

METHODES DE CALCUL DES ECRANS DE SOUTENEMENT

L'objet de ce chapitre est de déterminer les forces de poussée et de butée en fonction de la géométrie des ouvrages de soutènement et du massif de sol retenu, des caractéristiques mécaniques du sol et des déplacements relatifs de l'écran par rapport au sol.

Ainsi, le chapitre présente les méthodes analytiques de calcul d'un ensemble de types d'écrans de soutènement.

1. METHODES DE CALCUL DES ECRANS

Les méthodes de calcul des écrans de soutènement en usage aujourd'hui sont très diverses. Des méthodes complètement empiriques et des méthodes reposant uniquement sur des modèles théoriques, des méthodes prétendant rendre compte du comportement en service des ouvrages, tout en étant qualifiées de méthodes « à la rupture ».

Dans ce qui suit nous avons exposé seulement les méthodes théoriques utilisées dans ce domaine [13].

1.1. Ecran encastré

L'équilibre est assuré par l'encastrement dans la fouille créé par une butée et une contre butée respectivement au-dessus et au-dessous du centre de rotation. On considère forfaitairement que la contre-butée s'applique sur $0,2 f_0$ au-dessous du centre de rotation O (figure 2.7).

Au-dessus du point O

- ❖ à l'amont s'exercent des contraintes de poussée entre les points A et O
- ❖ à l'aval s'exercent des contraintes de butée entre les points F et O

En dessous du point O

- ❖ à l'amont s'exercent des contraintes de butée entre les points O et K
- ❖ à l'aval s'exercent des contraintes de poussée entre les points O et K .

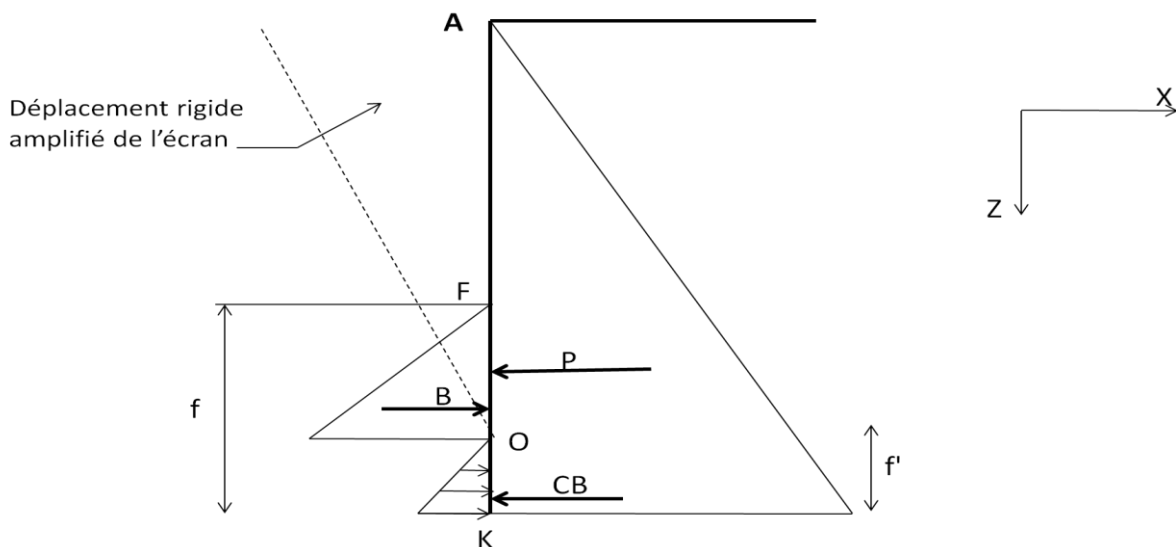


Figure 2.7 : Répartition des contraintes sur l'écran encastré

Généralement, entre les points **A** et **O**, on représente les contraintes différentielles butée moins poussée (figure 2.8).

On nommera $\mathbf{P}'$ et $\mathbf{B}'$ les efforts résultant, respectivement, des poussées différentielles et des butées différentielles.

On appelle contraintes de contre-butée sous le point **O**, entre **O** et **K**, les contraintes différentielles entre butée et poussée. On fait, très généralement, deux simplifications de calcul.

- ❖ La répartition des contraintes de contre-butée est trapézoïdale. La longueur f'' sur laquelle s'appliquent ces contraintes étant faible, on simplifie en considérant une répartition rectangulaire (figure 2.7)
- ❖ La résultante des contraintes de contre-butée $\mathbf{CB}$ est transportée et appliquée au point $\mathbf{O}$.
- ❖ La longueur f'' , fiche de contre-butée, est prise forfaitairement égale à $0,2 f_0$. Cette valeur est sécuritaire. Des calculs «plus précis» montrent que l'on obtiendrait une longueur f'' inférieure à $0,2 f_0$.

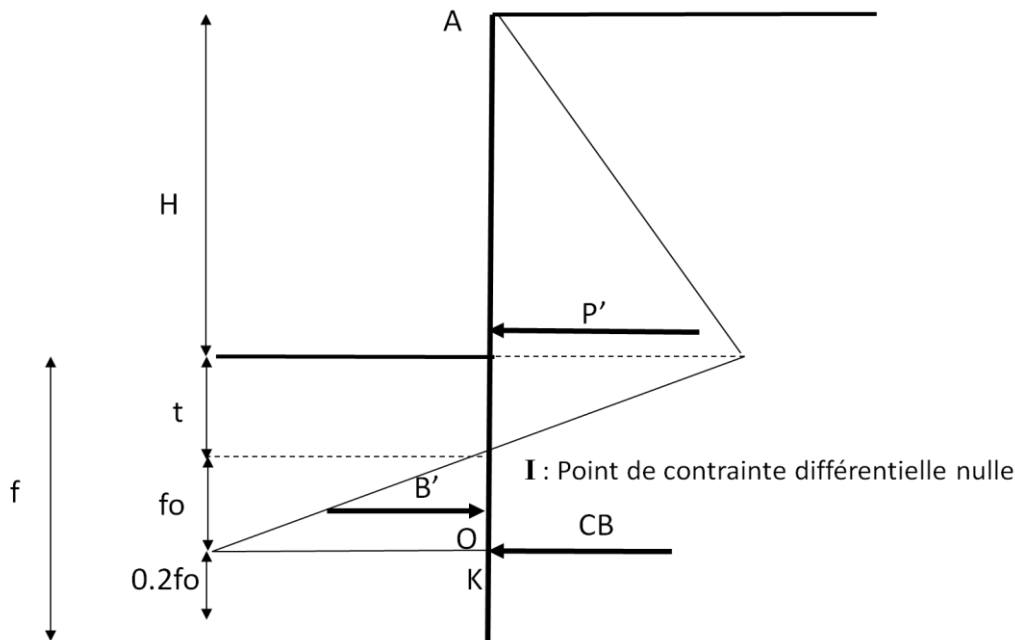


Figure 2.8 : Schéma de calcul de l'écran encastré

Le dimensionnement de l'écran consiste à

- ❖ déterminer la valeur totale de la fiche **f**
- ❖ déterminer les sollicitations
- ❖ calculer les sollicitations internes (**N**, **M** et **V**) pour déterminer le module de la palplanche ou l'épaisseur et le ferrailage de la paroi moulée.

Le problème comporte deux inconnues

- ❖ la contre-butée **CB**.
- ❖ la valeur de f_0 d'où on tire la valeur de f

Les équations de la statique fournissent deux équations :

- ❖ Équilibre des forces horizontales (suivant x)
- ❖ équilibre des moments extérieurs (suivant y)

Actuellement, on ne vérifie pas l'équilibre des forces verticales

On détermine f_0 en écrivant l'équation des moments extérieurs par rapport à O (équation du 3^{ème} degré). La valeur totale de la fiche sera :

$$f = t + f_0 + 0,2 f_0$$

- ✓ On peut calculer CB par l'équation :

$$B' = P' + CB$$

- ✓ Le calcul du moment fléchissant maximum détermine le module de la palplanche ou l'épaisseur de ferrailage de la paroi moulée (figure 2.9)

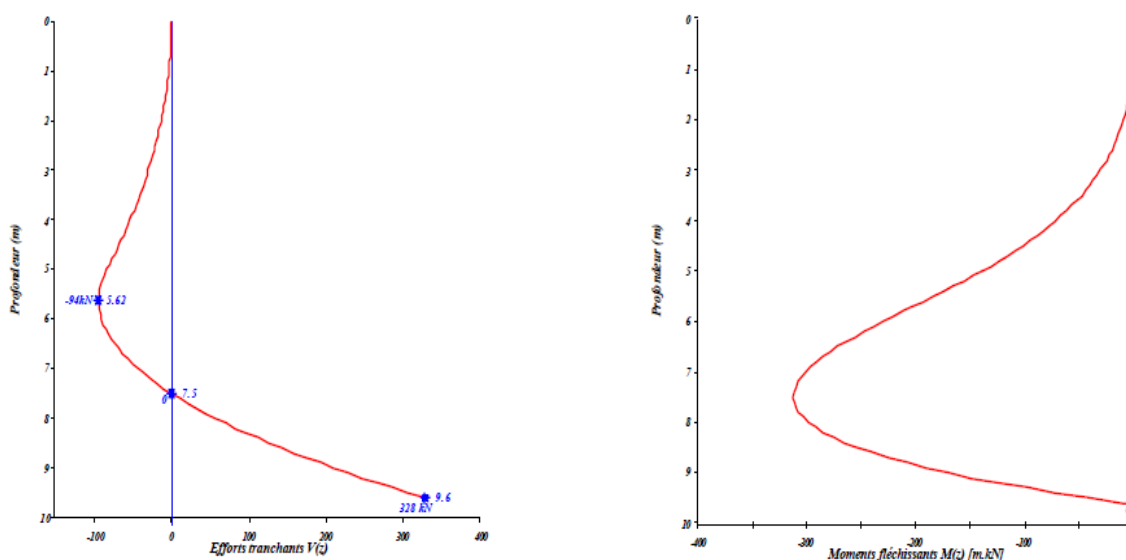


Figure 2.9 : Exemple de diagrammes d'efforts tranchants et de moments fléchissant

Actuellement, on dimensionne ce type d'écran en prenant un coefficient de sécurité de 2 (ou 1,5 pour les écrans temporaires) sur le coefficient de butée K_p

1.2. Ecran appuyé en tête et simplement buté en pied

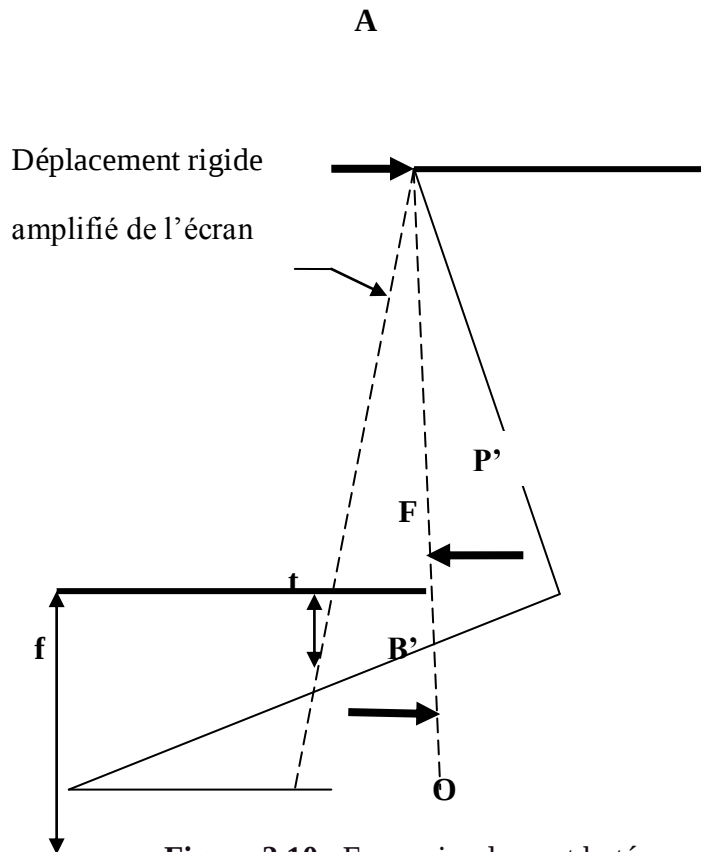


Figure 2.10 : Ecran simplement buté

L'équilibre est assuré par l'appui **A** et la butée **B'** (figure 2.10). La ruine de l'ouvrage se produira par absence suffisante de butée **B'** ou par défaut accidentel d'appui **A**.

La position de l'appui **A** se situe, généralement, à une certaine distance du sommet.

Au-dessus du point **O**,

- ✓ à l'amont s'exercent des contraintes de poussée entre les points **A** et **O**
- ✓ à l'aval s'exercent des contraintes de butée entre les points **F** et **O**.

On peut représenter les contraintes différentielles butée moins poussée entre les points **F** et **O**. On nommera les efforts résultants, respectivement, des poussées différentielles et des butées différentielles.

On peut prendre la sécurité suivant deux approches

- ❖ soit on majore, a posteriori, la longueur limite de la fiche en multipliant par :
 - ✓ $\sqrt{2}$ pour un sol grenu
 - ✓ 2 pour un sol fin

Les sollicitations internes (**M**, **V**) sont calculées sur la longueur de la fiche limite **f** non majorée.

- ❖ soit on minore, a priori, la valeur du coefficient de butée K_p en le divisant par 2 (par exemple) pour un ouvrage permanent ou 1,5 (par exemple) pour un ouvrage temporaire.

Dans ce cas, les sollicitations internes (M , V) sont calculées sur la longueur limite de la fiche f déterminée avec $K_p/2$ (ou $K_p/1.5$).

Cette approche est très généralement beaucoup plus défavorable que la majoration, a posteriori, tant pour la longueur de la fiche que pour les sollicitations internes.

Le dimensionnement de l'écran consiste à

- ❖ déterminer la longueur de la fiche
- ❖ calculer les sollicitations internes (M , V) pour déterminer le module de la palplanche ou l'épaisseur et le ferrailage de la paroi moulée.

Le problème comporte deux inconnues : la fiche f et la réaction à l'appui A .

Les équations de la statique fournissent deux équations :

- ❖ équilibre des forces horizontales (suivant x)
- ❖ équilibre des moments externes (suivant y)

Actuellement, on ne vérifie pas l'équilibre des forces verticales.

On détermine la fiche f en écrivant l'équation des moments extérieurs par rapport au point d'application de l'appui A (équation du 3^{ème} degré)

On déduit l'effort de l'appui A en écrivant l'équilibre des forces horizontales :

$$A + B = P'$$

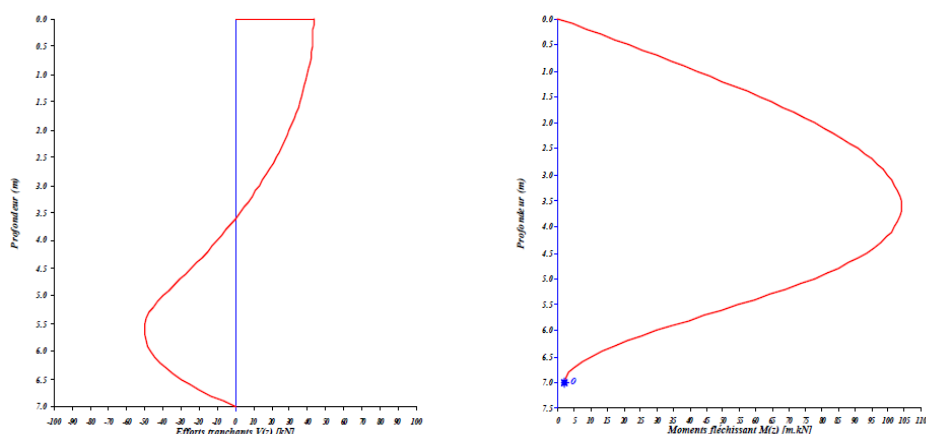


Figure 2.11 : Exemple de diagrammes d'efforts tranchants et de moments fléchissant

Les calculs des moments fléchissant, à l'appui (éventuellement) et dans la fiche déterminent le module de la palplanche ou l'épaisseur de la paroi moulée (figure 2.11)

1.3. Ecran encastré en pied et appuyé en tête

L'équilibre surabondant est assuré par l'encastrement dans la fouille créé par une butée et une contre butée, respectivement, au-dessus et au-dessous du centre de rotation et par l'appui en tête. L'appui **A** est, généralement, appliqué à une certaine distance du sommet de l'écran. On considère forfaitairement que la contre-butée s'applique sur $0,2 f_0$, au-dessous du centre de rotation **O** (figure 2.12).

Au-dessus du point **O**

- ❖ à l'amont s'exercent des contraintes de poussée entre les points **A** et **O**
- ❖ à l'aval s'exercent des contraintes de butée entre les points **F** et **O**

En dessous du point **O**

- ❖ à l'amont s'exercent des contraintes de butée entre les points **O** et **K**
- ❖ à l'aval s'exercent des contraintes de poussée entre les points **O** et **K**.

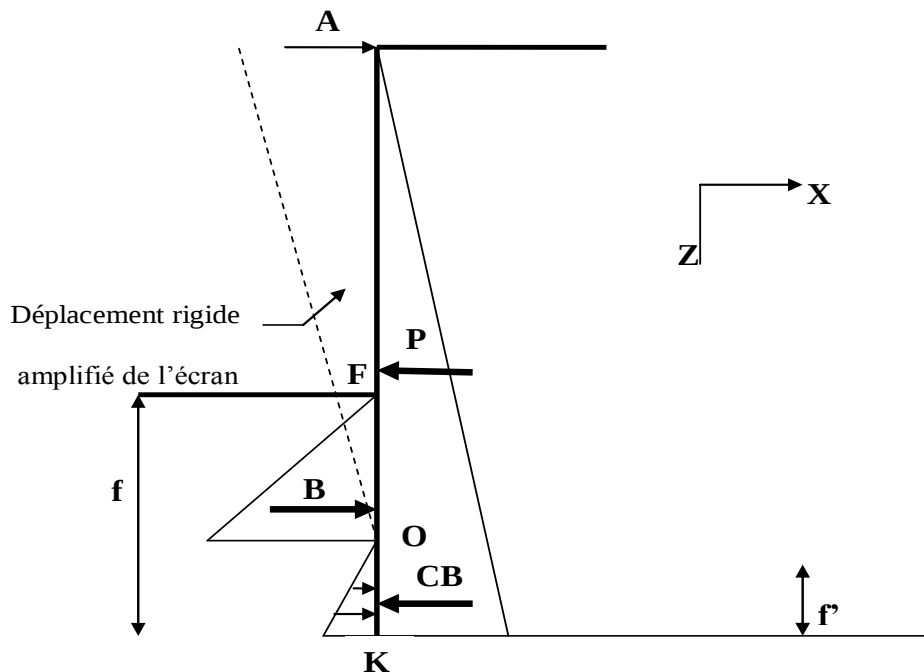


Figure 2.12 : Répartition des contraintes sur l'écran encastré

Généralement, entre les points **F** et **O**, on représente les contraintes différentielles butée moins poussée (figure 2.13). On nommera **P'** et **B'** les efforts résultant, respectivement, des poussées différentielles et des butées différentielles.

On appelle contraintes de contre-butée sous le point **O**, entre **O** et **K**, les contraintes différentielles entre butée et poussée. On fait, très généralement, deux simplifications de calcul, comme pour l'écran simplement encastré.

- ❖ La répartition des contraintes de contre-butée est trapézoïdale. La longueur f' sur laquelle s'appliquent ces contraintes étant faible, on simplifie en considérant une répartition rectangulaire (figure 2.12)
- ❖ La résultante des contraintes de contre-butée **CB** est transportée et appliquée au point **O**.
- ❖ La longueur f' , fiche de contre-butée, est prise forfaitairement égale à $0,2 f_0$. Cette valeur est sécuritaire. Des calculs «plus précis» montrent que l'on obtiendrait une longueur f' inférieure à $0,2 f_0$.

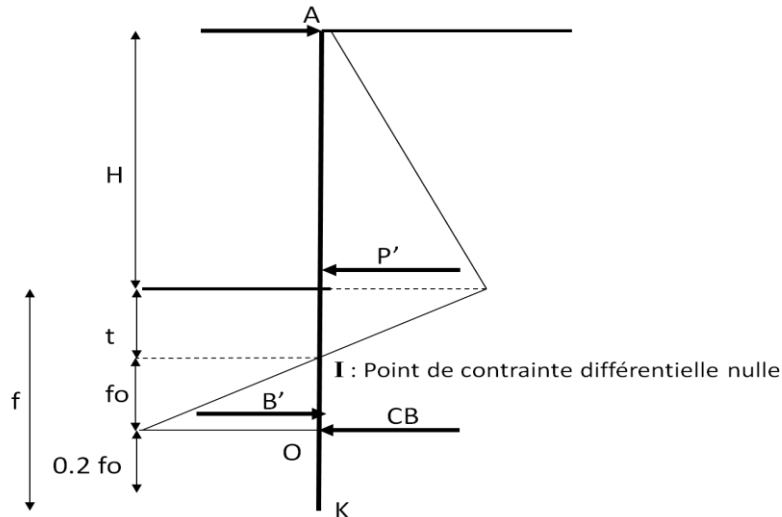


Figure 2.13 : Schéma de calcul de l'écran encastré

Le problème comportant trois inconnues et les équations de statique ne procurant que deux équations, il faut faire une hypothèse supplémentaire.

La méthode généralement utilisée, s'appuie sur la méthode de BLUM qui donne la position du point de moment fléchissant nul en fonction de l'angle de frottement interne $\varnothing'$. On simplifie souvent, en taisant l'hypothèse que le point de moment fléchissant est confondu avec le point de pression différentielle nulle **I**. Cette méthode est appelée : méthode de la poutre équivalente.

On considère donc deux poutres, la poutre supérieure **AI** et la poutre inférieure **IO**

On dimensionne la fiche totale de l'écran suivant les étapes suivantes :

- On calcule le point de contrainte différentielle nulle **I** à **t**, sous le fond de fouille, pour séparer les deux poutres.
- la poutre supérieure **AI** est soumise à la réaction d'appui **A**, à la poussée différentielle **P'** et à la réaction d'appui **R** (figure 2.14). l'équation des moments extérieurs par rapport à **I** permet de calculer l'effort **A**.
- la poutre inférieure **IO** est soumise à la réaction d'appui **R** en **I**, à la butée **B'** et à la contre-butée **CB** en **O** (figure 2.14). L'équation des moments extérieurs par rapport à **I** permet de déterminer la valeur de la contre-butée **CB**.

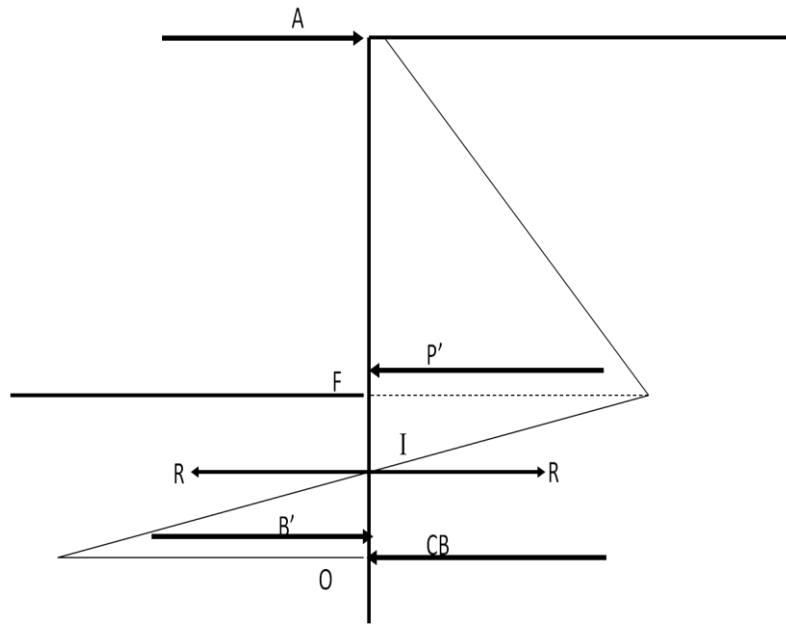


Figure 2.14 : Méthode de la poutre équivalente

✓ L'équilibre des forces de l'ensemble des deux poutres

$A + B' = P' + CB$ détermine la valeur de f_0 (équation du 2^{ème} degré)

✓ La valeur de la fiche totale est :

$$f = t + f_0 + 0,2 f$$

Dans cette configuration d'écran encastré en pied et appuyé en tête (degré 1 d'hyperstaticité), on a coutume de ne prendre ni sécurité sur la fiche, ni sécurité sur le coefficient de butée.

On calcule ensuite les sollicitations dans l'écran (M , V) pour la poutre supérieure et la poutre inférieure pour déterminer le module de la palplanche ou l'épaisseur et le ferrailage de la paroi moulée (figures 2.15 et 2.16)

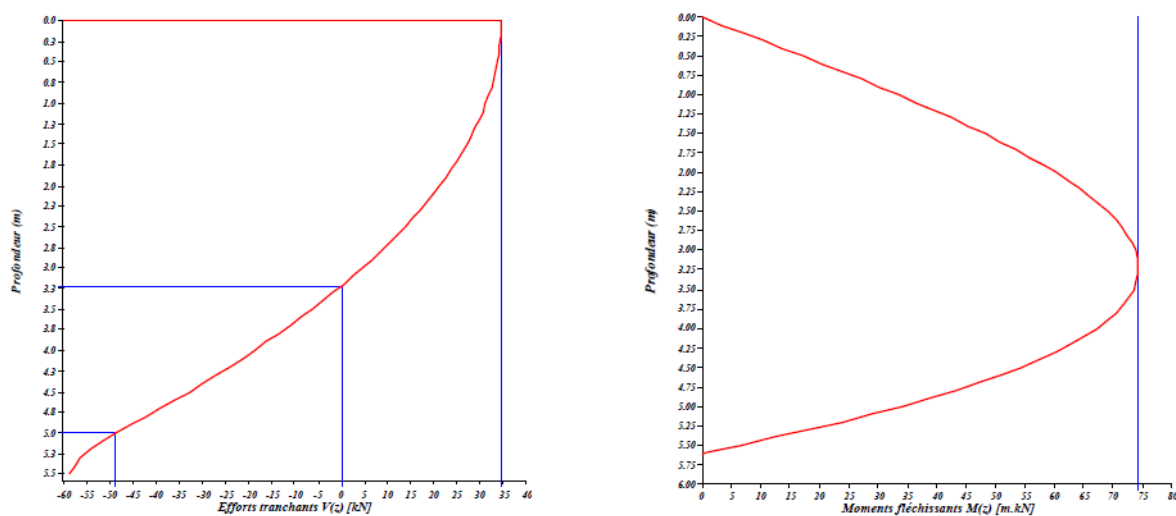


Figure 2.15 : Exemple de diagrammes d'efforts tranchants et de moments fléchissant pour la poutre supérieure AI

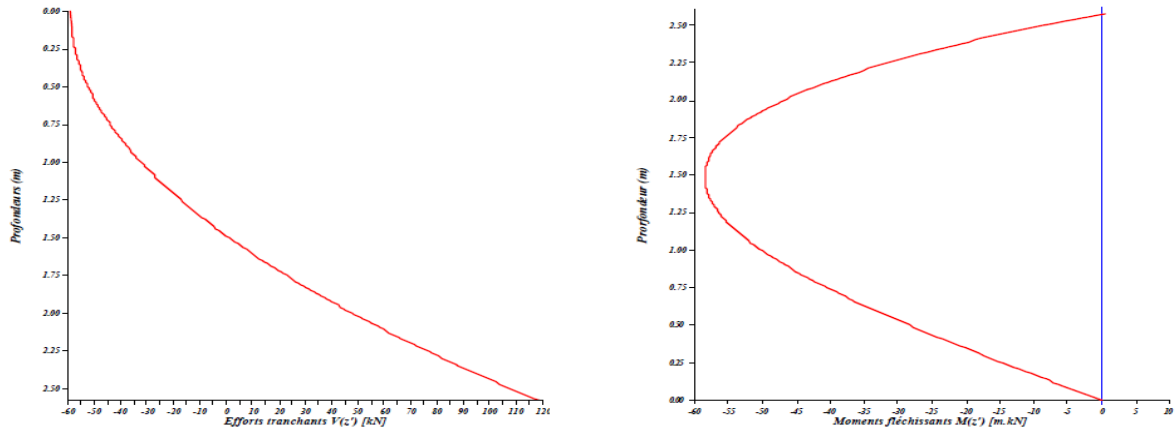


Figure 2.16 : Exemple de diagrammes d'efforts tranchants et de moments fléchissant pour la poutre inférieure IO)

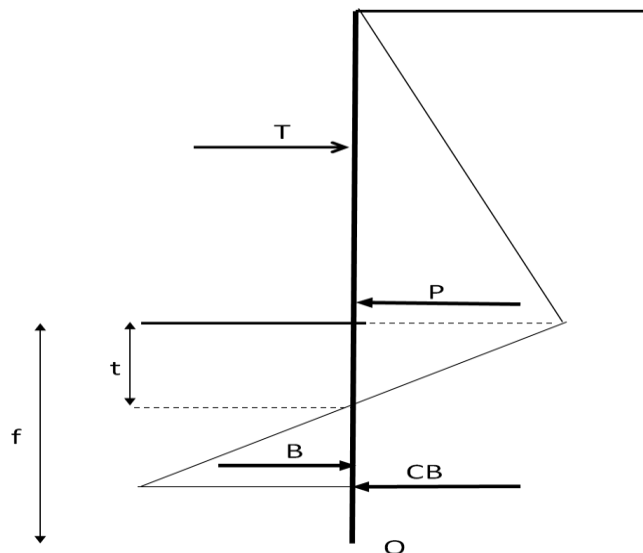


Figure 2.17 : Écran appuyé en tête et encastré en pied

- 1.3.1. **Méthode de la ligne élastique :** Le rideau étant supposé parfaitement encastré, on écrit que le déplacement et la rotation sont nuls au point **O** d'application de la contrebutée. On itère sur la valeur de la fiche F jusqu'à approcher suffisamment cette condition.
- 1.3.2. **Méthode de BLUM :** On l'utilise en principe seulement pour les sols grenus. La méthode de BLUM donne la position du point de moment fléchissant nul en fonction de l'angle de frottement interne ϕ . On est donc ramené au calcul de 2 poutres.

1.3.3. Méthode de la poutre équivalente : C'est la méthode généralement utilisée. Elle consiste à faire l'hypothèse que le point de moment fléchissant nul est confondu avec le point de pression différentielle nulle **I**.

On simplifie les calculs en considérant, en plus, que la répartition de la contre-butée **CB** est uniforme sur $0,2 f_0$, et on la transporte au centre de rotation **O**. On ne prend ni sécurité sur le coefficient de butée, ni sur la longueur de la fiche.

On calcule d'abord le point de pression nulle **I** à t sous le fond de fouille pour séparer les 2 poutres.

La poutre située au-dessus du point de pression nulle **I** est soumise à la réaction de l'appui **T**, la résultante de la poussée différentielle **P** et la réaction d'appui **R**. L'équation des moments par rapport à **I** permet de déterminer la valeur de l'effort **T**. La courbe des moments fléchissant détermine les moments à l'appui et en travée au point d'effort tranchant nul.

La poutre située au-dessous du point **I** est soumise aux réactions d'appui **R** en **I** et **CB** en **O** et à la résultante de la butée différentielle **B** (figure 2.18).

L'équilibre des forces de l'ensemble des 2 poutres $T + P + B + CB = 0$ détermine la valeur de f_0 .

$$f = t + f_0 + 0,2 f_0$$

La courbe des moments fléchissant donne le moment maximum, au point d'effort tranchant nul, dans la fiche.

On placera, autant que faire se peut, l'appui de telle façon que les valeurs absolues des moments dans poutres soient sensiblement égales.

