



NOTE DE CALCULS

Construction d'un ponton lourd en lieu et place de la barge actuelle

Mission d'études et de maîtrise d'œuvre

Note de dimensionnement des pieux Phase PRO

Indice A

Janvier 2016

Commune de PAIMBOEUF



CLIENT

RAISON SOCIALE	Ville de Paimboeuf
COORDONNÉES	Direction des Services Techniques Quai Eole 44560 PAIMBOEUF
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Patrick LECONTE Tél. 02 40 27 76 59 services.techniques@paimboeuf.fr

SCE

COORDONNÉES	4 rue Viviani CS 26220 44262 Nantes Cedex 2
INTERLOCUTEUR	Monsieur Tom RENAUD Tel : 02 51 17 29 84 tom.renaud@sce.fr

RAPPORT

OPERATION	Construction d'un ponton « lourd » - Ville de Paimboeuf
TITRE	Note de dimensionnement des pieux – Phase PRO
REFERENCE	150557-PRO-NC-003
NOMBRE DE PAGES	34
NOMBRE D'ANNEXES	2
OFFRE DE REFERENCE	72677
N°COMMANDE	Marché n°AOR-2014/001-PA-PI

SIGNATAIRE

INDICE	DATE	OBJET DE LA REVISION	REDACTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR
A	06/01/16	Version initiale	KGU	TRE	TRE

SOMMAIRE

1. Introduction	5
1.1. Contexte de l'opération.....	5
1.1.1. L'usage actuel des bords de Loire à Paimboeuf	5
1.1.2. Historique du projet.....	5
1.1.3. Définition du projet	6
1.2. Objet du document	6
1.3. Documents de référence	7
1.3.1. Données d'entrée transmises par la maîtrise d'ouvrage	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2. Etudes et données d'entrée rassemblées par la maîtrise d'œuvre ..	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3. Autres documents de référence	7
1.3.4. Normes et recommandations	7
1.3.4.1. Normes relatives aux bateaux de navigation intérieure.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.4.2. Eurocodes	7
1.3.4.3. Recommandations	7
2. Hypothèses fonctionnelles.....	8
3. Conditions environnementales	8
4. Matériaux.....	8
4.1. Pieux métalliques	8
4.1.1. Caractéristiques des pieux	8
4.1.2. Corrosion.....	8
5. Actions et combinaisons	9
5.1. Actions	9
5.1.1. Poids propre (PP).....	9
5.1.2. Surcharges piétonnes (Qp).....	9
5.1.3. Batillage (B_{at})	9
5.1.4. Houle (H_{oule})	9
5.1.5. Courant (C_{ourant})	9
5.1.6. Vent (V_{ent})	10
5.1.7. Amarrage (A_m)	10
5.1.8. Accostage (A_{cc})	10
5.1.9. Choc d'embâcle (E_m)	10
5.2. Combinaisons d'actions.....	11
5.2.1. ELS	11
5.2.2. ELU et ELA	11
5.2.3. Bilan.....	11
6. Modélisation	14
6.1. Logiciel utilisé	14
6.2. Coupes de calcul.....	14
6.2.1. Pieux de guidage	14
6.2.2. Pieu support de palier	15
7. Prédimensionnement des pieux de guidage.....	16

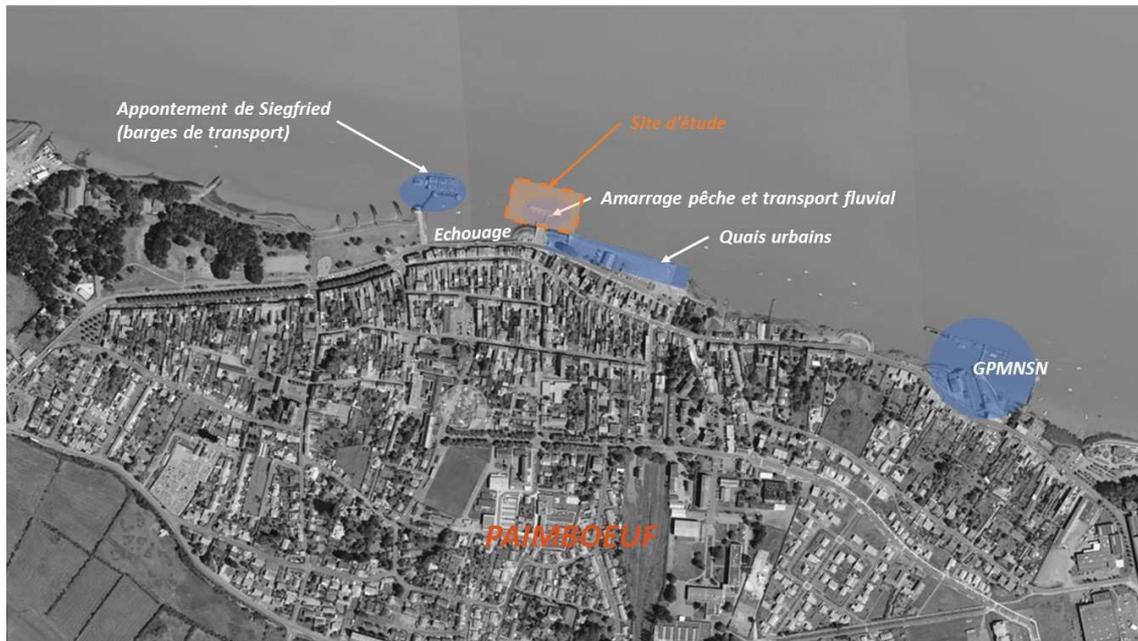
7.1. Stabilité vis-à-vis des efforts horizontaux.....	16
7.1.1. Mobilisation du sol en butée	16
7.1.2. Déplacements	16
7.2. Résistance structurelle	16
7.2.1. Stabilité vis-à-vis du cisaillement	16
7.2.2. Stabilité vis-à-vis de la flexion composée.....	17
8. Prédimensionnement du pieu support de palier	19
8.1. Stabilité vis-à-vis des efforts horizontaux.....	19
8.1.1. Mobilisation du sol en butée	19
8.1.2. Déplacements	19
8.2. Stabilité vis-à-vis de la portance	19
8.2.1. Etat limite ultime	19
8.3. Résistance structurelle	21
8.3.1. Stabilité vis-à-vis du cisaillement	21
8.3.2. Stabilité vis-à-vis de la flexion composée.....	22
9. Bilan.....	23

1. Introduction

1.1. Contexte de l'opération

1.1.1. L'usage actuel des bords de Loire à Paimboeuf

La ville de Paimboeuf est située en rive gauche de l'estuaire de la Loire, à 25 kms en amont de la limite aval de l'estuaire et à 54 kms en aval de Nantes. L'activité économique de la ville s'est bâtie autour de la Loire et sa rive a été modelée au gré des besoins liés aux activités fluviales.



Aujourd'hui plusieurs activités portuaires se côtoient le long de la berge :

- Les activités de dragage du GPMNSN (mouillage des barges),
- Le débarquement/embarquement d'un navire de croisière-promenade,
- L'amarrage de navires de pêche,
- L'échouage de petits navires de plaisance,
- Le stationnement de barges commerciales (AOT délivrée à la compagnie CLT)
- Des zones de quai urbain (stationnement de véhicules et promenade).

1.1.2. Historique du projet

En 2007, la Ville de Paimboeuf a fait réaliser une étude de réaménagement des bords de Loire à Paimboeuf. Cette étude a défini un certain nombre d'actions, donc l'action 6 « Création des allées de la Loire », qui a permis de mettre en avant le rôle d'un ponton flottant et de réaménagements terrestres dans la requalification et la mise en valeur des quais et de l'activité urbaine de Paimboeuf. Le site d'implantation envisagé était situé au niveau du quai Sadi Carnot à l'emplacement actuel de la barge servant d'amarrage aux navires de pêche.

Afin d'étudier plus en profondeur cet aménagement, un Avant-Projet Sommaire porté par la Ville de Paimboeuf a permis en 2011 de définir les caractéristiques techniques et dimensionnelles d'un équipement flottant destiné à l'accueil de navires de plaisance, de bateaux à passagers, de bateaux patrimoniaux ainsi que de navires techniques de service.

En prévision des élections municipales de 2014 et du changement de l'équipe en place, l'étude de cet équipement a été stoppée à ce stade.

En parallèle de cette réflexion, un projet de création d'un port mixte pêche/plaisance a été à l'étude depuis les années 2000. Ce projet a fait l'objet en 2011 d'une étude de programmation portée par la Communauté de Communes Sud Estuaire (CCSE). Il a été abandonné en 2013 du fait principalement d'un coût d'investissement dépassant les moyens de la CCSE et des fortes contraintes environnementales. Afin cependant de répondre aux besoins définis par les principaux enjeux en présence, la ville de Paimboeuf a choisi de réorienter la réflexion sur la mise en place du ponton flottant.

1.1.3. Définition du projet

Aujourd'hui, la Ville de Paimboeuf souhaite donc concrétiser la mise en place d'un ponton flottant destiné à l'accueil de diverses activités professionnelles et de loisirs. Cet équipement serait situé en lieu et place d'une barge servant actuellement à l'amarrage des navires de pêche et de débarcadère aux navires à passagers.

Le ponton tel que projeté au cours des études préliminaires a une longueur d'environ 50m. L'enveloppe prévisionnelle des travaux a été établie par le maître d'ouvrage à 1 280 000 €HT.

La ville de Paimboeuf a missionné le groupement des sociétés SCE et CREOCEAN pour la réalisation des études de maîtrise d'œuvre pour la réalisation de ce projet.

Les principaux enjeux de l'opération tels qu'énoncés au programme sont les suivants :

- Améliorer les conditions de travail des pêcheurs professionnels,
- Offrir des conditions d'accueil de la plaisance en escale et, de manière limitée, pour une plus longue durée.
- Créer une halte touristique pour les navires patrimoniaux et les navires à passagers,
- Préserver les activités techniques existantes liées au Grand Port Maritime et à la Marine Nationale.

1.2. Objet du document

La présente note a pour objet le prédimensionnement des pieux de guidage du ponton et du pieu support de palier.

1.3. Documents de référence

1.3.1. Documents de référence

- [R1]. Dossier AVP V2 de construction d'un ponton Lourd en lieu et place de la barge actuelle réalisé par SCE – Octobre 2015,
- [R2]. Rapport de mission géotechnique G2-AVP n°2015/02701 /NANTS-B réalisé par Geotec – Novembre 2015,
- [R3]. Note d'hypothèses générales-Phase PRO n°SCE-KGU-150 557-PRO-NC-001-A réalisée par SCE,
- [R4]. Note de dimensionnement du ponton-Phase PRO n°SCE-K GU-150557-PRO-NC-002-A réalisée par SCE,
- [R5]. Note de tenue à la mer - Phase PRO n°SCE-KGU-150557 -PRO-NC-004-A réalisée par le cabinet Jean BOUGIS.

1.3.2. Normes et recommandations

1.3.2.1.Eurocodes

Les Eurocodes constituent un ensemble de normes européennes ayant pour objectif d'harmoniser les méthodes de calcul utilisables pour vérifier la stabilité et le dimensionnement des différents éléments constituant des bâtiments ou ouvrages de génie civil, quels que soient les types d'ouvrages ou de matériaux (structures en béton, en métal, structures mixtes acier/béton, maçonnerie, bois, aluminium, règles de calcul pour les ouvrages de géotechnique et règles parasismiques).

Parmi les 9 Eurocodes, ceux qui sont susceptibles d'être utilisés sont les suivants :

- Eurocode 0 – Bases de calcul des structures
- Eurocode 1 – Actions sur les structures
- Eurocode 3 – Calcul des structures en acier
- Eurocode 7 – Calcul géotechnique
- NF P 94-262 – Justification des ouvrages géotechniques – Fondations profondes

1.3.2.2.Recommandations

Les normes listées au paragraphe précédent pourront être complétées des textes de recommandations suivants :

- Recommandations pour le calcul des ouvrages en Site Aquatique, éditées par le CETMEF (ROSA 2000)

Cet ouvrage fournit de nombreuses recommandations le dimensionnement des structures en site fluvial ou maritime.

2. Hypothèses fonctionnelles

Les hypothèses fonctionnelles sont précisées dans la note d'hypothèses générales (cf [R3]).

3. Conditions environnementales

Les conditions environnementales sont précisées dans la note d'hypothèses générales (cf [R3]).

4. Matériaux

4.1. Pieux métalliques

4.1.1. Caractéristiques des pieux

Les pieux de guidage sont numérotés de P1 à P4 de l'Est vers l'Ouest. Le pieu support est nommé P5.

Les caractéristiques des pieux prises en compte sont les suivantes :

	Pieu de guidage	Pieu de palier
Diamètre (mm)	1220	800
Epaisseur (mm)	25	14
Nuance d'acier	X60	X60
Limite élastique (MPa)	415 Mpa	355 Mpa
Module de Young E (MPa)	210 000	
Masse volumique (kN/m ³)	78,5 kN/m ³	

4.1.2. Corrosion

Conformément aux recommandations ROSA 2000, les épaisseurs sacrificielles suivantes seront prises en compte sur les pieux :

- 1.75 mm dans la zone d'immersion permanente. On considèrera cette épaisseur sacrificielle de 0 m CM jusqu'au terrain naturel sur les deux faces du pieu,
- 0.60 mm en zone de fiche, soit depuis le terrain naturel jusqu'à l'arase inférieure des pieux, sur les deux faces du pieu,

- 3.75 mm sur la face exposée en zone de marnage et d'éclaboussures, soit de l'arase supérieure des pieux jusqu'à +0 m CM et 1,75mm sur la face protégée.

5. Actions et combinaisons

5.1. Actions

5.1.1. Poids propre (PP)

Les poids volumiques suivants seront pris en compte dans le cadre du projet :

- Béton armé : 25,0kN/m³,
- Acier : 78,5kN/m³,
- Polystyrène sec : 0,24 kN/m³,
- Polystyrène humide (5% d'absorption) : 0,74 kN/m³,
- Eau de mer : 10,2kN/m³.

Le poids propre de la passerelle est estimé à 40kN. Le poids propre du palier d'accès est estimé à 4kN.

5.1.2. Surcharges piétonnes (Qp)

Une surcharge piétonne de 500kg/m² est prise en compte sur le palier et la passerelle d'accès.

5.1.3. Batillage (B_{at})

L'action du batillage sur les pontons a été déterminée par une étude hydrodynamique de tenue à la mer des pontons [R5].

5.1.4. Houle (H_{oule})

L'action de la houle sur les pontons a été déterminée par une étude hydrodynamique de tenue à la mer des pontons jointe en annexe.

L'action de la houle sur les navires est prise en compte au travers de l'action d'amarrage.

5.1.5. Courant (C_{ourant})

L'action du courant sur les navires et le ponton est prise en compte au travers de l'action d'amarrage.

5.1.6. Vent (V_{ent})

L'action du vent sur la passerelle est déterminée à partir des vitesses de vent moyennées sur 15s correspondant aux pressions dynamiques suivantes :

Période de retour	Vitesse de vent (moyennée sur 15s)	Pression dynamique
100 ans	41,56m/s	1,72 kPa
10 ans	34,56m/s	1,19 kPa
1 an	15,75m/s	0,80kPa

Nous obtenons ainsi, les efforts horizontaux suivants en tête du pieu support de palier :

- Période de retour 100ans : $1,72 \times (20 \times 1,8/2 + 2) = 34,4 \approx \mathbf{35kN}$,
- Période de retour 10ans : $1,19 \times (20 \times 1,8/2 + 2) = 23,8 \approx \mathbf{24kN}$,
- Période de retour 1an : $0,80 \times (20 \times 1,8/2 + 2) = \mathbf{16kN}$,

L'action du vent sur les navires est prise en compte au travers de l'action d'amarrage.

5.1.7. Amarrage (A_m)

Nous prenons en compte les efforts d'amarrage suivants (cf [R3]) :

- Combinaison ELU, action principale : **261 kN/pieu**
- Combinaison ELS, action principale : **206 kN/pieu**

5.1.8. Accostage (A_{cc})

Les efforts d'accostage ELU par pieu, déterminés dans la note de dimensionnement du ponton [R4], sont les suivants :

- à +8,0m CM : $F=531,3/2 = \mathbf{265,7kN}$,
- à +4,0m CM : $F=818,7/2 = \mathbf{409,4kN}$,
- à +0,0m CM : $F=1466,0/2 = \mathbf{733,0kN}$.

Les efforts d'accostage ELS par défense correspondent aux réactions nominales des défenses soit 160kN par défense.

5.1.9. Choc d'embâcle (E_m)

Nous prenons en compte un effort lié au choc d'embâcle de 92,9kN à l'ELU accidentel (cf [R3]).

5.2. Combinaisons d'actions

5.2.1. ELS

Actions	Types de combinaisons ELS					
	1	2	3	4	5	6
$G_{k,sup}$	1	1	1	1	1	1
$G_{k,inf}$	1	1	1	1	1	1
Q_p	1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
A_m	0,75	1*			1*	0,75
A_{cc}			1			
H_{oule}	H_s 1 an	H_s 1 an	H_s 1 an	H_{max} 10ans	H_s 1 an	
V_{ent}	1 an	1 an	1 an	10 ans	1 an	
Courant	0,75× Normal	Normal	0,75× Normal	0,75× Normal	0,75× Normal	
B_{at}					0,75× Normal	Normal
*Coefficient à appliquer aux valeurs ELS						

5.2.2. ELU et ELA

Actions	Types de combinaisons ELU						
	ELU fondamental						ELA
	1	2	3	4	5	6	7
$G_{k,sup}$	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1
$G_{k,inf}$	1	1	1	1	1	1	1
Q_p	1,35	$1,35 \times 0,4 = 0,54$	0,54	0,54	0,54	0,54	0,2
A_m	1 ^(b)	1 ^(a)			1 ^(a)		0,2
A_{cc}			1				
H_{oule}	H_s 10 ans	H_s 10 ans	H_s 10 ans	H_{max} 100ans			
V_{ent}	10 ans	10 ans	10 ans	100 ans			
Courant	Normal	Extrême	Normal	Normal			
B_{at}					Normal	Extrême	
E_m							1
(a)Coefficient à appliquer aux valeurs ELU							
(b)Coefficient à appliquer aux valeurs ELS							

5.2.3. Bilan

■ Pieux de guidage

Sollicitations - Pieux de guidage						
Action	Haute Mer		Niveau Moyen		Basse Mer	
	Effort vertical (kN)	Effort horizontal (kN)	Effort vertical (kN)	Effort horizontal (kN)	Effort vertical (kN)	Effort horizontal (kN)
Poids propre	164.9	0.0	164.9	0.0	164.9	0.0
Qp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pression hydrostatique	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Amarrage	0.0	206.0	0.0	206.0	0.0	206.0
Accostage normal	0.0	160.0	0.0	160.0	0.0	160.0
Accostage accidentel	0.0	265.7	0.0	409.4	0.0	733.0
Houle H _{s1 an}	0.0	190.0	0.0	190.0	0.0	190.0
Houle H _{s10 ans}	0.0	230.0	0.0	230.0	0.0	230.0
Houle H _{max10 ans}	0.0	460.0	0.0	460.0	0.0	460.0
Houle H _{max 100 ans}	0.0	486.6	0.0	486.6	0.0	486.6
Batillage normal	0.0	220.0	0.0	220.0	0.0	220.0
Combinaisons	Haute Mer		Niveau Moyen		Basse Mer	
ELS 1	164.9	190.0	164.9	190.0	164.9	190.0
ELS 2	164.9	396.0	164.9	396.0	164.9	396.0
ELS 3	164.9	350.0	164.9	350.0	164.9	350.0
ELS 4	164.9	460.0	164.9	460.0	164.9	460.0
ELS 5	164.9	371.0	164.9	371.0	164.9	371.0
ELS 6	164.9	220.0	164.9	220.0	164.9	220.0
ELU 1	222.5	230.0	222.5	230.0	222.5	230.0
ELU 2	222.5	487.5	222.5	487.5	222.5	487.5
ELU 3	222.5	495.7	222.5	639.4	222.5	963.0
ELU 4	222.5	488.0	222.5	488.0	222.5	488.0
ELU 5	222.5	426.0	222.5	426.0	222.5	426.0

Pour les sollicitations liées à la houle, nous considérons, de manière conservatrice, les efforts enveloppes pour l'ensemble des niveaux d'eau (+7,5 / +3,5 / -0,5m CM).

- Pieu support de palier

Nous obtenons ainsi, les efforts horizontaux suivants en tête du pieu support de palier :

	Effort vertical (kN)	Effort horizontal (kN)
ELS 1	$F_{cd} = 46 + 20 + 4 + \frac{28}{2} \times 5 + 2,8 \times 5 = 154,0kN$	16,0
ELS 4	$F_{cd} = 46 + 20 + 4 + 0,4 \times \frac{28}{2} \times 5 + 0,4 \times 2,8 \times 5 = 105,0kN$	24,0
ELU 1	$F_{cd} = 1,35 \times 46 + 1,35 \times (20 + 4) + 1,35 \times \frac{28}{2} \times 5 + 1,35 \times 2,8 \times 5 = 207,9kN$	24,0
ELU 4	$F_{cd} = 1,35 \times 46 + 1,35 \times (20 + 4) + 0,54 \times \frac{28}{2} \times 5 + 0,54 \times 2,8 \times 5 = 139,9kN$	35,0

6. Modélisation

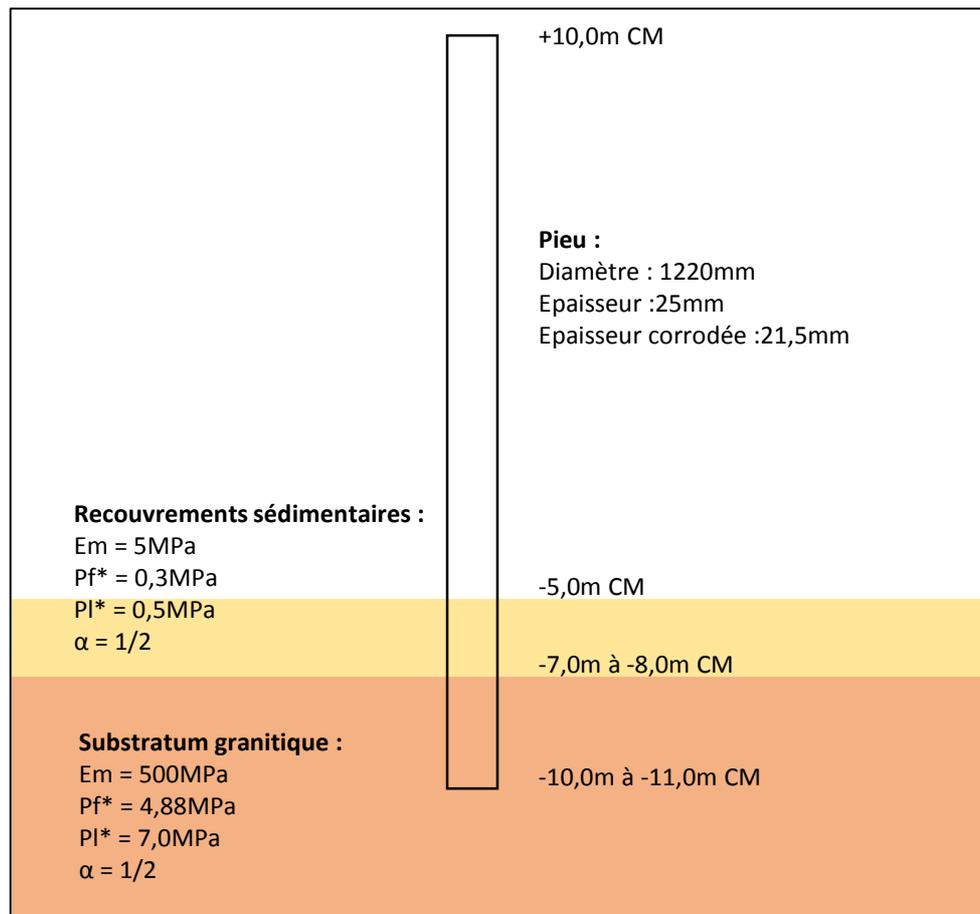
6.1. Logiciel utilisé

Le dimensionnement des pieux vis-à-vis des efforts horizontaux est réalisé à l'aide du logiciel ALBE. Ce logiciel de calcul-élasto-plastique des pieux a été conçu et réalisé par la Division Ouvrages Portuaires Maritimes du CEREMA.

6.2. Coupes de calcul

6.2.1. Pieux de guidage

Les pieux de guidage sont dimensionnés en considérant la coupe de calcul suivante :

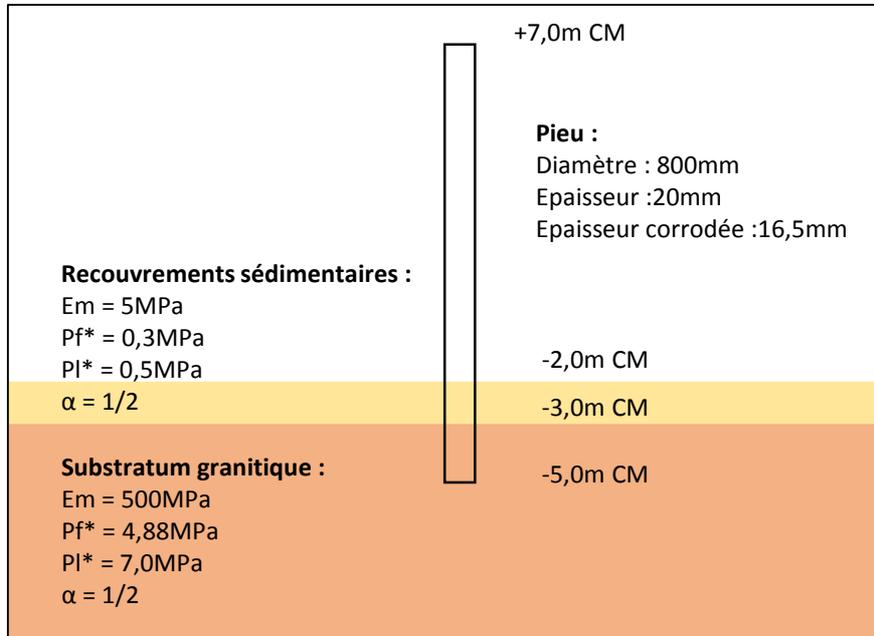


Coupe de calcul pris en compte pour les pieux de guidage

Les recouvrements sédimentaires sont négligés sur le premier mètre afin de prendre en compte les éventuelles évolutions de la bathymétrie (dragage, mouvements sédimentaires,...).

6.2.2. Pieu support de palier

Le pieu support de palier est dimensionné en considérant la coupe de calcul suivante :



Les recouvrements sédimentaires sont négligés sur le premier mètre afin de prendre en compte les éventuelles évolutions de la bathymétrie (dragage, mouvements sédimentaires,...).

7. Prédimensionnement des pieux de guidage

7.1. Stabilité vis-à-vis des efforts horizontaux

7.1.1. Mobilisation du sol en butée

Le coefficient de mobilisation du sol minimal est obtenu à l'ELU 3 est de 1,78. Ce coefficient correspond à un niveau d'eau de +7,50m CM et un toit du rocher à -7,0m CM.

Nous obtenons bien un coefficient Butée mobilisable/butée mobilisée supérieur à $\gamma_{R,e} = 1,4$.

Le critère de stabilité du pieu vis à vis de la mobilisation du sol est vérifié pour un ancrage de **3,0m** dans le substratum.

A noter que l'ancrage dans les recouvrements sédimentaires avec galets ne suffit pas à garantir la stabilité du pieu vis-à-vis des efforts horizontaux.

7.1.2. Déplacements

Le déplacement maximal en tête de pieu obtenu à l'ELS 3 est de 18,75cm.

7.2. Résistance structurelle

Les efforts maximums dans le pieu à l'ELU3 pour un niveau d'eau de +7,50m CM :

- Cisaillement : 3 557,22kN,
- Moment fléchissant : 6 859,48kN.m.

7.2.1. Stabilité vis-à-vis du cisaillement

La valeur de la résistance plastique au cisaillement de la section de tube est donnée par :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Avec :

$$A_v : \text{Aire de cisaillement} \quad A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 809,53}{\pi} = 515,3 \text{ cm}^2$$

f_y : Limite de contrainte élastique admissible de l'acier soit 415 MPa,

γ_{M0} : Coefficient partiel pour la résistance des sections transversales soit 1,0.

$$V_{pl,Rd} = \frac{515,3 \cdot 10^{-4} (415 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = 12346,6 \text{ kN}$$

Nous obtenons donc :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{3557,22}{12346,6} = 0,29 < 1$$

Le critère de résistance de la section vis-à-vis de l'effort de cisaillement est vérifié.

7.2.2. Stabilité vis-à-vis de la flexion composée

L'effort tranchant est inférieur à la moitié de la résistance plastique au cisaillement, son effet sur le moment résistant peut donc être négligé.

Les sollicitations de calcul sont les suivantes :

- $N_{ed} = 222,5 \text{ kN}$
- $M_{ed} = 6859,5 \text{ kN}$

La valeur de calcul de la résistance de la section transversale à la compression uniforme est la suivante :

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = 809,53 \cdot 10^{-4} \times 415 \cdot 10^3$$

$$N_{c,Rd} = 33595,5 \text{ kN}$$

La valeur de calcul de la résistance à la flexion est la suivante :

$$M_{c,Rd} = \frac{w_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 23,83 \cdot 10^{-3} \times 415 \cdot 10^3$$

$$M_{c,Rd} = 9889,5 \text{ kN}$$

Nous obtenons donc :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{222,5}{33595,5} + \frac{6859,5}{9889,5} = 0,7 \leq 1$$

Le critère de résistance de la section vis-à-vis de la flexion composée est vérifié.

8. Prédimensionnement du pieu support de palier

8.1. Stabilité vis-à-vis des efforts horizontaux

Les efforts horizontaux dimensionnant sont obtenus à l'ELS 4 et l'ELU 4.

8.1.1. Mobilisation du sol en butée

Les coefficients de mobilisation du sol obtenus à l'ELU 4 est de 11,93.

Nous obtenons bien un coefficient Butée mobilisable/butée mobilisée supérieur à $\gamma_{R,e} = 1,4$.

Le critère de stabilité du pieu vis à vis de la mobilisation du sol est vérifié pour un ancrage de **2,0m** dans le substratum.

A noter que l'ancrage dans les recouvrements sédimentaires avec galets ne suffit pas à garantir la stabilité du pieu vis-à-vis des efforts horizontaux.

8.1.2. Déplacements

Le déplacement maximal en tête de pieu obtenu à l'ELS 4 est de 1,7cm.

8.2. Stabilité vis-à-vis de la portance

8.2.1. Etat limite ultime

L'effort normal maximal F_{cd} , obtenu à l'ELU 1, est de :

$$F_{cd} = 207,9kN$$

La valeur de calcul de la portance du terrain sous la fondation est déterminée par la relation suivante :

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

F_{cd} : Valeur de calcul à l'ELU de la charge de compression axiale sur la fondation profonde,

$R_{c,d}$: Valeur de calcul de la portance du terrain sous la fondation,

$R_{b,k}$: Valeur caractéristique de la résistance de pointe de la fondation,

$R_{s,k}$: Valeur caractéristique de la résistance de frottement axial de la fondation,

γ_b : Facteur partiel de résistance appliqué à la pointe, soit 1,1 à l'ELU,

γ_s : Facteur partiel de résistance appliqué au frottement latéral, soit 1,1 à l'ELU.

La valeur caractéristique de la résistance de pointe du pieu est déterminée par la relation suivante :

$$R_{b,k} = \frac{A_b \times k_p \times p_{le}^*}{\gamma_{Rd1} \times \gamma_{Rd2}}$$

p_{le}^* , pression limite nette équivalente soit 7,0MPa

k_p , facteur de portance pressiométrique soit 0,6,

γ_{Rd1} et γ_{Rd2} coefficient de modèle pris respectivement égal à 1,1 et 1,15 conformément au tableau F.2.1 de la norme NF P 94 262.

Nous obtenons :

$$R_{b,k} = \frac{0,5 \times 0,6 \times 7,0 \cdot 10^3}{1,1 \times 1,15} = 1660,0kN$$

La valeur caractéristique de la résistance de frottement axial du pieu déterminée par la relation suivante :

$$R_{s,k} = \frac{A_{s,i} \times H \times q_{s,i}}{\gamma_{Rd1} \times \gamma_{Rd2}}$$

$q_{s,i}$, frottement axial unitaire limite de la fondation profonde

h , hauteur de la couche de sol.

Nous obtenons :

$$R_{s,k} = \frac{2,5 \times (90 \times 2,0)}{1,1 \times 1,15} = 355,7kN$$

Finalement nous obtenons :

$$R_{c,d} = \frac{1660}{1,1} + \frac{355,7}{1,1} = 1832,4kN$$

$$R_{c,d} > F_{cd} = 207,9kN$$

Le critère de stabilité du pieu vis-à-vis de la portance est largement vérifié à l'ELU.

8.3. Résistance structurelle

Les efforts dimensionnant sont obtenus à l'ELS 4 et l'ELU 4 :

- ELU 4 : Effort horizontal de 35kN,
- ELS 4 : Effort horizontal de 24kN.

Les efforts verticaux concomitants à l'ELS 4 et l'ELU 4 sont les suivants :

- ELU 4 : $F_{cd} = 1,35 \times (20 + 4) + 0,54 \times \frac{28}{2} \times 5 + 0,54 \times 2,8 \times 5 = 77,8kN$
- ELS 4 : $F_{cd} = 20 + 4 + 0,4 \times \frac{28}{2} \times 5 + 0,4 \times 2,8 \times 5 = 59,0kN$

8.3.1. Stabilité vis-à-vis du cisaillement

La combinaison la plus défavorable est l'ELU 4. L'effort de cisaillement de calcul est $V_{Ed} = 35,0kN$.

La valeur de la résistance plastique au cisaillement de la section de tube est donnée par :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Avec :

$$A_v : \text{Aire de cisaillement } A_v = \frac{2A}{\pi} = 258,5cm^2$$

f_y : Limite de contrainte élastique admissible de l'acier soit 275 MPa,

γ_{M0} : Coefficient partiel pour la résistance des sections transversales soit 1,0.

$$V_{pl,Rd} = \frac{258,5 \cdot 10^{-4} (275 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = 4104,2kN$$

Nous obtenons donc :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{35}{4104,2} = 0,009 < 1$$

Le critère de résistance de la section vis-à-vis de l'effort de cisaillement est vérifié.

8.3.2. Stabilité vis-à-vis de la flexion composée

L'effort tranchant est inférieur à la moitié de la résistance plastique au cisaillement, son effet sur le moment résistant peut donc être négligé.

Les sollicitations de calcul sont les suivantes :

- $N_{ed} = 77,8\text{kN}$
- $M_{ed} = 342,0 + 7,9 = 350\text{kN}$

Nous ajoutons au moment engendré par les efforts horizontaux un moment en tête de pieu au déport du palier en tête de pieu.

La valeur de calcul de la résistance de la section transversale à la compression uniforme est la suivante :

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = 406,15 \cdot 10^{-4} \times 275 \cdot 10^3$$

$$N_{c,Rd} = 11169,1\text{kN}$$

La valeur de calcul de la résistance à la flexion est la suivante :

$$M_{c,Rd} = \frac{w_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 7,79 \cdot 10^{-3} \times 275 \cdot 10^3$$

$$M_{c,Rd} = 2142,2\text{kN}$$

Nous obtenons donc :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{77,8}{11169,1} + \frac{350}{2142,2} = 0,17 \leq 1$$

Le critère de résistance de la section vis-à-vis de la flexion composée est vérifié.

9. Bilan

Suite au prédimensionnement réalisé, les caractéristiques des pieux sont les suivantes :

- Pieux de guidage :
 - Diamètre : 1220mm,
 - Epaisseur du tube : 25mm,
 - Cote d'arase supérieure : +10,0m CM96,
 - Longueur d'ancrage dans le substratum : **3,0m**,
 - Longueur totale indicative: 20,0 à 21,0m,
 - Cote de pied de tube indicative : -20,0m pour les pieux P1 à P3 et -21mCM pour le pieu P4.

- Pieu support de palier :
 - Diamètre : 800mm,
 - Epaisseur du tube : 20mm,
 - Cote d'arase supérieure : +7,0m CM96,
 - Longueur d'ancrage dans le substratum : **2,0m**,
 - Longueur totale indicative: 12,0m,
 - Cote de pied de tube indicative : -5,0m CM.



sce

Aménagement
& environnement

www.sce.fr

GROUPE KERAN