

**EXEMPLE D'APPLICATION de ROSA 2000**

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES  
Annexe : HYPOTHESES DE CALCULS**

---

**1. Règles générales applicables**

1.1. Principes

Les calculs justificatifs des différents éléments de la structure et des fondations seront conduits selon le format semi-probabiliste aux états-limites dont les principes généraux sont présentés dans *les Directives Communes du 13 mars 1979 et dont l'application est exposée dans les Recommandations pour le calcul aux états-limites des Ouvrages en Site Aquatique – ROSA 2000 –* publiées par Ponts -Formation – Editions et par le Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF).

1.2. Textes généraux

Les ouvrages en béton armé seront calculés en suivant le fascicule n° 62, titre I, section 1 (BAEL 91), sous réserve des adaptations précisées ci-après.

Les fondations des ouvrages seront calculées en suivant le fascicule n° 62, titre V (règles techniques de conception et de calcul des fondations ouvrages de génie civil), sous réserve des adaptations précisées ci-après.

1.3. Raccordements

*Les Recommandations pour le calcul aux états-limites des Ouvrages en Site Aquatique* précisent les raccordements entre les textes généraux ci-dessus pour leur application aux ouvrages en site aquatique.

L'entrepreneur signalera les cas d'incohérence entre les textes et proposera une interprétation au Maître d'œuvre.

**2. Situations de projet**

2.1. Corrosion

Pour la détermination des sections résistantes des tubes pour pieux, on prendra en compte une réduction, pour corrosion, de 2 mm d'épaisseur sur les surfaces non protégées par rapport au diamètre nominal, pour la partie hors sol et jusqu'à 2 m sous l'intersection avec le terrain, puis zéro pour la partie fichée au delà.

Pour la détermination des sections résistantes des palplanches des soutènements et rideaux d'ancrage, du quai, de la berge et des massifs de bollards, une réduction de 1 mm d'épaisseur sera uniformément prise en compte.

Toutes les vérifications devront être menées en situations corrodée et non corrodée.

## 2.2. Cotes en pied d'ouvrage et pente du talus sous-marin

### 2.2.1. Quai

Le quai sera dragué dans une première phase à la cote (- 7) CM ; la pente du talus sous l'ouvrage sera alors voisine de 1/2 (talus de +5.5 à -7). Il sera conçu cependant pour être dragué ultérieurement à la cote (- 9) CM. Compte tenu de la tolérance de dragage de 30 cm, le talus pourra s'établir à la pente de 1/3 jusqu'à la cote (- 9.30) CM.

Les ouvrages seront donc vérifiés dans la configuration définitive : cote (-9.30) CM avec une pente de 1/3.

### 2.2.2 Soutènement de berge

La vérification du soutènement de berge de part et d'autre du quai sera également effectuée dans la configuration définitive : cote (-9,30) CM mais avec une pente de 1/2, une protection de talus étant à envisager dans l'hypothèse d'un dragage ultérieur.

## 2.3. Cote de terre-plein

La cote de terre-plein horizontal est (+ 10) CM.

## 2.4. Situations à considérer

Les situations de projet à considérer sont indiquées ci-après. Elles sont à compléter par l'entrepreneur pour les phases transitoires de travaux. Si l'entrepreneur propose une variante susceptible de modifier les situations de projet, il lui appartient d'en proposer la liste. La validation des situations constitue un point d'arrêt du PAQ.

### 2.4.1. Situations durables

SD 1 - Exploitation normale du quai.

Dans cette situation, les ELU et les ELS seront vérifiés.

### 2.4.2. Situations transitoires

ST 1 – Outillage « hors service », grue ancrée.

Dans cette situation seuls les états limites ultimes seront vérifiés, associés à la combinaison type fondamentale.

L'entrepreneur définira les autres situations transitoires tant pour les ouvrages provisoires que pour les ouvrages définitifs, pour lesquelles il y a lieu d'établir des justifications. Celles-ci seront menées par principe en utilisant les mêmes niveaux de sécurité et le même format de vérification que les situations durables.

### 2.4.3. Situations accidentelles

SA 1 - Accostage accidentel d'un navire au quai.

SA 2 - Exploitation normale avec rupture d'un tirant sur deux

SA 3 - Niveau d'eau accidentel dans le terre-plein

Dans les situations accidentelles, seuls les ELU seront vérifiés.

### **3. Valeurs représentatives des propriétés des matériaux de structure**

Les matériaux seront choisis de façon à présenter les valeurs caractéristiques ci-après :

#### 3.1. Béton armé B 35 (valeurs caractéristiques)

- poids volumique du béton  $\gamma_{bk} = 25 \text{ kN/m}^3$

- résistance spécifiée à la compression  $f_{c28} = 35 \text{ MPa}$

- résistance caractéristique à la compression  $f_{ck} = \frac{f_{c28}}{k_1 k_2}$

avec  $k_1 = k_2 = 1$

- module de déformation longitudinale caractéristique à court terme :

$$E_{jk} = 11\,000 \sqrt[3]{f_{ck}} = 36\,000 \text{ MPa}$$

- module de déformation longitudinale caractéristique à long terme

$$E_{vk} = 3\,700 \sqrt[3]{f_{ck}} = 12\,102 \text{ MPa}$$

- limite élastique des aciers d'armatures Fe500  $f_y = 500 \text{ MPa}$ .

#### Remplissage en béton des tubes métalliques battus ouverts :

$$f_{c \text{ lim}} = 25 \text{ MPa} \quad k_1 = 1,20 \quad k_2 = 1,05$$

$$f_{ck} = \frac{\inf(f_{cj}, f_{c28}, f_{c \text{ lim}})}{k_1 * k_2}$$

#### 3.2. Tubes métalliques pour pieux nuance S 360 (valeurs caractéristiques)

- limite élastique  $f_y = 360 \text{ MPa}$

- module d'Young  $E = 210\,000 \text{ MPa}$

3.3. Coefficients partiels pour le béton et les armatures

Paramètres	$\gamma_M$	$\gamma_{M \text{ serv}}$	$\gamma_{M \text{ acc}}$
$f_c$ (béton)	1,5	1	1,15
E (béton)	1	1	1
$f_y$ (armatures)	1,15	1	1
$f_y$ (tubes)	1,10	1,50	1

3.4. Aciers pour palplanches

module d'Young  $E = 210\,000 \text{ MPa}$

Coefficients partiels pour les palplanches

Paramètres	$\gamma_M$	$\gamma_{M \text{ serv}}$	$\gamma_{M \text{ acc}}$
$f_y$ (acier)	1,1	1,5	1
E (acier)	1	1	1

Combinaison HZ775A-12AZ18 pour le quai en S390 GP (valeurs caractéristiques)

limite élastique de l'acier :  $f_y = 390 \text{ MPa}$   
 moment d'inertie :  $210\,260 \text{ cm}^4/\text{m}$   
 module de flexion élastique :  $4\,770 \text{ cm}^3/\text{m}$

Palplanches du soutènement de berge PU 16 en S390 GP, avec Oméga (valeurs caractéristiques)

limite élastique de l'acier :  $f_y = 390 \text{ MPa}$   
 moment d'inertie :  $266\,600 \text{ cm}^4/\text{m}$   
 module de flexion élastique :  $5\,740 \text{ cm}^3/\text{m}$

Palplanches du rideau d'ancrage du soutènement de quai (valeurs caractéristiques)

PU 6 en S 320 GP  
PU 8 en S 390 GP  
PU 12 en S 390 GP

limite élastique de l'acier des PU 6  $f_y = 320 \text{ MPa}$

.../...

limite élastique de l'acier des PU 8  $f_y = 390$  MPa

limite élastique de l'acier des PU 12  $f_y = 390$  MPa

moment d'inertie des PU 6 :  $6\,780$  cm<sup>4</sup>/m

moment d'inertie des PU 8 :  $11\,620$  cm<sup>4</sup>/m

moment d'inertie des PU 12 :  $21\,600$  cm<sup>4</sup>/m

module de flexion élastique des PU 6 :  $600$  cm<sup>3</sup>/m

module de flexion élastique des PU 8 :  $830$  cm<sup>3</sup>/m

module de flexion élastique des PU 12 :  $1\,200$  cm<sup>3</sup>/m

### Palplanches du rideau d'ancrage des massifs de bollards

#### PU 6 en S 240 GP (valeurs caractéristiques)

limite élastique de l'acier  $f_y = 240$  MPa

moment d'inertie :  $6\,780$  cm<sup>4</sup>/m

module de résistance :  $600$  cm<sup>3</sup>/m

### 3.5. Aciers pour tirants et liernes

module d'Young  $E = 210\,000$  MPa

#### Coefficients partiels pour les tirants et liernes

Paramètres	$\gamma_M$	$\gamma_{M\text{ serv}}$	$\gamma_{M\text{ acc}}$
$f_y$ (acier)	1,1	2	1,1
E (acier)	1	1	1

#### Tirants d'ancrage du soutènement de quai tirants Ø 65/80 en T 42 (valeurs caractéristiques)

section courante  $0,003318$  m<sup>2</sup>

limite élastique  $f_y$   $420$  MPa

#### Tirants d'ancrage des massifs d'amarrage sur berge (nouveaux massifs) en S 360 JO (valeurs caractéristiques)

Section à fond de filet  $0,001511$  m<sup>2</sup> Ø 50

limite élastique  $f_y$  :  $360$  MPa

Liernes UPN 300 en E 24 en S 240 JO (valeurs caractéristiques)

limite élastique $f_y$ :	240 MPa
moment d'inertie :	$8\,030 \times 2 \text{ cm}^4$
module de flexion :	$535 \times 2 \text{ cm}^3$

Tirants d'ancrage du massif d'amarrage existant  $\varnothing$  50/60 en S 360 JO (valeurs caractéristiques)

section courante	0,001964 m <sup>2</sup>
limite élastique $f_y$	360 MPa

**4. Valeurs représentatives des paramètres géotechniques**

4.1. Les valeurs caractéristiques des propriétés des sols sont données dans le dossier géotechnique joint au dossier.

4.2. Les valeurs de calcul des propriétés des sols sont déduites des valeurs caractéristiques en appliquant les coefficients partiels suivants :

Paramètres	$\gamma_M$	$\gamma_{M, \text{serv}}$	$\gamma_{M, \text{acc}}$
Poids propre ( $\gamma_h \gamma$ )	1	1	1
$\tan(\varphi')$ , $c'$	1,2	1	1
E, $P_l$	(*)	(*)	(*)

(\*) Les coefficients partiels sont appliqués sur les lois d'interaction sol-pieu et sol-soutènement souple, et sur les paramètres de résistance.

4.3. Valeurs représentatives des lois d'interaction sol-structure

Le modèle de calcul utilisé pour l'interaction sol-pieu sera le modèle élasto-plastique du fascicule 62 titre V.

Le modèle de calcul utilisé pour l'interaction sol-écran souple (palplanches) sera le modèle au coefficient de réaction.

Les pressions exercées par le sol sont horizontales ( $\delta = 0$ ) pour l'interaction sol-pieu.

Les pressions exercées par le sol sur l'écran de palplanches seront inclinées :  $\delta_a = 0$  et  $\delta_p = -3/4 \varphi'$  (avec application du principe de cohérence sur la valeur représentative de  $\varphi'$ ).

Les courbes caractéristiques des lois d'interaction sol-pieu sont

.../...

déterminées à partir des valeurs caractéristiques des propriétés géotechniques de base.

Les courbes de calcul des lois d'interaction sol-pieu sont déterminées à partir des courbes caractéristiques en appliquant une affinité d'axe vertical et de rapport :

$\gamma_{M, \text{fond}}$		$\gamma_{M, \text{acc}}$		$\gamma_{M, \text{serv}}$	
Favorable	défavorable	favorable	défavorable	favorable	défavorable
1,40	1/1,40	1,00	1,00	1,00	1,00

Les courbes de calcul des lois d'interaction sol-écran souple sont déterminées à partir des valeurs de calcul des propriétés de résistance au cisaillement  $c'$  et  $\tan(\Phi')$  données au paragraphe 4.2 (application de la pondération à la source).

## **5. Valeurs représentatives des résistances**

### **5.1. Pieux et éléments de fondation profonde**

#### **5.1.1. Valeurs caractéristiques**

Les valeurs caractéristiques des paramètres de charge  $Q_k$  seront obtenues à partir des valeurs caractéristiques des résultats d'essais géotechniques sur le sol en place, qui corréleront la contrainte de rupture relative au terme de pointe et le frottement latéral unitaire limite à la pression limite nette équivalente caractéristique (essai pressiométrique). Les abaques correspondants sont présentés dans le *fascicule 62 titre V*.

#### **5.1.2. Autres valeurs représentatives**

Les autres valeurs représentatives des paramètres de charge sont obtenues en appliquant un coefficient partiel de résistance à la valeur caractéristique. Il n'y a pas lieu d'appliquer de pondération à la source des propriétés de base des sols.

On retient les coefficients suivants (conformes au fascicule 62 titre V) pour déterminer la valeur de calcul, la valeur de service et la valeur accidentelle.

Paramètre	$\gamma_R$	$\gamma_{R, \text{serv}}$	$\gamma_{R, \text{acc}}$
$Q_u$	1,40	/	1,20
$Q_{tu}$	1,40	/	1,30
$Q_c$	/	1,10 (ELS rare) 1,40 (ELS quasi-permanent)	/
$Q_{tc}$	/	pieux 1,40 (ELS rare) $\infty$ (pas de traction sous ELS quasi-permanent)	/

## 5.2. Butée

Les pressions du sol en butée sont considérées comme des résistances géotechniques mobilisées pour assurer l'équilibre statique :

- des soutènements souples ancrés,
- des éléments de fondation profonde soumis à des efforts horizontaux.

Lorsque le comportement du sol est modélisé par une **loi élasto-plastique**, la sécurité sur la résistance en butée est traitée à partir des courbes *d'interaction sol-structure* (cf. 4.3). On n'introduit donc pas de coefficient de type  $\gamma_R$ .

Lorsque le comportement du sol est modélisé « à la rupture », la sécurité sur la résistance en butée est prise en compte par la détermination des valeurs représentatives du coefficient de butée par pondération à la source des valeurs caractéristiques de la résistance au cisaillement.

On introduit de plus un coefficient de service  $\gamma_{R, \text{serv}} = 2,00$  appliqué au coefficient de butée en vue des vérifications des états-limites de service de mobilisation du sol sous la combinaison rare.

## **6. Valeurs représentatives des actions**

### **6.1. Valeurs représentatives des conditions hydrauliques**

Ce quai situé subit les effets, indépendants ou combinés :

- du marnage,
- de la houle,
- du courant.

#### **a) Niveaux d'eau de référence du côté de la Mer et dans le Terre-Plein (notés respectivement $NW^M$ et $NW^{TP}$ )**

Niveaux d'eau de calcul (du côté Mer, ceux-ci correspondent aux niveaux extrêmes observés à ce jour) :

marée basse  $NW^M_d = (+ 1,18) \text{ CM}$   
 $NW^{TP}_d = (+ 5,90) \text{ CM}$

marée haute  $NW^M_d = NW^{TP}_d = (+ 9,14) \text{ CM}$

Niveaux caractéristiques :

marée basse (coef. 115)  $NW^M_k = (+ 1,30) \text{ CM}$   
 $NW^{TP}_k = (+ 5,90) \text{ CM}$

marée haute (coef. 115)  $NW^M_k = NW^{TP}_k = (+ 8,46) \text{ CM}$

Niveaux fréquents :

marée basse (coef. 67)  $NW^M_f = (+ 2,12) \text{ CM}$   
 $NW^{TP}_f = (+ 5,90) \text{ CM}$

marée haute (coef. 67)  $NW^M_f = NW^{TP}_f = (+ 7,19) \text{ CM}$

Niveaux quasi-permanents (de mi-marée) :

$NW^M_{qp} = (+ 4,70) \text{ CM}$   
 $NW^{TP}_{qp} = (+ 5,90) \text{ CM}$

#### **b) Houle (HOU)**

Les valeurs significatives et représentatives de houle retenues, déduites de l'étude de propagation des états de mer, seront prises égales à :

A la cote (+ 8,50) CM (et élargi par simplification aux niveaux des hautes mers) :

- valeur caractéristique (trentennale)	$H_k = 2,35 \text{ m}$
- valeur de calcul (centennale)	$H_d = 2,50 \text{ m}$
- valeur fréquente (quinquennale)	$H_f = 2,25 \text{ m}$
- valeur quasi-permanente (annuelle)	$H_{qp} = 2 \text{ m}$

A la cote (+ 3) CM (et élargi par simplification aux niveaux des basses mers) :

$$H_k = H_d = H_f = H_{qp} = 1,30 \text{ m.}$$

On considèrera une propagation de la houle de l'aval vers l'amont.

### c) Courant (COU)

Le courant de flot et le courant de jusant peuvent atteindre la vitesse de 2,5 m/s devant l'ouvrage, que l'on considèrera comme valeur caractéristique, identique à la valeur fréquente.

La valeur quasi-permanente sera nulle.

## 6.2. Valeurs représentatives des actions permanentes (AG)

### 6.2.1. Poids propre

Les valeurs caractéristiques des masses volumiques des matériaux sont fixées à :

- acier	$\rho = 7,85 \text{ t/m}^3$
- béton armé	$\rho = 2,50 \text{ t/m}^3$
- béton non armé	$\rho = 2,30 \text{ t/m}^3$

### 6.2.2. Descentes de charges permanentes de structure (valeurs caractéristiques)

Le poids volumique des couches de roulement est pris égal à 24 kN/m<sup>3</sup>.

Le poids des bollards de quais est pris égal à 4 kN/unité.

Le poids de l'ensemble d'un dispositif d'accostage est pris égal à 72 kN/unité.

Le poids du séparateur d'hydrocarbures avec débourbeur est pris égal à 7 kN.

6.2.3. Pour les actions permanentes les valeurs de calcul du poids des ouvrages sont déduites des valeurs caractéristiques en appliquant les coefficients partiels suivants :

Pour les actions se révélant favorables	$\gamma_{pp} = 0,9$
Pour les actions se révélant défavorables	$\gamma_{pp} = 1,2$

.../...

#### 6.2.4. Pression Poussée/Butée

Elles sont déterminées à partir des propriétés de résistance au cisaillement des sols ; la sécurité est prise en compte à la source par les coefficients partiels appliqués sur les paramètres géotechniques  $c'$  et  $\tan(\phi')$  (voir 4.2).

#### 6.2.5. Déplacement d'ensemble

Les valeurs de calculs des actions du terrain qui se traduisent par un déplacement d'ensemble du sol sont déterminées :

- pour les frottements négatifs, par la pondération de la contrainte de frottement négatif par le coefficient 1,20 (action favorable) ou 1,00 (action favorable)
- pour les poussées latérales, par la pondération de la courbe de déplacement imposé par le coefficient 1,20 (action favorable) ou 0,60 (action favorable).

#### 6.2.6. Actions statiques des niveaux d'eau

La valeur caractéristique du poids volumique de l'eau est prise égale à  $\gamma_{wk} = 10 \text{ kN/m}^3$  ; il n'est jamais pondéré pour les calculs, la sécurité étant prise en compte directement dans la détermination des niveaux d'eau représentatifs.

### 6.3. Valeurs représentatives des actions variables

Il est rappelé qu'une action variable qui se révèle favorable pour une vérification donnée doit être prise à sa valeur représentative minimale qui peut être la valeur nulle.

#### 6.3.1. Actions marines et fluviales (MAR)

Les valeurs représentatives du courant (COU) et de la houle (HOU) sont précisées au paragraphe 6.1.

Pour le courant et pour la houle, la valeur de calcul est obtenue par application d'un coefficient partiel  $\gamma_q = 1,20$  sur l'effort généré.

Les valeurs représentatives des actions statiques des niveaux d'eau sont précisées au paragraphe 6.2.6. Elles sont caractérisées par les différents niveaux d'eau associés dans la Mer et dans le Terre-Plein.

Pour simplifier les règles de combinaisons, on considère les conditions représentatives des actions « marines et fluviales » (notées MAR) suivantes :

- Conditions caractéristiques  $MAR_k$  :

$$\begin{aligned} & HOU_k(\text{haut}) + NW_k^M(\text{haut}) + NW_k^{TP} + COU_k \\ & HOU_k(\text{bas}) + NW_k^M(\text{bas}) + NW_k^{TP} + COU_k \end{aligned}$$

- Conditions de calcul  $MAR_d$  :

$$\gamma_q HOU_d(\text{haut}) + NW^M_k(\text{haut}) + NW^{TP}_k + \gamma_q COU_d$$
$$\gamma_q HOU_d(\text{bas}) + NW^M_k(\text{bas}) + NW^{TP}_k + \gamma_q COU_d$$

et :

$$HOU_k(\text{haut}) + NW^M_d(\text{haut}) + NW^{TP}_d + COU_k$$
$$HOU_k(\text{bas}) + NW^M_d(\text{bas}) + NW^{TP}_d + COU_k$$

- Conditions fréquentes  $MAR_f$  :

$$HOU_f(\text{haut}) + NW^M_f(\text{haut}) + NW^{TP}_f + COU_f$$
$$HOU_f(\text{bas}) + NW^M_f(\text{bas}) + NW^{TP}_f + COU_f$$

- Conditions quasi permanentes  $MAR_{qp}$  :

$$HOU_{qp}(\text{haut}) + NW^M_{qp}(\text{haut}) + NW^{TP}_{qp} + COU_{qp}$$

### 6.3.2. Accostage des navires (AC) – Défenses d'accostage

Le navire de projet a un déplacement de 60 000 t

La vitesse caractéristique d'accostage sera prise égale à :  $V_k = 0,10$  m/s.

La vitesse de calcul d'accostage sera prise égale à :  $V_d = 0,20$  m/s.

La vitesse fréquente d'accostage sera prise égale à la valeur caractéristique.

On ne considèrera pas de valeur quasi-permanente de vitesse d'accostage.

Sous l'accostage, la réaction maximale du système de défenses de la solution de base sera de 163 t à la déflexion maximale admissible.

La valeur de l'effort d'accostage sera obtenue par division de la réaction des défenses par l'espacement entre ces dispositifs de défense, soit 21 m.

On ne considèrera pas de coefficient partiel sur les défenses d'accostage mais la valeur de calcul sera obtenue par application, en sus, d'un coefficient partiel :  $\gamma_{qac} = 1,50$  appliqué à l'effort résultant.

### 6.3.3. Amarrage des navires (AM)

Les bollards doivent résister au moins à la valeur caractéristique (800 kN) et au plus à la valeur de calcul ( $\gamma_{am} * 800$  kN) suivant une direction faisant un angle maximum de 30° avec le plan horizontal.

Les coefficients partiels applicables à la valeur caractéristique de 800 kN, sont de :

- $\gamma_{q \text{ am}} = 1,50$  pour un bollard courant en acier moulé
- $\gamma_{q \text{ am}} = 1,20$  pour un bollard à section de rupture

La valeur fréquente est déduite de la valeur caractéristique par un coefficient  $\Psi_1 = 0,20$  et la valeur quasi-permanente est nulle :  $\Psi_2 = 0$ .

#### 6.3.4. Groupe d'actions « Exploitation » noté (EXP)

L'entreprise proposera, pour les différentes parties d'ouvrage à vérifier, les valeurs représentatives du torseur du groupe d'actions EXP (caractéristique, de calcul, fréquent et quasi-permanent) prenant en compte :

- les arrangement spatiaux possibles les plus défavorables,
- les valeurs représentatives associées des cinq natures d'actions suivantes.

##### 6.3.4.1. Charge d'exploitation sur la plate-forme du quai, le terre-plein arrière et en arrière des berges (TP)

La valeur caractéristique de la charge uniformément répartie de stockage est de 40 kN/m<sup>2</sup>.

Les coefficients partiels applicables à cette valeur seront de  $\gamma_{q \text{ tp}} = 1,20$ .  
 $\Psi_1 = 0,50$        $\Psi_2 = 0,20$ .

La charge peut s'exercer en tout ou partie à n'importe quel emplacement sur la plate-forme dans toutes les situations de projet considérées.

##### 6.3.4.2. Charges roulantes portuaires (CRP)

Les valeurs caractéristiques des charges verticales et les dimensions géométriques sont données par les schémas joints (chariot élévateur, semi-remorque surbaissée).

Les valeurs de calcul sont égales aux valeurs caractéristiques multipliées par 1,20.

Le coefficient  $\Psi_1 = 0,5$  et le coefficient  $\Psi_2 = 0$ .

Cette action est supposée s'exercer dans toutes les situations de projet considérées à l'exception de ST1.

#### 6.3.4.3. Grues sur rails (GR)

Les valeurs caractéristiques des charges seront forfaitairement prises égales (pour une grue) à :

- charges verticales : 40 t/m
- efforts horizontaux : 4 t/m → dans n'importe quelle direction

Les valeurs de calcul sont égales à la valeur caractéristique multipliée par 1,20.

Les coefficients  $\Psi_1$  et  $\Psi_2$  sont pris égaux à 1.

On distinguera l'effort horizontal nominal d'ancrage (valeur nominale linéairement répartie sur la longueur entre deux appuis de la grue) de  $ANC = 6$  t/m dans n'importe quelle direction dans la situation transitoire ST1.

Deux grues sur rails pourront être présentes simultanément sur le quai, dans toutes les situations de projet considérées.

#### 6.3.4.4. Grue mobile sur pneus (GM)

Les valeurs caractéristiques et les dimensions géométriques pour la grue en déplacement et pour la grue en position de travail (ou repos) sur patins sont données par les schémas joints.

Les valeurs de calcul pour les deux positions de déplacement et de travail (ou repos) sont égales aux valeurs caractéristiques multipliées par 1,2.

La valeur fréquente correspond à la valeur caractéristique en position de déplacement.

La valeur quasi-permanente correspond à la valeur caractéristique dans la position de travail ou de repos.

On considèrera la présence d'une seule grue mobile localisée à n'importe quel endroit, dans toutes les situations de projet considérées, en position de repos/travail ou de déplacement. En situation ST1 la grue mobile sera supposée exclusivement en position de repos.

#### 6.3.4.5. Charges roulantes ordinaires (CRO)

Les valeurs caractéristiques des charges roulantes ordinaires sont égales aux valeurs nominales du fascicule 61 titre II multipliées par 1,20. Les valeurs de calculs sont égales aux valeurs nominales du fascicule 61 titre II multipliées par 1,60.

Le coefficient de majoration dynamique est pris égal à 1,15.

Le coefficient  $\Psi_1 = 0,5$  et le coefficient  $\Psi_2 = 0$ .

Cette action est considérée dans toutes les situations de projet à l'exception de ST1.

#### 6.4. Actions accidentelles

6.4.1. Accostage accidentel : Le scénario d'un accostage accidentel sera conduit avec une valeur accidentelle de pression d'accostage de  $AC_{d,acc} = 40 \text{ t/m}^2$  (valeur de résistance de la coque) répartie sur toute la hauteur de la poutre de couronnement et sur une largeur de 1 m localisée à n'importe quel endroit.

6.4.2. Niveau d'eau accidentel dans le Terre-Plein : Le scénario d'un niveau d'eau accidentel dans le terre-plein sera conduit avec une valeur :

$$NW_{acc}^{TP} = + (6,40) \text{ CM associé à } NW_k^M \text{ côté Mer.}$$

### 7. Cas de charges

Les cas de charges à retenir dans les différentes situations à considérer sont les suivants :

Avec les sigles suivants :

AG	actions permanentes (poids propre, descentes de charge des équipements, pressions du sol en poussée-butée, déplacement d'ensemble)
AC	accostage
$AC_{acc}$	accostage accidentel
AM	amarrage
MAR :	HOU action de la houle sur le quai
	COU action du courant sur le quai
NW :	$NW^M$ niveau d'eau côté mer
	$NW^{TP}$ niveau d'eau côté terre-plein
	$NW_{acc}^{TP}$ niveau d'eau accidentel dans le terre-plein
EXP :	CRP charges roulantes portuaires
	TP charge de stockage sur terre-plein.
	GM charge de la grue mobile
	CRO charges roulantes ordinaires
	GR / ANC charge de la (ou des 2) grue(s) sur rails / réaction d'ancrage

Pour les situations durables

SD 1 Exploitation normale du quai :

$$AG + MAR + EXP + AC + NW$$
$$AG + MAR + EXP + AM + NW$$

ST 1 Outillage « hors service », grue ancrée :

$$AG + MAR + EXP (ANC) + AC + NW$$
$$AG + MAR + EXP (ANC) + AM + NW$$

SA 1 Accostage accidentel d'un navire au quai

$$AG + MAR + EXP + AC_{acc} + NW$$

.../...

SA 2 comme SD 1 avec rupture d'un tirant sur deux

SA 3 comme SD 1 avec  $NW_{acc}^{TP}$  et  $NW_k^M$

### **8. Règles simplifiées de combinaisons**

On travaille avec trois groupes d'actions variables (MAR, NW et EXP) et deux actions variables individuelles (AC et AM). Pour les combinaisons rares, fréquentes et quasi-permanentes, et pour la combinaison accidentelle, MAR et NW seront prises dans chaque déclinaison avec la même valeur représentative.

\* Combinaison fondamentale : on considère que la valeur de combinaison de calcul  $\Psi_0.Q_d$  (pour  $Q = \text{MAR, NW, AC, AM, EXP}$ ) est identique à la valeur caractéristique ( $Q_k$ ).

\* Combinaison rare :

On prend :  $\Psi_0 = 0,77$  pour EXP     $\Psi_0 = 1$  pour AC  
 $\Psi_0 = 0,77$  pour AM     $\Psi_0 = \Psi_1$  (valeur fréquente) pour MAR et NW.

### **9. Etats limites et combinaisons types d'actions associées**

Etats limites	Catégories	Combinaisons associées
<b>A – Quai sur pieux</b>		
1. Fondations		
Mobilisation locale du sol en compression	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
	ELS	rare/quasi permanente
Mobilisation locale du sol en traction	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
	ELS	rare/quasi-permanente
Mobilisation globale du sol (effet de groupe)	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
	ELS	rare/quasi-permanente
2. Pieux		
Résistance à la flexion composée	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
	ELS	rare
Résistance au flambement	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)

Etats limites	Catégories	Combinaisons associées
<b>3. Déplacements et déformations</b>		
Déplacement horizontal en tête	ELU ELS	fondamentale/accidentelle (selon situation) rare
Flèche de la plate-forme	ELS	rare
Tassements de la plate-forme		dispositions constructives
<b>B – Soutènements et ancrages</b>		
Stabilité externe		
Mobilisation de la butée du sol (rideau principal)	ELU ELS	fondamentale/accidentelle (selon situation) rare
Glissement généralisé du massif ancrage	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Mobilisation de la butée du sol devant le contre-rideau	ELU ELS	fondamentale/accidentelle (selon situation) rare
Boulanges	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Stabilité interne		
Résistance des palplanches	ELU ELS	fondamentale/accidentelle (selon situation) rare
Résistance des tirants	ELU ELS	fondamentale/accidentelle (selon situation) rare
Déplacements et déformations		
Déplacements horizontaux	ELS	rare
Tassements influençant les lignes de tirant		dispositions constructives

Etats limites	Catégories	Combinaisons associées
<b>C – Talus sous le quai</b>		
Stabilité globale		
Grand glissement	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation )
Stabilité hydraulique		
Résistance des enrochements à la houle et au courant	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation )
<b>D – Parties en béton de l’ouvrage</b> (le BAEL est applicable : cf. extrait ci-dessous)		
Sous sollicitations normales		
Résistance du béton et des armatures vis-à-vis des efforts normaux et moments fléchissants	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
	ELS	rare
Sous sollicitations tangentes		
Résistance du béton et des armatures à la torsion et à l’effort tranchant	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Résistance du béton au poinçonnement localisé	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Résistance des coutures d’attache	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Adhérence		
Ancrages armatures-béton	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Non écrasement du béton	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Non entraînement des armatures	ELU	fondamentale/accidentelle (selon situation)
Divers		
Maîtrise de la fissuration	ELS	rare
Déformations	ELS	rare

Etats limites	Catégories	Combinaisons associées
E – Défenses d'accostage		
Déflexion excessive	ELU	Fondamentale
Pression transmise	ELU	Fondamentale/accidentelle (selon situation)

**10. Coefficients de modèle et critères géométriques précisant certains**

**ELS**

Etats limites	Coefficients de modèle			Modèles
	$\gamma_d$	$\gamma_{d \text{ acc}}$	$\gamma_{d \text{ serv}}$	
	ELU fond	ELU acc	ELS	
Mobilisation locale du sol en compression	1,125	1	1	Fascicule 62
Mobilisation locale du sol en traction	1,125	1	1	Fascicule 62
Mobilisation globale du sol (effet de groupe)	1,125	1	1	Fascicule 62
Mobilisation de la butée du sol	1,20	1	1	
Flexion composée des pieux	1,125	1	/	Fascicule 62
Flambement des pieux	1,25	1,20	/	Euler
Flexion des poutres et dalles	1,125	1	/	BAEL
Fissuration des poutres et de la dalle	/	/	Très préjudiciable (combi. rare)	BAEL
Flèche de la plate-forme	/	/	/	BAEL
Glissement généralisé du massif d'ancrage	1,50	1	/	Kranz
Boulance	1	1	/	
Grand glissement	1,25	1,10	/	Bishop
Résistance des palplanches	1	1	1	
Résistance des tirants	1,10	1	1	
Déplacement horizontal en tête de pieu	(a)	/	(a)	
Déplacement horizontal du rideau	(b)	/	(b)	
Résistance des enrochements	1	1	1	Isbach
Déflexion excessive	1,00	/	/	
Pression transmise	(c)	(c)	/	

(a) Les critères de déplacement maximal en tête de pieu sont :

Sous combinaison fondamentale :  $\pm 50$  mm

Sous combinaison rare :  $\pm 30$  mm

(b) Les critères de déplacement maximal en tête de rideau sont :

Pour le quai

Sous combinaison fondamentale :  $\pm 100$  mm

Sous combinaison rare :  $\pm 80$  mm

Pour la berge

Sous combinaison fondamentale :  $\pm 300$  mm

Sous combinaison rare :  $\pm 250$  mm

(c) Les critères de pression transmise au quai par le système de défense est :

Sous combinaisons fondamentales et accidentelles : 1 630 kN

### 11. Facteurs de dimensionnement

Etats limites	Facteurs de dimensionnement
Mobilisation du sol en compression	$\Gamma 1 = Q_u$ ou $Q_c / \gamma_{d1} \cdot V$
Mobilisation du sol en traction	$\Gamma 2 = Q_{tu}$ ou $Q_{tc} / \gamma_{d2} \cdot V$
Mobilisation globale du sol (effet de groupe)	$\Gamma 3 = 1 / \gamma_{d3} \cdot \text{critère}$
Mobilisation de la butée du sol	$\Gamma 4 = \text{butée mobilisable} / \gamma_{d4} \cdot \text{butée mobilisée}$
Flexion des pieux	$\Gamma 5 = \text{effort résistant} / \gamma_{d5} \cdot \text{effort sollicitant}$
Flambement des pieux	$\Gamma 6 = 1 / \gamma_{d6} \cdot \text{critère}$
Flexion des poutres et de la dalle	$\Gamma 7 = \text{effort résistant} / \gamma_{d7} \cdot \text{effort sollicitant}$
Fissuration des poutre et de la dalle	$\Gamma 8 = 1 / \gamma_{d8} \cdot \text{critère}$
Flèche de la plate-forme	$\Gamma 9 = 1 / \gamma_{d9} \cdot \text{critère}$
Glissement généralisé du massif d'ancrage	$\Gamma 10 = \text{traction admissible} / \gamma_{d10} \cdot \text{traction calculée}$
Boulance	$\Gamma 11 = 1 / \gamma_{d11} \cdot \text{critère}$
Grand glissement	$\Gamma 12 = \text{moment résistant} / \gamma_{d12} \cdot \text{moment sollicitant}$
Résistance des palplanches	$\Gamma 13 = \text{effort résistant} / \gamma_{d13} \cdot \text{effort sollicitant}$
Résistance des tirants	$\Gamma 14 = \text{Traction admissible} / \gamma_{d14} \cdot \text{traction calculée}$
Déplacement	$\Gamma 15 = \text{déplacement admissible} / \text{déplacement calculé}$

Etats limites	Facteurs de dimensionnement
Déflexion excessive	$\Gamma_{16}$ = déflexion maximale autorisée/ déflexion calculée épacement admissible / déplacement calculé
Pression transmise	$\Gamma_{17}$ = pression accidentelle/pression calculée
Résistance des enrochements	$\Gamma_{18}$ = diamètre actuel / diamètre minimal

L'ouvrage est vérifié si tout les  $\Gamma_i$  sont supérieurs ou égaux à 1.

## **12. Déclinaisons des combinaisons type d'action - Simulations**

12.1 Il appartient à l'entrepreneur d'attribuer le caractère Base/Accompagnement des diverses actions ou groupe d'actions en utilisant les simplifications proposées au paragraphe 8, de décliner les combinaisons types d'actions selon le caractère favorable ou défavorable des paramètres et de croiser avec les autres éléments (corrosion, niveaux de marée...).

12.2 Si l'entrepreneur met en œuvre des modèles au coefficient de réaction, il effectuera les vérifications pour toutes les simulations des chargements dont il montrera la pertinence.

L'Entrepreneur établira en effet pour les différentes situations, les cas de charge et les combinaisons d'actions, la liste exhaustive des phases de chargement et des valeurs représentatives des divers paramètres susceptibles de s'exercer simultanément et successivement. De cette liste, il définira les simulations qu'il retient pour le calcul en identifiant le caractère favorable ou défavorable des divers paramètres, en respectant le principe de cohérence à l'intérieur de chaque simulation. Il précisera les états-limites qui leur sont attachés. Il justifiera le caractère non dimensionnant des cas exclus.

Avant d'établir la note de calcul des ouvrages, le visa du Maître d'Œuvre sur les simulations retenues sera requis.

## **13. Présentation des notes de calculs et moyens à mettre en œuvre**

En se basant sur le canevas-type ci-joint, l'entrepreneur produira pour tout calcul :

- une notice indiquant de façon complète les hypothèses de base, les formules employées et les notations.
- le commentaire des différents listings produits en annexe, en faisant ressortir les éléments clés.

Les « sorties » (texte et dessins) de tout programme de calcul doivent être suffisamment claires et nombreuses pour que les options tant techniques que logiques soient mises en évidence et que les fractions de calcul comprises entre deux options consécutives puissent être isolées en vue d'une éventuelle vérification. Si la note de

calculs est très volumineuse, l'entrepreneur produira en complément une note de synthèse mettant en valeur les résultats déterminants du dimensionnement proposé.

oOo

**Application : situation SD1**  
**Déclinaisons formelles (base / accompagnement) des combinaisons type d'actions**

Combinaison fondamentale

AG	+	AC (AM)	+	EXP	+	NW	+	HOU/COU
d		<b>d</b>		$\psi_{o,d} (=k)$		$\psi_{o,d} (=k)$		$\psi_{o,d} (=k)$
d		$\psi_{o,d} (=k)$		<b>d</b>		$\psi_{o,d} (=k)$		$\psi_{o,d} (=k)$
d		$\psi_{o,d} (=k)$		$\psi_{o,d} (=k)$		<b>d</b>		$\psi_{o,d} (=k)$
d		$\psi_{o,d} (=k)$		$\psi_{o,d} (=k)$		$\psi_{o,d} (=k)$		<b>d</b>

Combinaison rare

AG	+	AC (AM)	+	EXP	+	MAR = NW et HOU/COU
<i>k</i>		<i>k</i>		$\psi_{o,k}$		$\psi_{o,k} (=f)$
k		$\psi_{o,k} (=k)$		<b>k</b>		$\psi_{o,k} (=f)$
k		$\psi_{o,k} (=k)$		$\psi_{o,k}$		<b>k</b>

Combinaison fréquente

AG	+	AC (AM)	+	EXP	+	MAR = NW et HOU/COU
k		<b>f (=k)</b>		$\psi_2$		qp
k		qp (=0)		<b><math>\psi_1</math></b>		qp
k		qp (=0)		$\psi_2$		<b>f</b>

Combinaison quasi-permanente

AG	+	AC (AM)	+	EXP	+	MAR = NW et HOU/COU
k		qp (=0)		$\psi_2$		qp

.../...