



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 d'hypothèses générales - 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 d'hypothèses générales – Phase PRO
REFERENCE	150557-PRO-NC-001
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	7
1.3.2. Etudes et données d'entrée rassemblées par la maîtrise d'œuvre	7
1.3.3. Autres documents de référence	8
1.3.4. Normes et recommandations	8
1.3.4.1. Normes relatives aux bateaux de navigation intérieure.....	8
1.3.4.2. Eurocodes	8
1.3.4.3. Recommandations	9
2. Hypothèses fonctionnelles.....	10
2.1. Accès au ponton.....	10
2.2. Navires projet	10
2.3. Durée de vie des ouvrages.....	11
3. Conditions environnementales	11
3.1. Nivellement et repère altimétrique	11
3.2. Houle et clapot	11
3.3. Niveaux d'eau et surcote	13
3.3.1. Marée astronomique.....	13
3.3.2. Surcote météorologiques.....	13
3.3.3. Surcote liée au phénomène de crue.....	13
3.3.4. Evolution du niveau d'eau du au réchauffement climatique	15
3.3.5. Synthèse des niveaux de projet.....	15
3.4. Courant	15
3.5. Vent.....	17
3.6. Séisme	18
3.7. Topographie, bathymétrie.....	18
3.8. Aspects géotechniques	18
3.8.1. Caractéristiques mécaniques	18
3.8.2. Coupe géotechnique	19
3.8.3. Paramètres d'interaction sol/structure	19
4. Matériaux.....	21
4.1. Structure ponton.....	21
4.1.1.1. Béton	21
4.1.1.2. Aciers pour armatures	21
4.2. Pieux métalliques	22
4.2.1. Caractéristiques des pieux	22
4.2.2. Corrosion.....	22

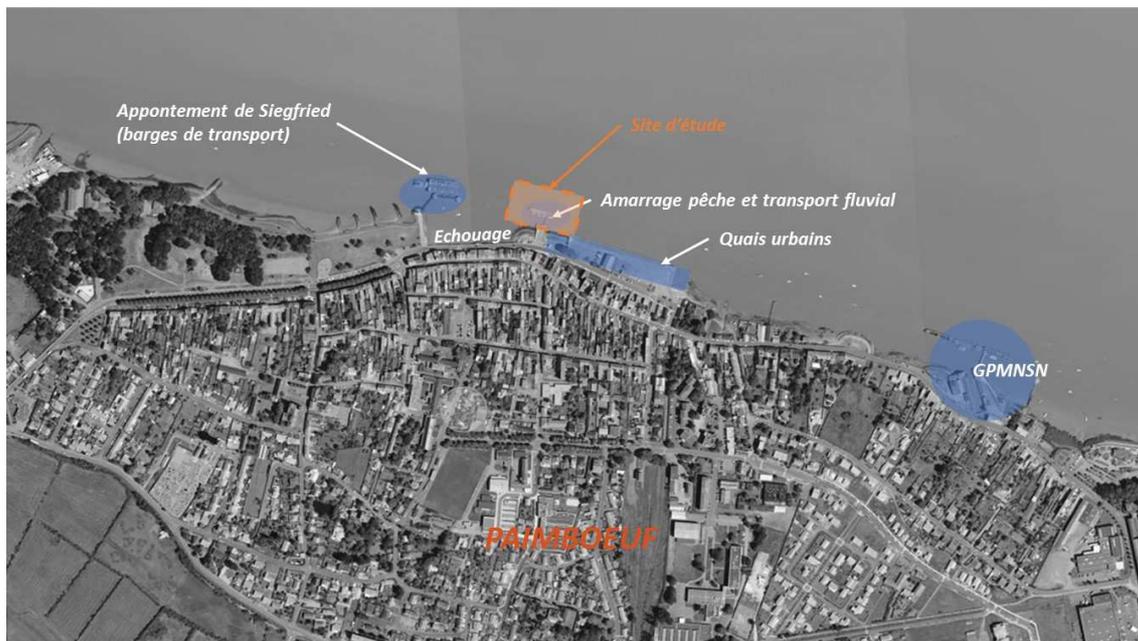
5. Actions et combinaisons	23
5.1. Actions	23
5.1.1. Poids propre (PP)	23
5.1.2. Surcharges piétonnes (Qp).....	23
5.1.3. Pression hydrostatique (Ph).....	23
5.1.4. Batillage (B _{at})	23
5.1.5. Houle (H _{oule})	23
5.1.6. Courant (C _{ourant})	24
5.1.7. Vent (V _{ent})	24
5.1.8. Amarrage (A _m)	24
5.1.9. Accostage (A _{cc})	26
5.1.10. Choc d'embâcle (E _m)	26
5.2. Combinaisons d'actions	28
5.2.1. Concomitance des conditions environnementales	28
5.2.2. ELS	29
5.2.3. ELU et ELA	29
6. Vérifications	30
6.1. Béton armé	30
6.2. Pieux métalliques	31
6.2.1. Vis-à-vis du comportement horizontal des pieux	31
6.2.2. Vérification de la portance	32
6.2.3. Stabilité interne des pieux	32
6.3. Stabilité hydrostatique du ponton.....	33
Annexe : Efforts d'amarrage	34

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 CCSE a choisi de réorienter la réflexion sur la mise en place du ponton flottant étudié par la Ville.

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 la définition des hypothèses générales prises en compte pour la conception du ponton lourd et de ses structures d'accès ainsi que les vérifications réglementaires associées.

1.3. Documents de référence

1.3.1. Données d'entrée transmises par la maîtrise d'ouvrage

Les documents d'entrée utilisés dans le cadre de notre étude sont les suivantes :

- [R1]. Etude prospective d'aménagement des bords de Loire réalisée par P.Carudel en 2007,
- [R2]. Etudes en phase AVP du projet d'aménagement des quais réalisées par Arcadis en 2012,
- [R3]. Etudes en phase AVP du projet de ponton lourd réalisées par Arcadis en 2011,
- [R4]. Etude bathymétrique réalisée par la CCSE ainsi que son interprétation dans l'AVP ponton pour le cabinet Arcadis,
- [R5]. Périmètre des AOT,
- [R6]. Etude de diagnostic réseau eaux pluviales réalisée par la commune,
- [R7]. Cartes natura 2000,
- [R8]. Cartes du BRGM,
- [R9]. Etude hydro-sédimentaire menée dans le cadre du projet de port, Sogreah – Avril 2011,
- [R10]. Atlas bathymétrique Loire aval – GIP Loire,
- [R11]. Plan topographique – 2004,
- [R12]. Plan de récolement des eaux pluviales réalisé par SPI2C en 2013,
- [R13]. Compte-rendu de l'essai d'accostage du Milouin,
- [R14]. Etude pour la programmation d'un port mixte pêche/plaisance – Rapports de phases 1, 2 et 3 (ARTELIA + J.F. REVERT),
- [R15]. Coupes géologiques pour la construction d'un appontement particulier à Paimboeuf Port Autonome de Nantes/ Saint-Nazaire – 1967,
- [R16]. Relevé topographique de la zone (fichier source type Autocad) 2004,
- [R17]. Rapport n°15367879-001 de repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante réalisé par l'Apave sur la barge existante - Septembre 2015,
- [R18]. Rapport n°15367879-002 de repérage d'hydrocarbures réalisé par l'Apave sur la barge existante - Septembre 2015.

1.3.2. Etudes et données d'entrée rassemblées par la maîtrise d'œuvre

- [R19]. Rapport d'Etude SCE 06301A, Mémorial à l'abolition de l'esclavage - Expertise des incidences hydrauliques des aménagements sur l'écoulement de la Loire, 2007
- [R20]. Modélisation 2D de l'estuaire de la Loire étendu, GIP Loire Estuaire, SOGREAH

- [R21]. Bathymétrie de la zone réalisée en 2008, GIP Loire Estuaire,
- [R22]. Livret d'accueil au poste roulier à l'attention des capitaines de navires édité par le GPMNSN en 2010,
- [R23]. Rapport AVP du port à sec de Frossay n°8-71-3329 réalisé par Artelia – Janvier 2013.

1.3.3. Autres documents de référence

- [R24]. Dossier AVP V2 de construction d'un ponton Lourd en lieu et place de la barge actuelle réalisé par SCE – Octobre 2015,
- [R25]. Rapport de mission géotechnique G2-AVP n°2015/02701 /NANTS-B réalisé par Geotec – Novembre 2015.

1.3.4. Normes et recommandations

1.3.4.1. Normes relatives aux bateaux de navigation intérieure

Un embarcadère n'est pas considéré comme un Etablissement Recevant du Public (ERP) pour le fait principal qu'il n'est pas constitué par un local fermé avec des murs et un toit.

Le Code des Transport définit clairement l'ouvrage en tant qu'établissement flottant situé dans une eau intérieure appartenant à la zone de navigation 2.

Pour la conception du ponton et de sa passerelle, il est donc proposé de faire référence à la législation et aux normes relatives à la navigation intérieure, et en particulier à ce qui suit :

- NF EN 14504 : Bateaux de navigation intérieure : Embarcadères flottants
Cette norme définit les caractéristiques techniques applicables aux embarcadères flottants destinés aux bateaux de navigation intérieure. Elle traite notamment de la stabilité, de la solidité, des pentes et largeurs de passerelles, des équipements et renvoie à la NF EN 711 ainsi qu'aux Eurocodes.
- NF EN 711 : Bateaux de navigation intérieure : Garde-corps
Cette norme définit les prescriptions techniques liées à la conception des garde-corps des navires. Elle définit notamment les exigences de sécurité des garde-corps destinés à des zones de passagers.
- NF EN 13281 : Bateaux de navigation intérieure - Prescriptions de sécurité relatives aux passages et lieux de travail
- Annexes 2 et 3 de l'arrêté du 16/12/2010 intégrant des prescriptions techniques complémentaires applicables sur les eaux intérieures de la zone 2.

1.3.4.2. 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 2 – Calcul des structures en béton armé
- Eurocode 3 – Calcul des structures en acier
- Eurocode 7 – Calcul géotechnique
- Eurocode 9 – Calcul des structures en alliage d'aluminium
- NF P 94-262 – Justification des ouvrages géotechniques – Fondations profondes

1.3.4.3.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.
- Guide conception port plaisance publié par le CETMEF en 2002,
- Les pontons de plaisance – Guide de conception publié en 1992 par le secrétariat d'état à la mer,
- Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique) édité par le SHOM et le CETMEF en 2008.

2. Hypothèses fonctionnelles

2.1. Accès au ponton

Le ponton sera ouvert au public, notamment pour les activités liées à l'accueil des navires de transport de passagers ou de navires patrimoniaux. Néanmoins, le ponton ne constitue pas un établissement recevant du public et n'est donc pas soumis à la réglementation ERP en vigueur (cf §1.3.4.1).

Les surcharges piétonnes suivantes seront prises en compte sur les ouvrages :

- Palier et passerelle d'accès : 500kg/m²,
- Pontons : 350kg/m².

2.2. Navires projet

Au regard des éléments mis à notre disposition dans le cadre de la consultation nous avons pu identifier les conditions d'accueil des navires projet suivantes :

Navire projet	Usage	Longueur	Déplacement maximal	Tirant d'eau	Vitesse d'accostage		Conditions d'accueil
					Caractéristique	De calcul	
Voiliers	Plaisance	7à10m	1 à 8T	<1,0m	0,6 nœud	1,0 nœud	Escales ponctuelles
Moteurs	Pêche	5 à 8m	1 à 5T	<1,5m	0,6 nœud	1,0 nœud	3 à 4 bateaux à l'année
Finist'mer	Transport passagers				0,6 nœud	1,0 nœud	Halte ponctuelle
Le Belem	Animation touristique	48m à la flottaison 58m hors tout	900T	3,60m	0,6 nœud	1,0 nœud	Halte ponctuelle
Le Cormoran	Militaire	54m	477T	2,2m	0,6 nœud	1,0 nœud	Halte ponctuelle
Le Milouin					0,5 nœud	1,0 nœud	Halte ponctuelle
Le Loire-Princesse	Transport passagers	84,13 à la flottaison	650T	0,8m	0,6 nœud	1,0 nœud	Halte ponctuelle

L'analyse des caractéristiques des navires disponibles conduit à considérer le Belem et le Loire Princesse comme les navires projet de dimensionnement des ouvrages vis-à-vis de l'action d'amarrage et d'accostage.

NOTA : Nous rappelons que le projet ne prévoit pas de protection des navires de projet vis-à-vis du batillage, de la houle et du clapot. Cette contrainte réduira la disponibilité du ponton à l'année pour les unités les plus légères, qui devront stationner de manière privilégiée sur le côté intérieur du ponton. De manière générale, les conditions d'accueil d'un navire relèvera de la responsabilité du capitaine qui jugera des conditions de houle de vent et de courant pour lesquels l'amarrage en sécurité de son navire peut être assuré au regard des installations disponibles.

2.3. Durée de vie des ouvrages

La durée de vie des ouvrages projetés est de 50 ans sous réserve d'un carénage des pontons tous les 10 ans.

3. Conditions environnementales

3.1. Nivellement et repère altimétrique

La correspondance entre les niveaux IGN 69 (NGF) et CM 96 à Paimboeuf est la suivante :

IGN 69	CM 96
0	3.16
-3.16	0

S'agissant d'un projet en milieu marin, par la suite les cotes seront données dans le référentiel Cotes Marines (1996).

3.2. Houle et clapot

En l'absence d'étude d'agitation disponible au droit de notre site d'étude, des hypothèses de houle ont été proposées en phase AVP sur la base de caractéristiques de houle établies dans le cadre d'un projet de pontons sur la commune de Frossay, situé à environ 2,5km de Paimboeuf.

- **Comparaison des conditions environnementales entre le site de Paimboeuf et celui de Frossay :**
 - Le site de Paimboeuf est situé sur le même axe que le site de Frossay (même direction de vent) et est donc relativement protégé des clapots d'Ouest,
 - Par ailleurs, le site de Paimboeuf, comme celui de Frossay, n'est pas exposé aux houles du large,
 - Les vitesses de vent sont similaires, seuls les fetch diffèrent puisque le fetch dimensionnant de 8,5km pour le site de Frossay est réduit à 6,0km pour le site de Paimboeuf.



Comparaison du fetch par rapport à celui considéré dans l'étude de ponton à Frossay

■ **Application de la formule de Bretshneider pour le site de Paimboeuf :**

Le tableau ci-dessous rassemble la synthèse des agitations extrêmes déterminées d'après :

- Le rapport d'étude menée dans le cadre du projet de port à sec à Frossay [R23] ;
- les formules de Breitschneider (73 et 77) et de Hasselmann (76) dans une profondeur d'eau de 15 m.

Durée	Débit Loire	Courant	Niveau d'eau	Fetch	Vent	Agitation	
(ans)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	N (m CM)	F (km)	V (m/s)	H _{m0} (m)	T _p (s)
Agitation levée par le vent d'Ouest							
1 an	-	Sans	+3.60	6.0	21.0	1.20	4.2
10 ans	-	Sans	+3.60	6.0	25.6	1.50	4.5
100 ans	-	Sans	+3.60	6.0	27.0	1.60	4.6
100 ans	4000 (max du jusant)	1.54	+0.10 à +1.25	6.0	27.0	1.40	5.7
100 ans	191 (Au max du flot)	1.84	+1.95 à +2.40	6.0	27.0	1.65	4.6
Agitation levée par le vent d'Est							
1 an	-	Sans	+3.60		11.2	1.20	4.0
10 ans	-	Sans	+3.60		14.1	1.60	4.3
100 ans	-	Sans	+3.60		18.4	1.65	4.3

Nous attirons l'attention du maître d'ouvrage sur le fait que ces hypothèses ne constituent pas des valeurs consolidées et que seule une étude d'agitation spécifique permettrait de définir, de manière justifiée, les conditions d'agitation de dimensionnement. Nous nous tenons à la disposition de la maîtrise d'ouvrage pour la réalisation d'une telle étude complémentaire.

3.3. Niveaux d'eau et surcote

3.3.1. Marée astronomique

Les niveaux de marée astronomique à Donges, établis par les services du Shom, sont les suivants :

Plus Haute Mer Astronomique	+6,73m CM
Pleines Mers de Vives Eaux	+5,95m CM
Niveau Moyen	+3,58m CM
Basse Mer de Vives Eaux	+0,65m CM
Plus Basse Mer Astronomique	-0,31m CM

Paimboeuf étant situé sur la rive Sud de la Loire en face de Donges, nous considérerons que ces valeurs sont applicables pour notre site d'étude.

3.3.2. Surcote météorologiques

Le rapport sur les statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France édité par le SHOM et le CERAM permet de définir les niveaux de dimensionnement pour différentes périodes de retour en prenant en compte les surcotes liées aux phénomènes météorologiques.

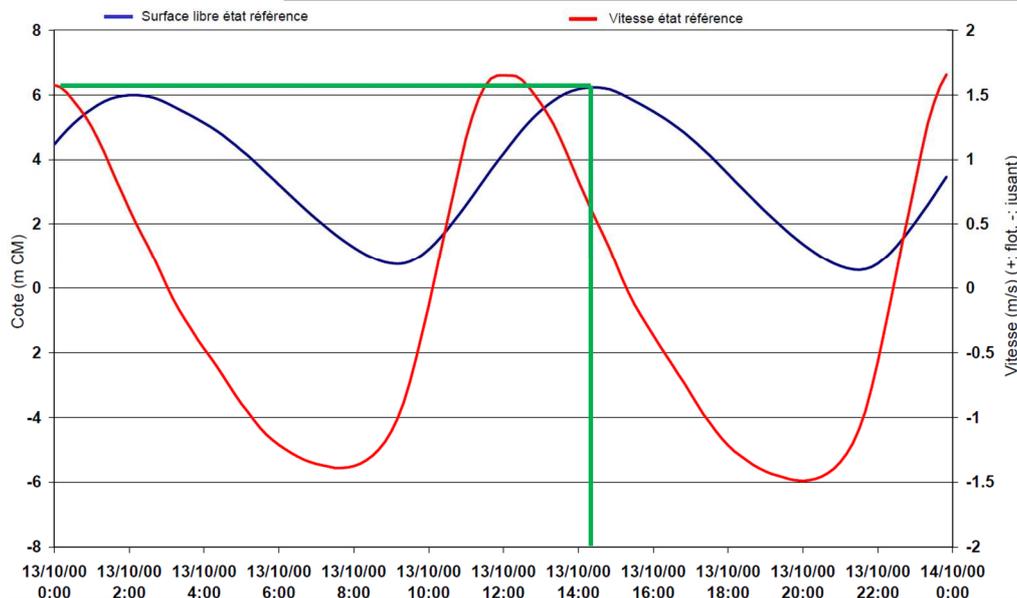
Le niveau d'eau extrême de période de retour centennale au niveau de Paimboeuf est de 4,277m IGN 69 soit 7,44m CM96.

3.3.3. Surcote liée au phénomène de crue

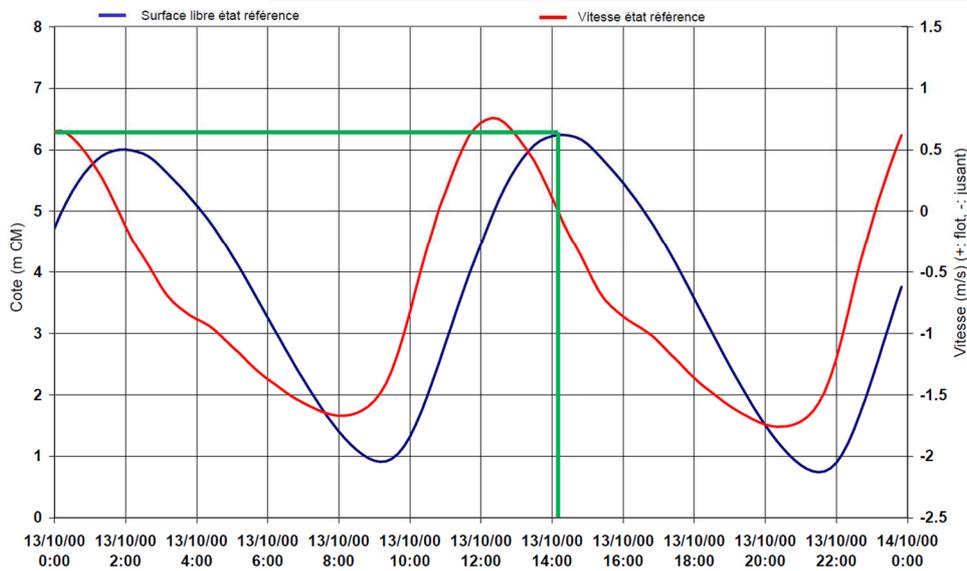
Le rapport d'étude hydraulique réalisé par SCE dans le cadre du projet de mémorial à l'abolition de l'esclavage en 2007 fait état d'un débit de la Loire à Montjean de 7100m³/s pour une période de retour de 50ans [R19].

L'étude de modélisation 2D de l'estuaire de la Loire étendu réalisé par Sogreah fourni l'évolution du niveau d'eau en différents points de la Loire pour un niveau de marée 95 et deux configurations d'écoulement :

- Débit d'étiage : 200m³/s
- Débit de crue : 4000m³/s.



Niveau d'eau au point de sortie du modèle PK14 (Donges) pour un coefficient de 95 et un débit de 200m³/s



Niveau d'eau au point de sortie du modèle PK14 (Donges) pour un coefficient de 95 et un débit de 4000m³/s

A partir de ces données nous pouvons définir de manière simplifiée la surcote liée au phénomène de crue pour un débit de 4000m³/s. Nous extrapolons ensuite la surcote engendrée par une crue d'occurrence 50 ans (débit de 7100m³/s) en considérant, de manière défavorable, une évolution linéaire de la surcote en fonction du débit.

$$\Delta_{7100m^3/s} = \frac{7100}{4000} \times (6,30 - 5,95) = 0,62m$$

3.3.4. Evolution du niveau d'eau du au réchauffement climatique

D'après l'étude de Church et al.(2006) et les cartes du LEGOS, on peut évaluer la surélévation du niveau moyen de la mer dans la zone de Saint-Nazaire entre 1,5 et 2,5mm/an (cf Rapport d'étude de tenue à la mer du ponton établi par Jean BOUGIS).

Nous retiendrons donc une surélévation du niveau marin de 10,0cm dans le cadre de notre projet.

3.3.5. Synthèse des niveaux de projet

Dans le cadre du présent projet, le niveau d'eau extrême supérieur est établi sur la base de deux scenarii :

- Premier scenario : Plus Haute Mer Astronomique associée à une surcote liée aux conditions météorologiques,
- Deuxième scenario : Plus Haute Mer Astronomique associée à une surcote liée à un débit de crue de période de retour 50ans.

Ces deux scenarii conduisent à un niveau extrême supérieur de 7,44m CM96 (SHOM) et 7,35 (6,73+0,62)m CM96 hors surélévation moyenne du niveau des mers.

Finally, au regard de l'analyse présentée précédemment, nous retiendrons les niveaux d'eau de projet suivants :

- Niveau extrême supérieur : +7,50m CM,
- Niveau Moyen : +4,0m CM,
- Niveau extrême inférieur : -0,5m CM.

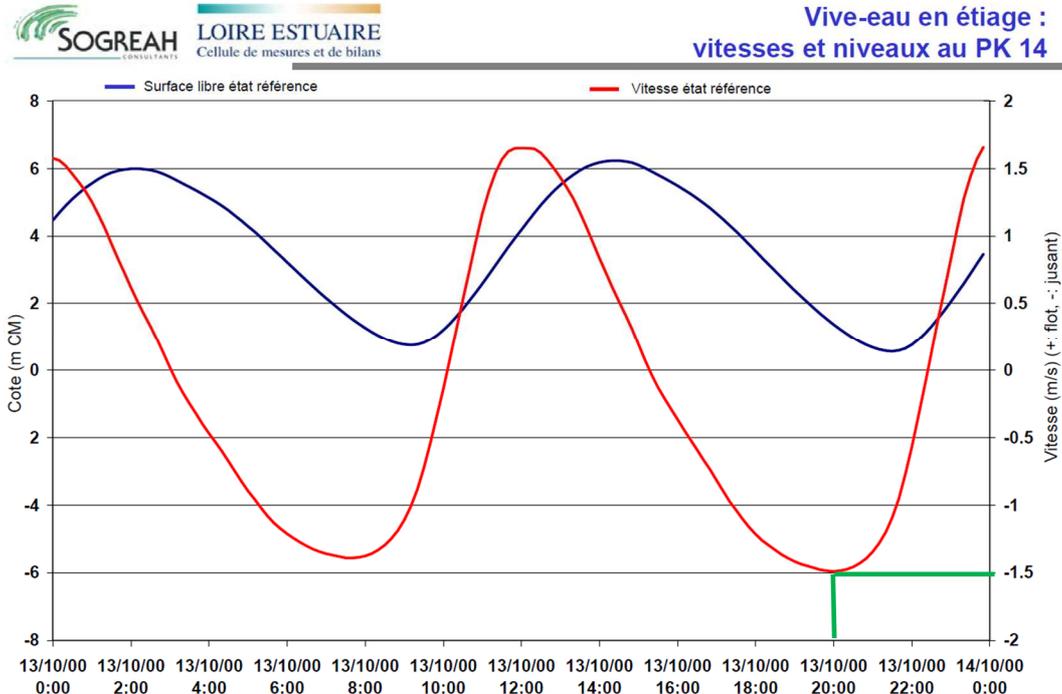
3.4. Courant

L'analyse des éléments présentés au §3.3.3 suivant une approche similaire conduit aux extrapolations suivantes :

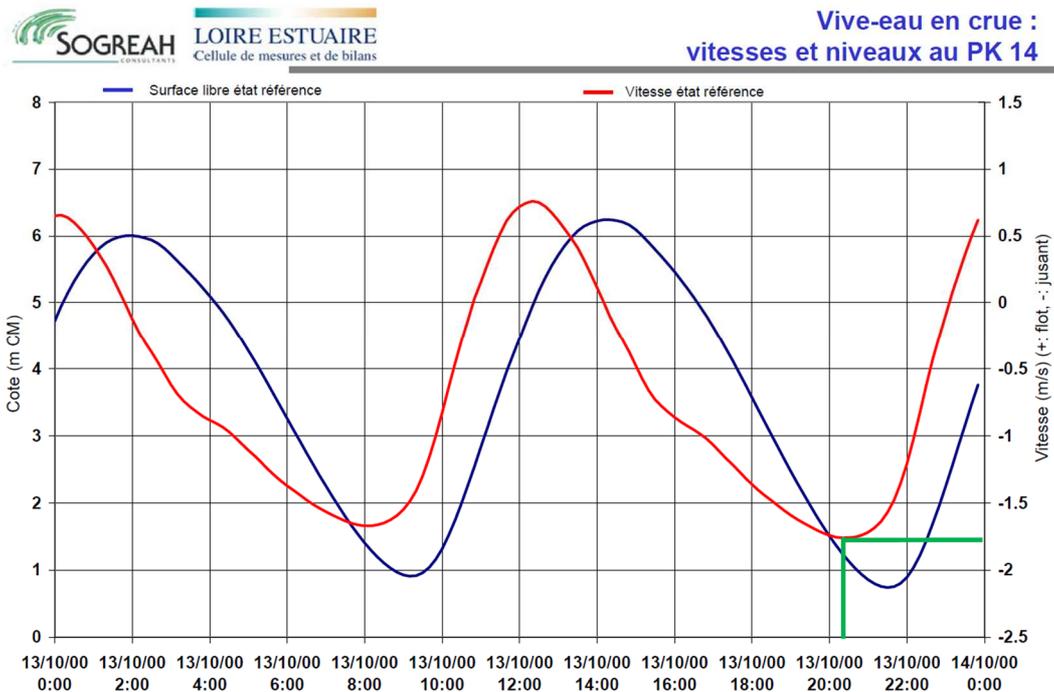
- Vitesse du courant au jusant pour un coefficient de marée de 95 et un débit de 200m³/s : -1,5m/s,
- Vitesse du courant au jusant pour un coefficient de marée de 95 et un débit de 4000m³/s : -1,8m/s,
- Augmentation du courant lié à un débit de 4000m³/s : $v_{PMVE+4000m^3/s} = -1,8+1,5 = -0,3m/s$,
- Extrapolation de l'augmentation du courant engendrée par un débit de 7100m³/s : $\Delta v_{débit7100m^3/s} = -0,53m/s$,
- Extrapolation de l'augmentation du courant engendrée par la marée PHMA : $\Delta v_{PHMA} = -\frac{6,73-5,95}{5,95} \times 1,5 = -0,2m/s$

Finalement nous obtenons la vitesse de courant extrême suivante correspondant à une la plus haute mer astronomique combiné à un débit de 7100m³/s :

$$V = v_{PMVE+4000m^3/s} + \Delta v_{débit\ 7100m^3/s} + \Delta v_{PHMA} = -1,8 - 0,53 - 0,2 = -2,53m/s$$



Vitesse du courant au point de sortie du modèle PK14 (Donges) pour un coefficient de 95 et un débit de 200m³/s



Vitesse du courant au point de sortie du modèle PK14 (Donges) pour un coefficient de 95 et un débit de 7100m³/s

Par ailleurs, le livret d'accueil au terminal roulier à proximité de Donges, établi par le Grand Port Maritime de Nantes/Saint Nazaire en 2010, fait état d'un courant maximal au jusant de l'ordre de 3m/s (6 Nœuds).

Prévision des courants à hauteur des postes				
Table permettant de prévoir les instants de renverse de courant par rapport aux étales de marées et les valeurs de vitesse maximale de courant.				
		Courant de flot Pleine Mer		Courant de jusant Basse Mer
Marées de mortes eaux				
En étiage	BM+00h45	1.6 nds	PM+01h10	2 nds
Débit moyen	BM+00h30	1.6 nds	PM+01h20	2.4 nds
Crue	BM	1.2 nds	PM+01h45	3 nds
Marées de vives eaux				
En étiage	BM+00h35	3.6 nds	PM+01h10	4 nds
Débit moyen	BM+00h40	3.4 nds	PM+01h30	4.4 nds
Crue	BM	3 nds	PM+01h20	6 nds

Extrait du livret d'accueil au terminal roulier du GPMNS destiné aux capitaines de navires

Nous retiendrons donc finalement les courants de projet suivants :

- Courant extrême maximal : 3,0m/s,
- Courant normal : 2,2m/s.

Le courant est pris en compte suivant une direction 280°N / 100°N ± 5°.

3.5. Vent

Selon l'Eurocode EN-1991-1-4-NA, Paimboeuf se situe en zone 3 correspondant à une vitesse de vent de référence de $v_{b,0}$ de 26m/s. Cette vitesse correspond à une vitesse de vent de période de retour de 50 ans, moyenné sur 10min pour une catégorie de terrain de type 2.

A partir de cette vitesse, nous déterminons la vitesse moyenne du vent v_m prenant en compte la catégorie de terrain de type 0 (mer et zone côtière) et le coefficient de rugosité associé.

Nous obtenons une vitesse de vent $v_{10min} = 31,46m/s$ correspondant à une période de retour de 50ans.

En ce qui concerne les vitesses de vent prises en compte pour le calcul des efforts d'amarrage, les recommandations ROSA 2000 indiquent que les vitesses de vent considérées doivent être moyennées sur 1minute pour les navires supérieurs à 15m et fournissent la formule de calcul suivante :

$$\frac{v(T_1)}{v(T_2)} = 1 + \sqrt{2 \ln \left(\frac{T_2}{5T_1} \right)} \times \frac{1}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}$$

Par application de la formule recommandée par le CETMEF, les vitesses de vent (moyennées sur 1 minute) suivantes sont obtenues pour différentes périodes de retour :

Période de retour	Vitesse de vent (amarrage) moyenné sur 1min
100 ans	38,0m/s
50 ans	36,3m/s
10 ans	31,6m/s
5 ans	29,3m/s

3.6. Séisme

Les zones de sismicité du territoire français sont définies au sein de l'article D.563-8-1 du Code de l'Environnement, introduit par le décret n°2010- 1255 du 22 Octobre 2010. Le projet se situe en zone de sismicité 3 (modérée) sur une échelle allant de 1 (très faible) à 5 (forte).

En l'absence de réglementation applicable aux pontons flottant et considérant le risque minime d'une défaillance de l'ouvrage pour les personnes ou l'activité économique, le séisme n'est pas pris en compte pour le dimensionnement des ouvrages.

3.7. Topographie, bathymétrie

La cote d'arase de l'estacade béton et du quai maçonné est de +6,9m CM96. Les fonds s'élèvent à environ +0,5m CM96 au pied de l'estacade et descendent jusqu'à -4,0m CM au droit du ponton.

3.8. Aspects géotechniques

Les reconnaissances géotechniques sur la zone d'étude ou à proximité immédiate sont les suivantes :

- Coupes géologiques réalisées en 1967 pour la construction d'un appontement à Paimboeuf correspondant aujourd'hui à l'appontement à l'Est du quai Boulay-Paty (voir coupe ci-dessous),
- Un sondage carotté et avec essais pressiométriques réalisé au droit du quai des messageries en Septembre 2015 par Geotec (cf annexe)
- 5 sondages destructifs réalisés sur le pourtour de la barge existante en Novembre 2015 par Geotec.

3.8.1. Caractéristiques mécaniques

Le rapport de mission G2-AVP réalisé par GEOTEC indique que les horizons identifiés au droit de la barge existante sont les suivants :

- Recouvrements sédimentaires (alluvions argileuses et sableuses pouvant comporter des galets),
- Granite plus ou moins fracturé et altéré.

Le rapport de mission G2-AVP propose de retenir les caractéristiques mécaniques des sols suivantes :

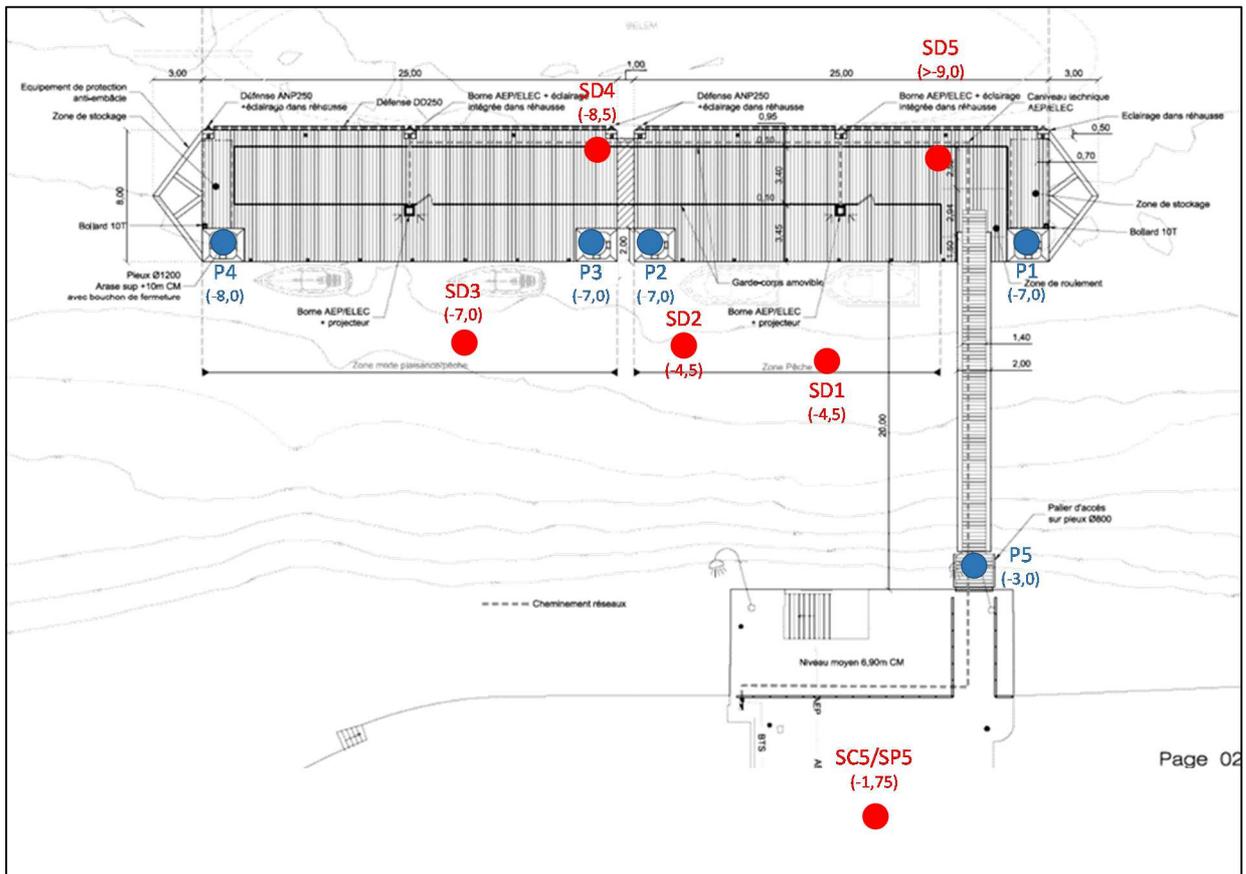
	pf* (MPa)	pl* (MPa)	E _m (MPa)	α	c'	φ'
Recouvrements sédimentaires/ Galets	0,3	0,5	5	1/2		
Granite	4,88	7	500	1/2	50	35

3.8.2. Coupe géotechnique

Dans le cadre de sa mission G2-AVP, GEOTEC a réalisé 5 sondages destructifs autour de la barge existante afin d'évaluer au mieux la cote réel des différents horizons au droit des futurs pieux.

La figure ci-dessous permet d'évaluer la cote du toit du substratum granitique :

- En rouge, les sondages et la cote du substratum identifiée (en CM),
- En bleu, les pieux et la cote de substratum évaluée (en CM).



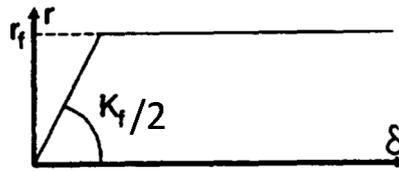
Implantation des sondages par rapport au futur ponton

La cote du terrain naturel est aux alentours de -4,0m CM pour les pieux de guidage du ponton. Au regard des courants agissant dans la zone et des possibilités de mouvements sédimentaire, le premier mètre de sable argileux et galets sera négligé. Cet horizon sera donc pris en compte à partir de -5,0m CM.

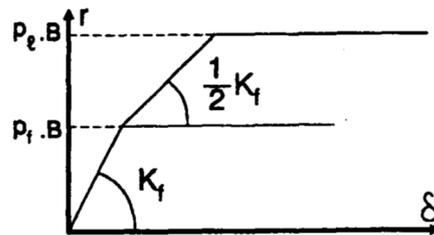
3.8.3. Paramètres d'interaction sol/structure

Le modèle de calcul utilisé est le modèle élasto-plastique du fascicule 62 titre V et repris dans les recommandations ROSA 2000.

Nous considérons que les actions horizontales (houle et vent) constituent des actions de courte durée. La loi d'interaction sol-structure correspondante est définie par la figure suivante :



Conformément aux recommandations ROSA 2000, nous considérons l'accostage comme une action de très courte durée, la loi d'interaction sol/structure correspondante est la suivante :



Le coefficient de réaction horizontale est déterminé par l'application des formules suivantes :

$$K_f = \frac{12.E_M}{\frac{4}{3} \cdot \frac{B_0}{B} \left(2,65 \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \alpha} \text{ pour } B \geq B_0 \qquad K_f = \frac{12.E_M}{\frac{4}{3} \cdot (2,65)^\alpha + \alpha} \text{ pour } B \leq B_0$$

Avec $B_0 \equiv \frac{12.E_M}{\frac{4}{3} \cdot (2,65)^\alpha + \alpha}$ pour $B < B_0$ et α un coefficient caractérisant le sol.

Les courbes d'interaction sont déterminées par le logiciel Albe, développé par le CEREMA, en fonction du pieu considéré, des paramètres de sol renseignés et du type de courbe choisi (longue durée, courte ou très courte durée).

4. Matériaux

4.1. Structure ponton

4.1.1.1. Béton

Suivant la norme NF EN 206-1 la classe de béton doit respecter les niveaux XS 3 pour les parties de la structure qui se trouvent au-dessus de la ligne d'eau => classe de résistance minimum 35/45,

On retient un béton de classe de résistance C35/45 pour l'ensemble de la structure.

Les caractéristiques suivantes seront retenues :

- $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 43 \text{ MPa}$
- $f_{ctm} = 0.3 \times f_{ck}^{2/3} = 3.2 \text{ MPa}$
- $E_{cm} = 22 \times \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} = 34 \text{ 000 MPa.}$

4.1.1.2. Aciers pour armatures

Les caractéristiques des différents types d'acier pour armatures sont les suivantes :

- Aciers HA type B500B → $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$, $E = 200 \text{ 000 MPa}$
- Aciers DX type B235C → $f_{yk} = 235 \text{ MPa}$, $E = 210 \text{ 000 MPa}$

Suivant l'Eurocode 2 partie 1 chapitre 4, l'enrobage minimum des armatures est de 40 mm + 10mm (béton XS3, classe structurale S3).

Suivant les recommandations de ROSA 2000 (série : OUVRAGE – Partie en béton des ouvrages - §8.1) les enrobages suivants sont à prévoir pour les ouvrages constamment immergés ou soumis aux embruns :

- 50mm ou plus,
- 70 mm pour les éléments de grande dimension.

Nous retenons un enrobage minimum de 50mm pour les différents éléments d'ouvrages.

4.2. Pieux métalliques

4.2.1. Caractéristiques des pieux

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	X42
Limite élastique (MPa)	415 MPa	275 MPa
Module de Young E (MPa)	210 000	
Masse volumique (kN/m³)	78,5 kN/m ³	

4.2.2. 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,
- 0.60 mm en zone de fiche, soit depuis le terrain naturel jusqu'à l'arase inférieure des pieux,
- 3.75 mm en zone de marnage et d'éclaboussures, soit de l'arase supérieure des pieux jusqu'à +0 m CM.

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 : 10,24kN/m³.

5.1.2. Surcharges piétonnes (Qp)

Les surcharges piétonnes suivantes seront prises en compte sur les ouvrages :

- Palier et passerelle d'accès : 500kg/m²,
- Pontons : 350kg/m².

5.1.3. Pression hydrostatique (Ph)

Nous considérons une pression hydrostatique correspondant à un franc-bord de 0,95m soit une profondeur d'eau de 2,0m.

5.1.4. Batillage (B_{at})

L'action du batillage sur les pontons et les pieux a été déterminée par une étude hydrodynamique de tenue à la mer des pontons jointe au dossier PRO.

L'étude de tenue à la mer des pontons considère une vitesse des navires dans l'estuaire pouvant atteindre 17 nœuds par rapport au fond ce qui conduit à des périodes pouvant atteindre 10s. Or, l'arrêté inter-préfectoral portant règlement particulier de police de la navigation intérieure sur l'itinéraire de la Loire limite la vitesse à 20km/h par rapport aux berges. Nous considérons donc que la vitesse normale des navires dans l'Estuaire est inférieure ou égale à 11 nœuds conduisant à des périodes d'onde de batillage de 6,0s.

5.1.5. Houle (H_{oule})

Les sollicitations globales engendrées par la houle sur les pontons et les pieux a été déterminée par une étude hydrodynamique de tenue à la mer des pontons jointe au dossier PRO.

Les sollicitations locales de la houle sur le ponton (pression hydrodynamique sur les voiles,...) seront déterminées par la prise en compte d'un niveau d'eau hydrostatique sur toute la hauteur du ponton) soit un surplus de pression hydrostatique de 10,24kPa à l'ELS.

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

5.1.6. Courant (C_{courant})

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

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

5.1.7. Vent (V_{vent})

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

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

5.1.8. Amarrage (A_m)

Les recommandations ROSA 2000 proposent deux approches pour la détermination des efforts d'amarrage :

- La méthode basée sur les conditions environnementales qui évalue l'action du courant, du vent et de la houle sur les navires et les efforts associés dans les aussières,
- La méthode basée sur la capacité des organes d'amarrage qui borne l'effort d'amarrage à la résistance propre des organes d'amarrage.

Nous analysons donc les efforts obtenus avec chacune des deux méthodes pour vérifier la cohérence du dimensionnement des organes d'amarrage avec les conditions environnementales et les caractéristiques des navires projet.

- Méthode basée sur les conditions environnementales

La prise en compte de l'approche statique équivalente, proposée par les recommandations ROSA 2000, pour le calcul des efforts d'amarrage conduit aux résultats suivants :

Ponton avec navire Belem amarré – Efforts d'amarrage ELU (y c ponton)	
Composante transversale (houle 10ans, courant extrême)	181,8 + 62,7 = 244,4kN
Composante longitudinale (houle 10ans, courant extrême)	286,2 + 121,7 = 407,9kN
Résultante globale (houle 10ans, courant extrême)	475,5kN

Cette analyse conduit à un effort d'amarrage de dimensionnement ELU de 475kN pour l'ensemble des deux pontons soit un effort de 237,5kN par pieux en considérant de manière conservatrice que cet effort est repris par deux pieux.

Conformément aux recommandations ROSA 2000, le calcul des efforts d'amarrage prend en compte les vitesses de vent moyennées :

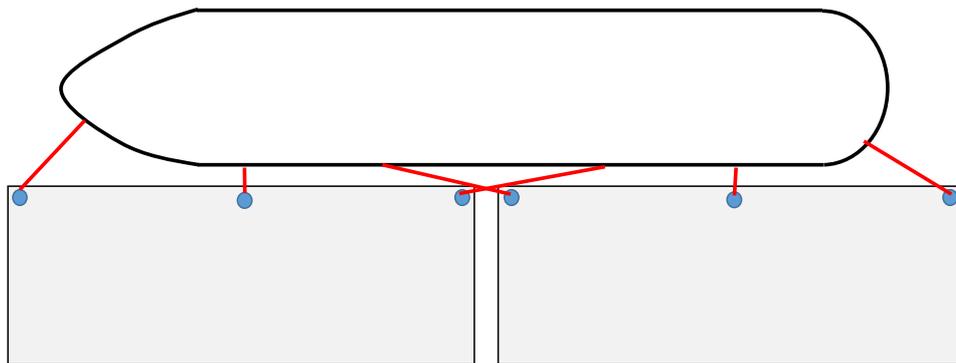
- sur 60s pour les navires de longueur > 25m
- sur 15s pour les navires de longueur < 25m

■ Méthode basée sur la résistance des organes d'amarrage

Les efforts d'amarrage sur ponton seront pris en compte sur la base des capacités nominales de résistance des organes d'amarrage soit :

- Pour les bittes doubles de 10T : 10T à l'ELS et 12,5T à l'ELU,
- Pour les bollards de 3T : 3T à l'ELS et 3,75T à l'ELU.

Afin de déterminer les sollicitations concomitantes des organes d'amarrage, nous considérons le principe d'amarrage suivant :



Plan de principe d'amarrage – ROSA 2000

Les efforts d'amarrage maximum sur un ponton sont donc les suivants :

- Effort transversal : un traversier d'une capacité de 12,5T à l'ELU,
- Effort longitudinal : une garde et une pointe pour une capacité totale de 25T à l'ELU.

En considérant que l'effort transversal est repris par les deux pieux de guidage mais que l'effort longitudinal est repris par un seul pieu dans l'hypothèse d'un défaut d'implantation significatif, nous obtenons un effort par F_{am} par pieu à l'ELU tel que :

$$F_{am} = \sqrt{25^2 + \left(\frac{12,5}{2}\right)^2} = 26,6T = 261kN$$

- Bilan

Finalemment nous retenons les efforts d'amarrage suivants :

- Pour les pieux :
 - Combinaison ELU, action principale : **261 kN/pieu**
 - Combinaison ELS, action principale : **206 kN/pieu**
- Pour le ponton :
 - Combinaison ELU, action principale : **125 kN/bittes 10T**
 - Combinaison ELS, action principale : **100 kN/bittes 10T**

5.1.9. Accostage (A_{cc})

En l'absence d'informations concernant les vitesses d'accostage des navires, nous proposons de considérer les hypothèses suivantes pour le Belem (navire projet) :

- Déplacement : 900t
- Vitesse d'accostage caractéristique : 0,6 nœud, soit environ 0.3 m/s
- Vitesse d'accostage de calcul : 1,0 nœud soit environ 0,5m/s

L'énergie d'accostage est calculée à partir de la formule suivante :

$$E = C_e \times C_M \times C_s \times C_c \times 1/2 \times m \times v^2$$

Avec :

m, déplacement du navire de projet

v, vitesse d'accostage du navire de projet

C_e , coefficient d'excentricité suivant ROSA 2000 pris égal à 0,3

C_M , coefficient de masse ajoutée pris égal à 1,33

C_s , coefficient d'affaissement pris égal à 1,0

C_c , coefficient d'appontement pris égal à 1,0

Nous obtenons les énergies d'accostage à absorber suivantes :

- Energie d'accostage ELU Fondamental : **45,0kN.m**
- Energie d'accostage ELS Caractéristique : **16,2kN.m**

5.1.10. Choc d'embâcle (E_m)

L'objectif de cette partie est d'estimer la force d'impact due à un embâcle. Pour cela, nous nous appuyons sur l'Eurocode 1 – ENV 1991-2-7, qui pour déterminer la force d'interaction résultante d'un choc sur une structure, propose l'approximation suivante (en supposant que la structure

est rigide et immobile et que l'objet qui produit le choc peut être modélisé par un barreau continu élastique équivalent) :

$$F = V \sqrt{k m}$$

Où :

V est la vitesse de l'objet au moment du choc (m/s)

k est la rigidité élastique équivalente de l'objet donné par $k = E A / L$ (kN/m)

m est la masse de l'objet qui produit le choc donnée par $m = \rho A L$

L est la longueur du barreau (m)

A est la surface de la section transversale (m²)

E est le module d'élasticité (kN/m²)

Cette estimation nécessite de prendre des hypothèses sur la forme de l'embâcle et sur sa nature. Ces hypothèses sont les suivantes :

- billes de bois de 12 m de long et de 0,7 m de diamètre ;
- masse volumique du bois : 1000 kg/m³ ;
- Module d'élasticité du bois : $E = 12106$ kN/m² (correspondant à du chêne).

La force d'impact peut être directement calculée à partir de ce qui précède.

En considérant une vitesse de courant de 2,2m/s (courant normal), et une bille de bois de 4,6T, la force d'impact est la suivante :

$$F = 92,9\text{kN}$$

5.2. Combinaisons d'actions

5.2.1. Concomitance des conditions environnementales

Les actions environnementales seront prises en compte en fonction des périodes de retour associées suivant la logique suivante :

Combinaisons ELU	Action de base	Courant	Vent	Houle	Niveau d'eau
	Courant	3,0m/s (extrême)	10 ans (31,6m/s)	10 ans (Hm0=1,6m)	PHMA PBMA
	Vent	2,2m/s (normal)	100 ans (38,0m/s)	100 ans (Hm0=1,65m)	PHMA PBMA
	Niveau d'eau supérieur	2,2m/s (normal)	10 ans (31,6m/s)	10 ans (Hm0=1,6m)	(100 ans) +7,60m CM
	Niveau d'eau inférieur	2,2m/s (normal)	10 ans (31,6m/s)	10 ans (Hm0=1,6m)	(100 ans) -0,50m CM

Combinaisons ELS	Action de base	Courant	Vent	Houle	Niveau d'eau
	Courant	2,2m/s (normal)	1 an (14,4m/s)	1 an (Hm0=1,2m)	PHMA PBMA
	Vent	0,75x2,2=1,65m/s	10 ans (31,6m/s)	10 ans (Hm0=1,6m)	PHMA PBMA
	Niveau d'eau supérieur	0,75x2,2=1,65m/s	1 an (14,4m/s)	1 an (Hm0=1,2m)	(100 ans) +7,60m CM
	Niveau d'eau inférieur	0,75x2,2=1,65m/s	1 an (14,4m/s)	1 an (Hm0=1,2m)	(100 ans) -0,50m CM

Le clapot étant directement lié à la vitesse du vent, nous considérons que la vitesse de vent pour une période de retour est à considérer de manière concomitante à la hauteur de houle de période de retour similaire.

5.2.2. ELS

Types de combinaisons ELS						
Actions	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						

5.2.3. ELU et ELA

Types de combinaisons ELU							
Actions	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	1,35×0,4 =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							

6. Vérifications

6.1. Béton armé

Les calculs seront réalisés conformément à l'Eurocode 2 « Calcul des structures en béton ».

■ Calculs ELU

Les contraintes limites pour les matériaux sont les suivantes :

	BETON	ARMATURES
ELU fondamental	$\sigma_b \leq f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1.5} = 23.3\text{MPa}$	$\sigma_{st} \leq f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.8\text{MPa}$
ELU accidentel	$\sigma_b \leq f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1.2} = 29.2\text{MPa}$	$\sigma_{st} \leq f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 500\text{MPa}$

Nota : les valeurs de calcul pour les aciers ont été déterminées avec un diagramme à palier horizontal.

■ Calculs ELS

Les critères de calcul sont les suivants dans l'EC2 :

	BETON	ARMATURES
ELS caractéristiques	$\sigma_b \leq 0.6 \times f_{ck} = 21\text{MPa}$	$\sigma_{st} \leq 0.8 \times f_{yk} = 400\text{MPa}$
ELS quasi-permanents	$\sigma_b \leq 0.45 \times f_{ck} = 15.75\text{MPa}$	-
ELS fréquents	-	$w \leq w_{max} = 0.2\text{mm}$

L'utilisation de la méthode forfaitaire de l'EC2 conduit à vérifier une contrainte limite dans les aciers $\sigma_{st} \leq 100w_{max} = 200\text{MPa}$.

Cette vérification n'est censée ne se faire qu'aux états limites quasi-permanents.

Par analogie à l'ancienne réglementation et conformément aux recommandations ROSA 2000, nous limiterons la valeur maximale de traction dans les aciers à 200 MPa pour l'ensemble des combinaisons ELS.

On retiendra donc le tableau suivant :

	BETON	ARMATURES
ELS caractéristiques	$\sigma_b \leq 0.6 \times f_{ck} = 21\text{MPa}$	$\sigma_{st} \leq \overline{\sigma_{st}} = 200\text{MPa}$
ELS quasi-permanents	$\sigma_b \leq 0.45 \times f_{ck} = 15.75\text{MPa}$	$\sigma_{st} \leq \overline{\sigma_{st}} = 200\text{MPa}$

6.2. Pieux métalliques

6.2.1. Vis-à-vis du comportement horizontal des pieux

Le logiciel Albe, utilisé pour le dimensionnement des pieux, permet la prise en compte d'un coefficient partiel γ_M sur le comportement du sol dans les calculs. Ces coefficients multiplicateurs (γ_M et $1/\gamma_M$ pour sol raide et sol mou) sont appliqués aux courbes d'interaction.

En l'absence de spécifications par le géotechnicien, nous ne prenons pas en compte de coefficient de comportement.

- Mobilisation du sol en butée

La mobilisation de la butée du sol devra vérifier que le coefficient de sécurité F =butée mobilisable/butée mobilisée vérifie l'inégalité suivante à l'ELU

$$F < \gamma_{R,e}$$

Avec,

$\gamma_{R,e}$: facteur partiel pour la résistance du sol en butée soit 1,4 suivant l'EN-1997-1

Du fait de l'absence de valeur définie au rapport géotechnique cette vérification ne sera pas réalisée à l'ELS.

Arrêt du battage : le critère à obtenir avant arrêt du battage sera donné dans la note de calcul des pieux de guidage, suite aux résultats obtenus par le calcul. Du fait des sollicitations appliquées aux pieux (horizontales et non verticales), ce critère sera une longueur d'ancrage dans le substratum.

- Déplacements

Le déplacement maximal horizontal des pieux sera limité à 25cm à l'ELS caractéristique.

6.2.2. Vérification de la portance

Pour des pieux battus métalliques, comme défini par la norme NF-P-94-262 on vérifie les inégalités suivantes :

- A l'ELU (NF-P-94-262 §9.2.1) :

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

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.

- A l'ELS (NF-P-94-262 §14.2)

$$F_d \leq \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}}$$

F_d : valeur de calcul à l'ELS de la charge axiale transmise par le pieu au terrain,

$R_{c;cr;k}$: valeur caractéristique de la charge de fluage de compression,

γ_{cr} : Facteur partiel sur la charge de fluage de compression soit 0,9 à l'ELS Caractéristique et 1,1 à l'ELS quasi-permanent.

La valeur caractéristique de la charge de fluage de compression est déterminée à partir de l'expression suivante :

$$R_{c;cr;k} = 0.5R_{b;k} + 0.7R_{s;k}$$

6.2.3. Stabilité interne des pieux

Nous appliquons la norme NF-EN-1993-1 – Eurocode 3 – Calcul des structures en acier.

- Stabilité vis-à-vis du cisaillement

On vérifiera l'inégalité suivante :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Avec :

V_{Ed} : Valeur de calcul de l'effort de cisaillement appliqué à la section,

$V_{c,Rd}$: Valeur de calcul de la résistance au cisaillement.

En l'absence de torsion la valeur de la résistance plastique au cisaillement est donnée par :

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

Avec :

A_v : Aire de cisaillement,

f_y : Limite de contrainte élastique admissible de l'acier,

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

■ Stabilité vis-à-vis de la flexion composée

Lorsqu'il existe un effort tranchant, il convient de prendre en compte son incidence sur le moment résistant :

- Lorsque l'effort tranchant est inférieur à la moitié de la résistance plastique au cisaillement, son effet sur le moment résistant peut être négligé,
- Dans le cas contraire, il convient de considérer un moment résistant réduit égal à la résistance de calcul de la section transversale déterminée en utilisant pour l'aire de cisaillement une limite d'élasticité réduite $(1 - q) f_y$.

On vérifiera l'inégalité suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Avec :

N_{Ed} : Valeur de calcul de l'effort normal,

$N_{c,Rd}$: Valeur de calcul de la résistance de la section transversale à la compression uniforme,

M_{Ed} : Valeur de calcul du moment fléchissant,

$M_{c,Rd}$: Valeur de calcul de la résistance à la flexion.

6.3. Stabilité hydrostatique du ponton

Nous vérifierons que sous charges d'exploitation, les critères de stabilité suivants, issus des arrêtés du 30 Décembre 2008 et du 16 Décembre 2010 applicables aux engins flottant stationnant sur les eaux intérieures, sont justifiés :

- Angle de gîte inférieur à 10° afin de garantir un franc-bord résiduel de 300mm,
- Rayon métacentrique ρ -a supérieur à 0,20m,
- Maintien de la flottabilité du ponton en cas d'invasion d'un compartiment.

Annexe : Efforts d'amarrage

Action du vent, du courant et de la houle sur le Loire Princesse		
Effort d'amarrage engendré par le vent		
Angle direction du vent/axe navire ($0 < \alpha < 180$)	α	20.00 °
Masse volumique de l'air	ρ_{air}	1.23 kg/m ³
Vitesse du vent extrême moyennée sur 1min	v	31.60 m/s
Coefficient de forme	C_v	1.30
Longueur du navire hors tout	L	84.13 m
Surface exposée transversale	AT	120.00 m ²
Surface exposée longitudinale	AL	650.00 m ²
Résultante de l'effort dû au vent	R	144.71 kN
Angle résultante/axe du navire	ϕ	63.10 °
Composante transversale de la résultante	F_T	129.06 kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	65.46 kN
Coefficient d'excentricité	K_{ex}	0.100
Moment résultant	M	1085.74 kN.m
Effort d'amarrage engendré par le courant		
Angle direction du courant/axe du navire	α	5.00 °
Masse volumique de l'eau	ρ_{eau}	1020.00 kg/m ³
Vitesse du courant	u	3.00 m/s
Coefficient de traînée hydrodynamique	C_d	1.20
Coefficient de frottement	C_r	0.004
Longueur du navire hors tout	L	84.13 m
Surface exposée transversale	A_T	12.24 m ²
Surface exposée longitudinale	A_L	67.30 m ²
Composante transversale de la résultante	F_T	32.31 kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	69.61 kN
Coefficient d'excentricité	K_{ex}	0.050
Moment résultant	M	135.92 kN.m
Effort d'amarrage engendré par la houle (dérive)		
Angle direction de houle/axe du navire	α	20.00 °
Masse volumique de l'eau	ρ_{eau}	1020.00 kg/m ³
Hauteur de houle	H	1.40 m
Longueur du navire	L	84.13 m
Largeur navire	B	10.80 m
Coefficient de flottaison	C_f	0.06
Coefficient de profondeur	C_p	2.00
Longueur projeté du navire	D	38.91 m
Composante transversale de la résultante	F_T	3.41 kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	9.36 kN
BILAN EFFORTS D'AMARRAGE - LOIRE PRINCESSE		
Coefficient d'application dynamique	α_{dyn}	1.25
Résultante composante transversale	$F_{T\text{tot}}$	205.96 kN
Résultante composante longitudinale	$F_{L\text{tot}}$	180.54 kN
Moment résultant	M_{tot}	1221.66 kN

Action du vent, du courant et de la houle sur le BELEM			
Effort d'amarrage engendré par le vent			
Angle direction du vent/axe navire ($0 < \alpha < 180$)	α	20.00	°
Masse volumique de l'air	ρ_{air}	1.23	kg/m3
Vitesse du vent extrême moyennée sur 1min	v	31.60	m/s
Coefficient de forme	C_v	1.30	
Longueur du navire hors tout	L	48.00	m
Surface exposée transversale	AT	75.00	m2
Surface exposée longitudinale	AL	260.00	m2
Résultante de l'effort dû au vent	R	76.84	kN
Angle résultante/axe du navire	ϕ	51.60	°
Composante transversale de la résultante	F_T	60.22	kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	47.73	kN
Coefficient d'excentricité	K_{ex}	0.100	
Moment résultant	M	289.06	kN.m
Effort d'amarrage engendré par le courant			
Angle direction du courant/axe du navire	α	5.00	°
Masse volumique de l'eau	ρ_{eau}	1020.00	kg/m3
Vitesse du courant	u	3.00	m/s
Coefficient de traînée hydrodynamique	C_d	1.20	
Coefficient de frottement	C_r	0.004	
Longueur du navire hors tout	L	48.00	m
Surface exposée transversale	A_T	30.80	m2
Surface exposée longitudinale	A_L	173.00	m2
Composante transversale de la résultante	F_T	83.06	kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	175.31	kN
Coefficient d'excentricité	K_{ex}	0.120	
Moment résultant	M	478.41	kN.m
Effort d'amarrage engendré par la houle (dérive)			
Angle direction de houle/axe du navire	α	20.00	°
Masse volumique de l'eau	ρ_{eau}	1020.00	kg/m3
Hauteur de houle	H	1.40	m
Longueur du navire	L	48.00	m
Largeur navire	B	8.80	m
Coefficient de flottaison	C_f	0.06	
Coefficient de profondeur	C_p	2.00	
Longueur projeté du navire	D	24.68	m
Composante transversale de la résultante	F_T	2.16	kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	5.93	kN
BILAN EFFORT D'AMARRAGE - BELEM			
Coefficient d'amplification dynamique	α_{dyn}	1.25	
Résultante composante transversale	F_{Ttot}	181.80	kN
Résultante composante longitudinale	F_{Ltot}	286.21	kN
Moment résultant	M_{tot}	767.47	kN

Action du vent, du courant et de la houle sur le ponton			
Effort d'amarrage engendré par le vent			
Angle direction du vent/axe navire ($0 < \alpha < 180$)	α	20.00	°
Masse volumique de l'air	ρ_{air}	1.23	kg/m ³
Vitesse du vent extrême moyennée sur 1min	v	31.60	m/s
Coefficient de forme	C_v	1.30	
Longueur du navire hors tout	L	84.13	m
Surface exposée transversale	AT	0.00	m ²
Surface exposée longitudinale	AL	0.00	m ²
Résultante de l'effort dû au vent	R	0.00	kN
Angle résultante/axe du navire	ϕ	20.00	°
Composante transversale de la résultante	F_T	0.00	kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	0.00	kN
Coefficient d'excentricité	K_{ex}	0.100	
Moment résultant	M	0.00	kN.m
Effort d'amarrage engendré par le courant			
Angle direction du courant/axe du navire	α	5.00	°
Masse volumique de l'eau	ρ_{eau}	1020.00	kg/m ³
Vitesse du courant	u	3.00	m/s
Coefficient de traînée hydrodynamique	C_d	1.20	
Coefficient de frottement	C_r	0.004	
Longueur du navire hors tout	L	50.00	m
Surface exposée transversale	A_T	16.00	m ²
Surface exposée longitudinale	A_L	100.00	m ²
Composante transversale de la résultante	F_T	48.01	kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	91.44	kN
Coefficient d'excentricité	K_{ex}	0.050	
Moment résultant	M	120.02	kN.m
Effort d'amarrage engendré par la houle (dérive)			
Angle direction de houle/axe du navire	α	20.00	°
Masse volumique de l'eau	ρ_{eau}	1020.00	kg/m ³
Hauteur de houle	H	1.40	m
Longueur du navire	L	50.00	m
Largeur navire	B	8.00	m
Coefficient de flottaison	C_f	0.06	
Coefficient de profondeur	C_p	2.00	
Longueur projeté du navire	D	24.61	m
Composante transversale de la résultante	F_T	2.15	kN
Composante longitudinale de la résultante	F_L	5.92	kN
BILAN EFFORTS D'AMARRAGE - PONTON			
Coefficient d'amplification dynamique	α_{dyn}	1.25	
Résultante composante transversale	$F_{T\text{tot}}$	62.70	kN
Résultante composante longitudinale	$F_{L\text{tot}}$	121.69	kN
Moment résultant	M_{tot}	120.02	kN



sce

Aménagement
& environnement

www.sce.fr

GROUPE KERAN