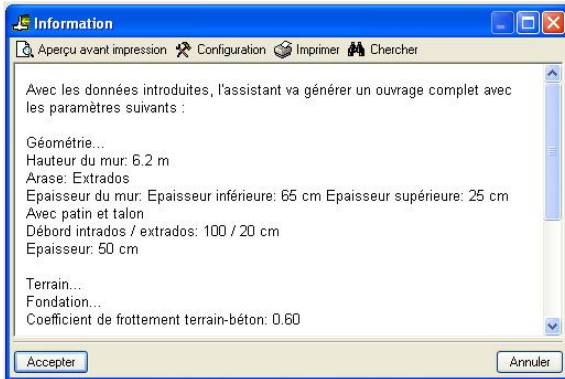


Fig. 2.5

2.3. Récapitulatifs

L'obtention de récapitulatifs s'effectue grâce à l'option **Fichier > Imprimer > Récapitulatifs de l'ouvrage**.

Les récapitulatifs peuvent être édités sur imprimante (avec aperçu avant impression, mise en page, etc.) ou bien générés sous forme de fichier HTML, PDF, RTF et TXT.

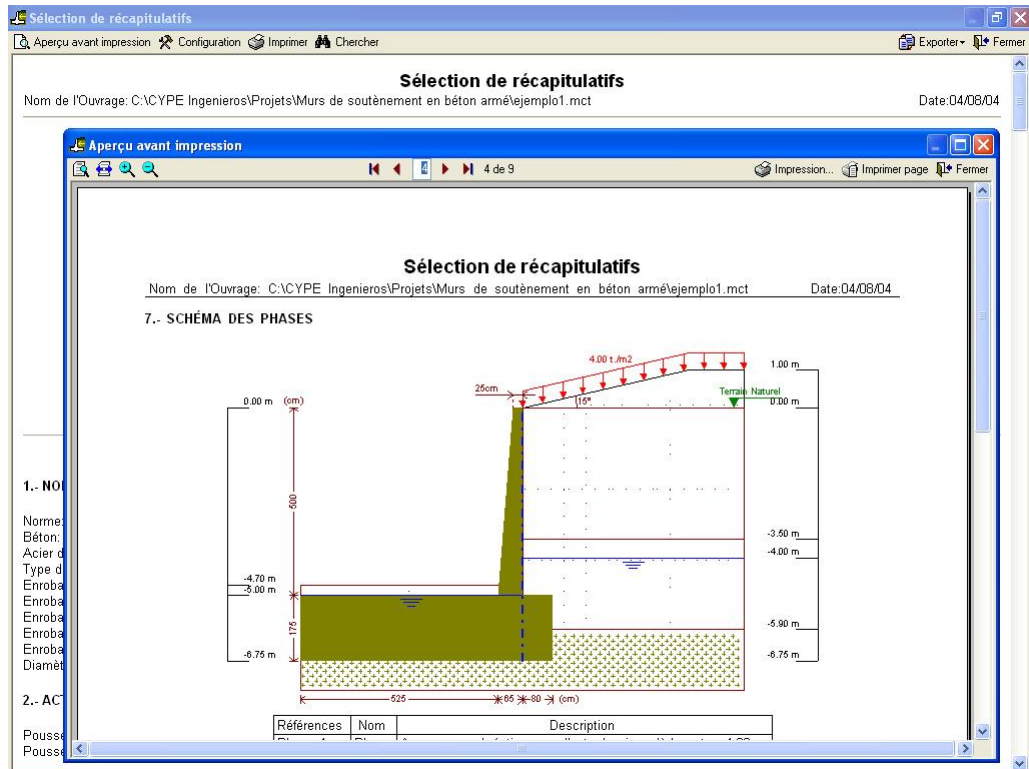


Fig. 2.6

2.4. Plans

L'obtention de plans s'effectue grâce à l'option **Fichier > Imprimer > Plans de l'ouvrage**.

Les opérations suivantes peuvent être réalisées pour le tracé des plans :

- La fenêtre Sélection de plans permet d'ajouter un ou plusieurs plans pour imprimer simultanément et spécifier le périphérique de sortie: imprimante, plotter, DXF ou DWG; sélectionner un cartouche (de CYPE ou défini par l'utilisateur) et configurer les calques.

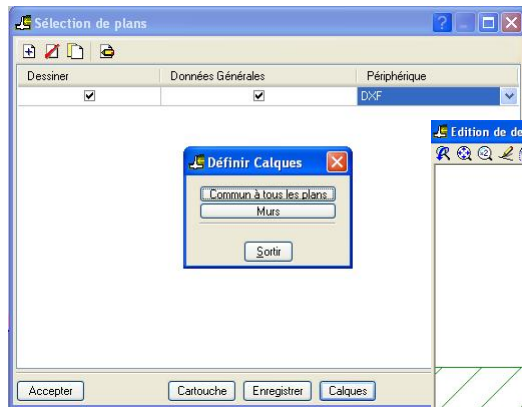


Fig. 2.7

- Dans chaque plan vous pouvez configurer les éléments à imprimer, avec la possibilité d'inclure des détails constructifs de l'utilisateur préalablement importés.



Fig. 2.8

- Modifier la position des textes.

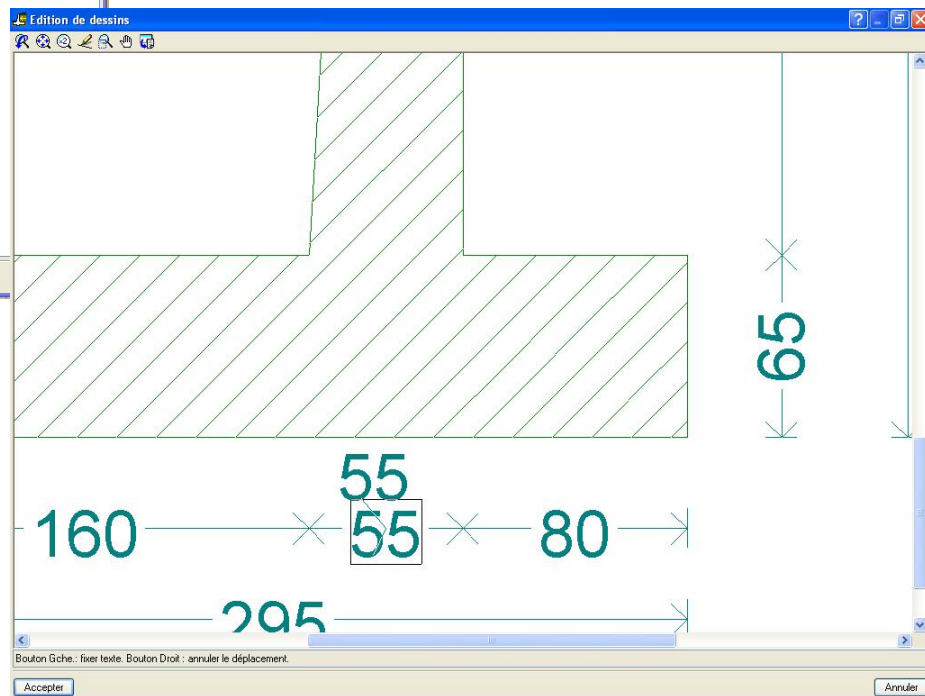


Fig. 2.9

- Repositionner les objets à l'intérieur du même plan ou les déplacer vers un autre.

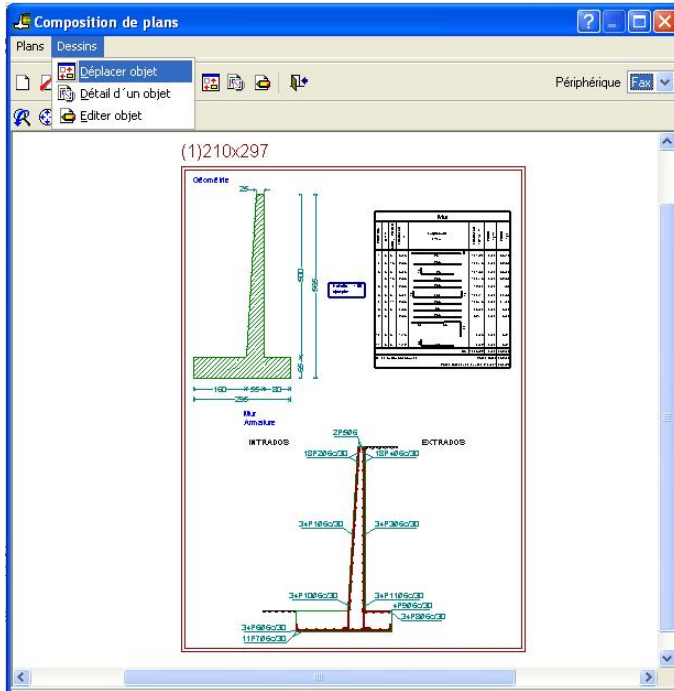


Fig. 2.10