

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES MARITIMES ET FLUVIALES

**Recommandations
pour le
CALCUL AUX ETATS-LIMITES
DES OUVRAGES EN SITE AQUATIQUE**

Série : DISPOSITIONS COMMUNES

**PARAMETRES
D'INTERACTION SOL-
STRUCTURE**

[Sommaire : pages 2 et 3](#)

[Chapitre 3 : pages 20 à 24](#)

**RECOMMANDATIONS
POUR LE CALCUL AUX ETATS-LIMITES
DES OUVRAGES EN SITE AQUATIQUE**

PARAMETRES D'INTERACTION SOL-STRUCTURE

TABLE DES MATIERES

1. OBJET	4
2. MODELES D'INTERACTION	5
2.1 LOI D'INTERACTION AVEC UN SOUTÈNEMENT SOUPLE	5
2.1.1 COURBE DE REACTION	5
2.1.2 FORMULATIONS DU COEFFICIENT DE REACTION	6
2.1.3 APPLICATION	7
2.1.4 SOLLICITATIONS DE COURTE DUREE	8
2.2 LOI D'INTERACTION TRANSVERSALE AVEC UN ELEMENT DE FONDATION PROFONDE	8
2.2.1 COURBE DE REACTION	8
2.2.2 FORMULATIONS DU COEFFICIENT DE REACTION	9
2.2.2.1 Sollicitations de courte durée d'application	9
2.2.2.2 Sollicitations de très courte durée d'application	11
2.2.2.3 Sollicitations de longue durée d'application	11
2.2.2.4 Combinaison de charges	11
2.2.3 APPLICATION	11
2.2.4 EFFET DE GROUPE	12
2.3 LOI D'INTERACTION AXIALE AVEC UN ELEMENT DE FONDATION PROFONDE	12
2.3.1 CADRE	12
2.3.2 METHODE SIMPLIFIEE	12
2.3.3 ESSAIS DE PIEUX	13
2.3.4 ESSAIS PRESSIOMETRIQUES	13
2.3.4.1 Méthode basée sur la charge de fluage	13
2.3.4.2 Méthode basée sur les lois de mobilisation	13
2.4 INCLINAISON DES PRESSIONS DU SOL	14
2.4.1 ANALYSE	14
2.4.2 MASSIFS SEMI-INFINIS	15
2.4.2.1 Soutènements-plans (ouvrages souples)	15
2.4.2.2 Soutènements-poids (ouvrages rigides et déplaçables)	16
2.4.2.3 Pieux et ducs d'Albe	17
2.4.3 MASSIFS CONFINES	17
2.4.4 PUSSEES TRANSMISES PAR LE SOL	18
2.4.5 CAS PARTICULIERS	18
2.5 PARAMETRES DE FROTTEMENT AUX INTERFACES	18
2.5.1 VIS A VIS DU GLISSEMENT	18
2.5.2 VIS A VIS DES EFFORTS VERTICAUX	20
3. VALEURS REPRESENTATIVES DES PARAMETRES D'INTERACTION SOL-STRUCTURE	20
3.1 VALEUR CARACTERISTIQUE	20
3.2 VALEUR DE CALCUL	21
3.2.1 SOUTÈNEMENT SOUPLE	21
3.2.2 ELEMENT DE FONDATION PROFONDE	22
3.2.2.1 Sous charge latérale	22
3.2.2.2 Sous charge axiale	22
3.2.3 INCLINAISON DES PRESSIONS DU SOL	23

3.2.4	<i>PARAMETRE DE FROTTEMENT</i>	23
3.2.4.1	Glissement	23
3.2.4.2	Efforts verticaux	23
3.3	POUR LES ETATS-LIMITES DE DEPLACEMENT (VALEUR DE SERVICE)	24
4.	TEXTES DE REFERENCE	24

2.5.2 VIS A VIS DES EFFORTS VERTICAUX

Les paramètres de **frottement négatif** sur les éléments de **fondation profonde**, $K \cdot \text{tg } \delta$, sont donnés dans le fascicule 62 titre V :

		Pieux forés tubés	Pieux forés	Pieux battus
Tourbes	sols organiques	0,10	0,15	0,20
Argiles	mous	0,10	0,15	0,20
Limons	fermes à durs	0,15	0,20	0,30
Sables	très lâches	0,35		
	lâches	0,45		
Graves	autres	1,00		

S'agissant de la résistance au **soulèvement** d'un ouvrage en contact avec le sol (bajoyers d'une **écluse**, par exemple), il est recommandé de négliger la présence éventuelle de la cohésion et de calculer le paramètre de frottement par :

- ◆ pour K : une valeur prudente comprise en général entre K_0 et K_a ,
- ◆ pour δ : les valeurs d'inclinaison de la poussée proposées ci-dessus, selon l'état du contact sol-paroi et les possibilités de déplacement relatif.

 Voir aussi les fascicules :

- ◆ *Quais sur pieux*
- ◆ *Écluses*

3. VALEURS REPRESENTATIVES DES PARAMETRES D'INTERACTION SOL-STRUCTURE

 Voir l'application à un CCTP.

3.1 VALEUR CARACTERISTIQUE

La **valeur caractéristique** des **paramètres d'interaction sol-structure** et des courbes de réaction est déterminée à l'aide d'un modèle dont les variables d'entrée sont prises à leur valeur caractéristique.

Si des essais sont réalisés pour déterminer les paramètres de frottement, on se basera sur la définition de la **valeur caractéristique** du fascicule *Valeurs représentatives des propriétés de base des matériaux*.

Une **fourchette** de **valeurs caractéristiques** peut être utilisée pour les paramètres qui ne sont normalement pas pondérés, en cas de forte incertitude ou de sensibilité particulière de l'ouvrage : **coefficient de pression des terres au repos**, **coefficients de réaction**, **raideur axiale des fondations profondes**.

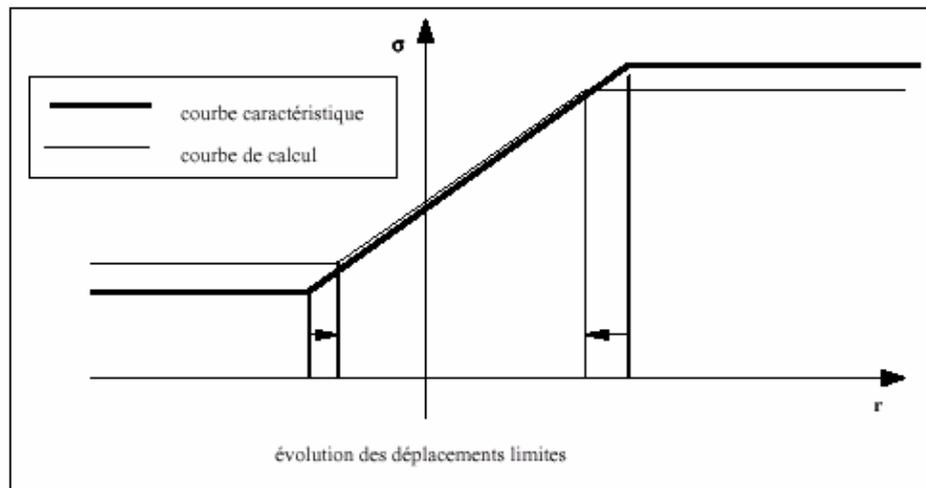
3.2 VALEUR DE CALCUL

3.2.1 SOUTÈNEMENT SOUPLE

La courbe de calcul de l'**interaction entre le sol et un écran de soutènement souple** est tracée avec les **valeurs de calcul** des pressions limites de poussée et de butée, elles-mêmes déterminées d'après les règles du fascicule *Actions du terrain*.

Le **coefficient de réaction** et la **pression au repos** restent à leur **valeur caractéristique** (ie le **coefficient partiel** qui leur est applicable vaut 1,00) : en revanche les déplacements limites évoluent.

La figure suivante représente le cas le plus courant où la prise en compte de la sécurité revient à abaisser les pressions limites de butée et à augmenter les pressions limites de poussée. Il est clair que les pondérations doivent se faire en sens inverse si la butée est **défavorable** et la poussée **favorable** (**principe de pénalisation**).

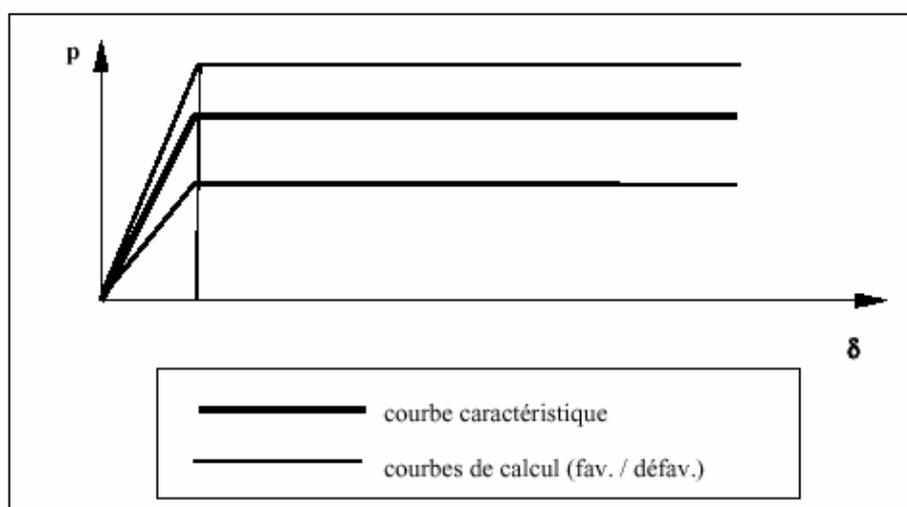


3.2.2 ELEMENT DE FONDATION PROFONDE

3.2.2.1 Sous charge latérale

Dans le cas général, les courbes de calcul de **l'interaction latérale entre le sol et un élément de fondation profonde** sont **évaluées directement** par le géotechnicien qui effectue une analyse des variations possibles des **pressions limites** et des **pressions de fluage** (fourchette de valeurs) et elles peuvent même être identiques aux courbes caractéristiques. Un tracé forfaitaire peut être obtenu en effectuant une affinité d'axe δ , de direction p (ou r) et de rapport γ_M de **1,40** ou **1/1,40** selon le caractère **favorable** ou **défavorable** de la courbe ; ce rapport est pris égal à **1,00** pour un **duc d'Albe** d'amarrage.

Le **coefficient de réaction** évolue dans les mêmes proportions (i_e : ce **coefficient partiel** lui est également applicable) ; en revanche, les **déplacements limites** sont inchangés. L'affinité permet de conserver le rapport E/p_i constant.



3.2.2.2 Sous charge axiale

Les modèles pour détermination de la **raideur axiale d'un élément de fondation profonde** sont établis dans un domaine de chargement qui correspond aux **états-limites de service**. Si toutefois il est nécessaire de prendre ce paramètre en compte pour des **états-limites ultimes**, il ne sera pas appliqué de **coefficient partiel** à la **valeur caractéristique**, mais on procédera à une étude de sensibilité pour les cas le nécessitant.

En raison de son domaine de validité, la méthode basée sur les **lois de mobilisation** doit être employée exclusivement pour les **états-limites** relevant de la catégorie des **ELS**.

3.2.3 INCLINAISON DES PRESSIONS DU SOL

La **valeur de calcul** de l'**inclinaison des pressions du sol** est définie en fonction de la valeur de calcul de l'angle φ' de frottement interne du sol, elle-même déterminée d'après les règles du fascicule *Actions du terrain* et *Valeurs représentatives des propriétés de base des matériaux*.

- ◆ Si la sécurité sur l'action du sol est prise par la pondération à la source de φ' , l'angle δ subit les effets de cette pondération, par application du **principe de cohérence**.
- ◆ Si la sécurité sur l'action du sol est prise par la pondération des coefficients de pression ou par la détermination directe, la **valeur de calcul** de l'angle δ est identique à sa **valeur caractéristique**, par application du **principe de cohérence**.

3.2.4 PARAMETRE DE FROTTEMENT

3.2.4.1 Glissement

La **valeur de calcul** des **paramètres de frottement de glissement** (en général toujours **favorables**) c_a et $\tan(\varphi_a)$ est obtenue par l'application d'un **coefficient partiel** :

- ◆ de **1,20** en **situations** drainées,
- ◆ de **1,40** en **situations** non drainées.

 Voir le fascicule *Situations et combinaisons d'actions*.

La **valeur de calcul** du frottement φ_a sur un matériau immergé est bornée supérieurement à 30°.

Par exception au **principe de cohérence**, la pondération à la source des **propriétés** c_u , c' et $\tan(\varphi')$ du sol, ou l'absence de pondération à la source, sont sans effet sur les paramètres de frottement.

3.2.4.2 Efforts verticaux

La **valeur de calcul** des **paramètres de frottement d'efforts verticaux** est donnée :

- ◆ pour le frottement négatif : dans le fascicule *Actions du terrain*,
- ◆ pour le soulèvement des éléments de soutènement : par détermination directe.

Il n'est pas défini de **coefficient partiel** de type $\gamma_{M, acc}$.

3.3 POUR LES ETATS-LIMITES DE DEPLACEMENT (VALEUR DE SERVICE)

L'application des **coefficients partiels** à la source modifie les **lois d'interaction** et, partant, les modules de déformation des ouvrages. Les déplacements calculés doivent donc être interprétés en conséquence.

En règle générale, on considère les **valeurs caractéristiques** des **paramètres d'interaction sol-structure** pour tous les **états-limites** de déplacement (interaction avec un **soutènement souple** ou un **élément de fondation profonde**). Ces états-limites ressortissent le plus souvent à la catégorie des **ELS** de sorte qu'il n'est pas défini de **coefficient partiel** de type $\gamma_{M, serv}$.

Pour un **état-limite** de déplacement ressortissant à la catégorie des **ELU**, il est recommandé de considérer les **valeurs caractéristiques** des paramètres d'interaction sol-structure et de choisir un seuil de **déplacement admissible** plus sévère, cohérent avec la notion d'ELU.

4. TEXTES DE REFERENCE

FASCICULE 62 titre V du C.C.T.G., (1993)

Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil
Ministère de l'Équipement.

BALAY, J., (1984)

Recommandations pour le choix des paramètres de calcul des écrans de soutènement par la méthode aux modules de réaction
LCPC - SETRA.

Cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux d'ouvrages d'art et autres constructions - Livret 2.01 : règles de conception et de calcul des ouvrages en béton, en métal ou mixtes

S.N.C.F. (1995).

Ouvrages de soutènement MUR 73

SETRA.

MEZAZIGH, S., (1995)

Étude expérimentale de pieux chargés latéralement : proximité d'un talus et effet de groupe
Thèse de doctorat, université de NANTES.

MONNET, A., (1994)

Module de réaction, coefficient de décompression, au sujet des paramètres utilisés dans la méthode de calcul élasto-plastique des soutènements

Revue Française de Géotechnique n°65, 1^{er} trimestre 1994.

oOo