

Journées Techniques Ouvrages d'Art 2015



Étude des effets de l'interaction dynamique entre les portiques de levage et les structures de quai sous sollicitations sismiques

Denis Davi, Annette Lize, Bruno Vion
CEREMA DTer Méditerranée

Cadre général de l'étude

Étude sur la prise en compte du séisme sur les ouvrages portuaires
(*Convention Cerema / GPM Nantes St-Nazaire*)

- Tâche 1 : Analyse de risque et catégories d'importance
- Tâche 2 : Avis sur études de liquéfaction Arcadis / Géodynamique et structures
- Tâche 3 : Analyse paramétrique simplifiée des structures de quai courantes
- Tâche 4 : Étude de l'interaction dynamique portique / quai

Cadre général de l'étude

Étude sur la prise en compte du séisme sur les ouvrages portuaires
(*Convention Cerema / GPM Nantes St-Nazaire*)

- Tâche 1 : Analyse de risque et catégories d'importance
- Tâche 2 : Avis sur études de liquéfaction Arcadis / Géodynamique et structures
- Tâche 3 : Analyse paramétrique simplifiée des structures de quai courantes
- ➔ • Tâche 4 : Étude de l'interaction dynamique portique / quai

Tâche 4 : Étude des effets de l'interaction dynamique entre les portiques de levage et les structures de quai



Direction territoriale Méditerranée
PCI 57 : « Vulnérabilité des ouvrages de Génie Civil
aux aléas sismiques et hydrauliques »

Convention Cerema / GPM Nantes St-Nazaire
Étude sur la prise en compte du séisme
sur les ouvrages portuaires

**Tâche 4 : Étude des effets de l'interaction dynamique
entre les portiques de levage et les structures de quai**



Contexte législatif et références méthodologiques

- Pas d'arrêté spécifique relatif à la prise en compte du risque sismique sur les installations portuaires
- Néanmoins soumises au Décret général n°2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique
- Du point de vue du comportement structural, se situent à la frontière entre les ponts et les ouvrages géotechniques

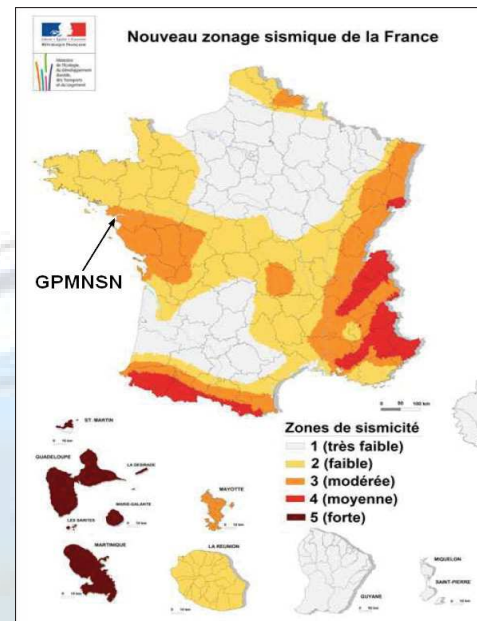
Contexte législatif et références méthodologiques

- Peuvent donc être analysées sur la base des prescriptions de l'Arrêté « Ponts » et de la nouvelle normalisation parasismique européenne Eurocode 8
- Références méthodologiques utilisables :
 - Guide Cerema : « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants », *spécifique pour l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ouvrages existants*
 - Guide Cerema : « Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8 », *relatif au calcul et au dimensionnement des ouvrages neufs*

... tous deux en phase finale d'édition

Présentation de la structure étudiée

- GPMNSN = 1^{er} port de la façade atlantique française
- 3 000 escales de navires marchands par an
- trafic extérieur annuel de l'ordre de 30 M de tonnes
- 2,7 milliards d'euros de valeur ajoutée et + de 25 000 emplois dans les régions du grand Ouest
- Désormais en zone de sismicité 3 (*modérée*), autrefois en zone 0 (*négligeable*)



Étude des effets de l'interaction dynamique entre les portiques de levage
et les structures de quai sous sollicitations sismiques_DD_AL_BV

Présentation de la structure étudiée

Structure du portique porte-conteneurs (1 236 t)

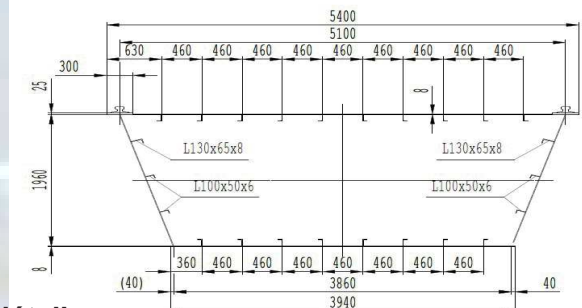
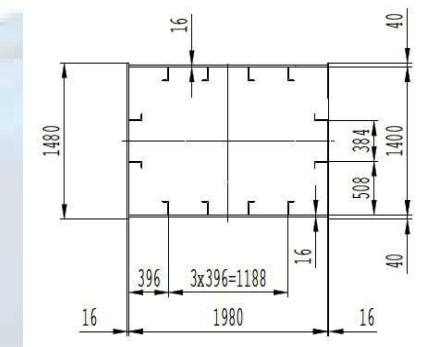
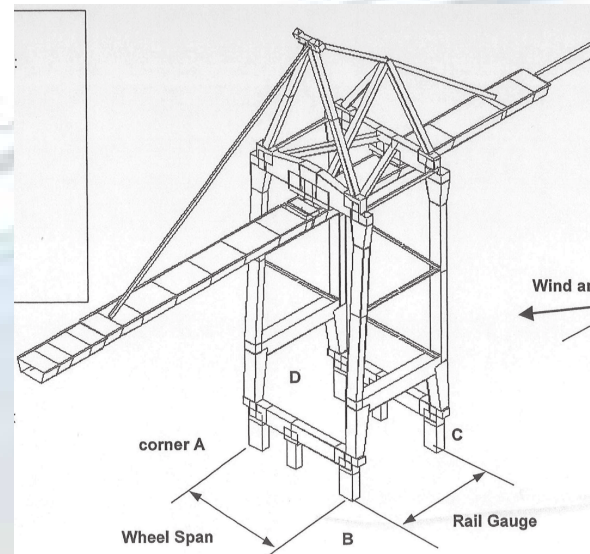
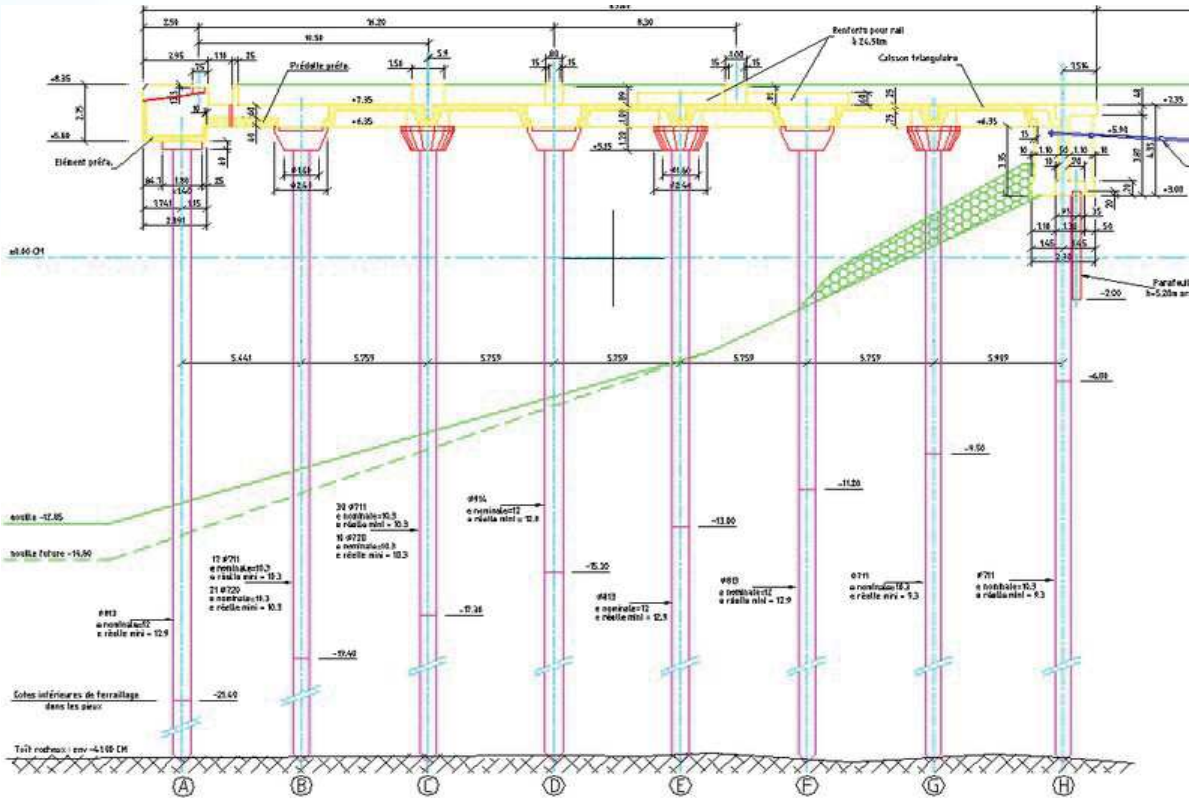


Schéma général du portique et plans de détail des sections des jambes (haut) et du bras (bas)
Plans Copyright Konecranes

Présentation de la structure étudiée

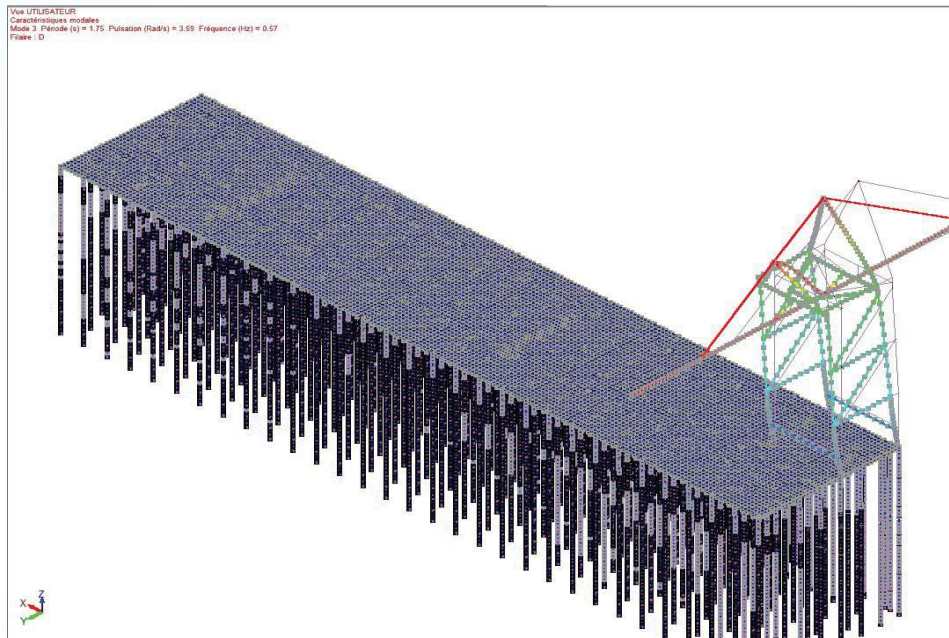
Structure du quai



- Dalle BA
- Pieux BA (ϕ 680 à ϕ 880)
+ tubage métal (*ep.* 13-15 mm
– 3 mm corrosion)
- Tirants arrière ($L = 20$ m)
 ϕ 85 - 3 mm corrosion

Étude des effets de l'interaction dynamique entre les portiques de levage
et les structures de quai sous sollicitations sismiques_DD_AL_BV

Modèle de calcul



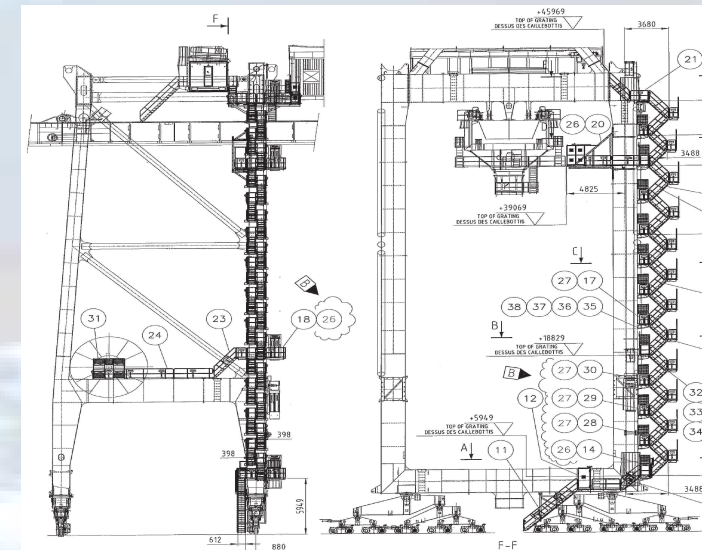
Modèle de calcul général Advance@

2 configurations testées :

- Portique centré
- Portique excentré (*dimensionnante*)

Simplifications admises :

- Simplification structure dalle
- Adhérence pieu/tube négligée
- $\rho_{\text{acier_portique}}$ majorée artificiellement pour intégrer poids équipements

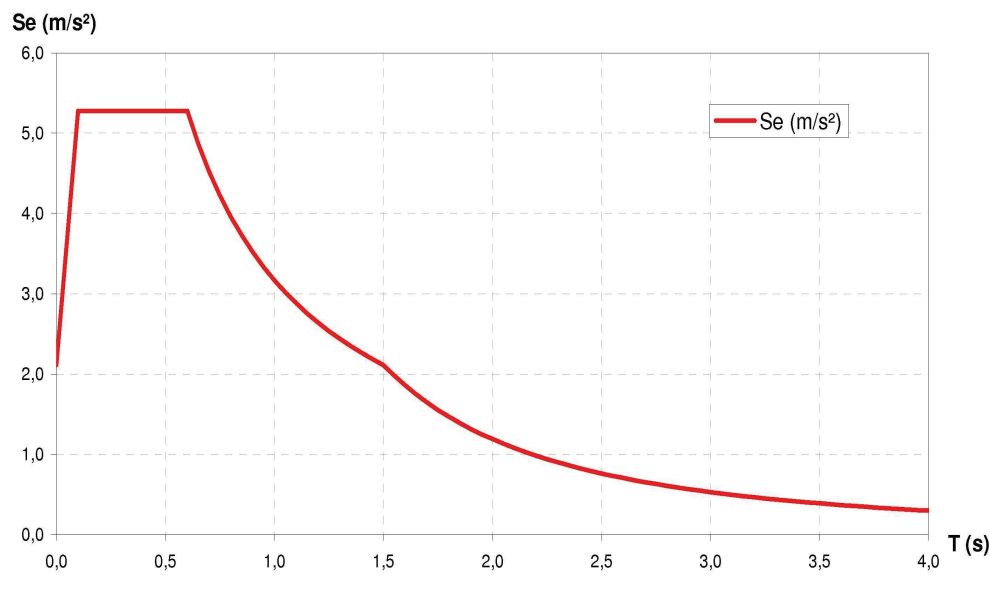


Équipements du portique
Plans Copyright Konecranes

Étude des effets de l'interaction dynamique entre les portiques de levage et les structures de quai sous sollicitations sismiques_DD_AL_BV

Méthode d'analyse retenue

Analyse spectrale multimodale



τ	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
1,0	1,60	0,10	0,60	1,50

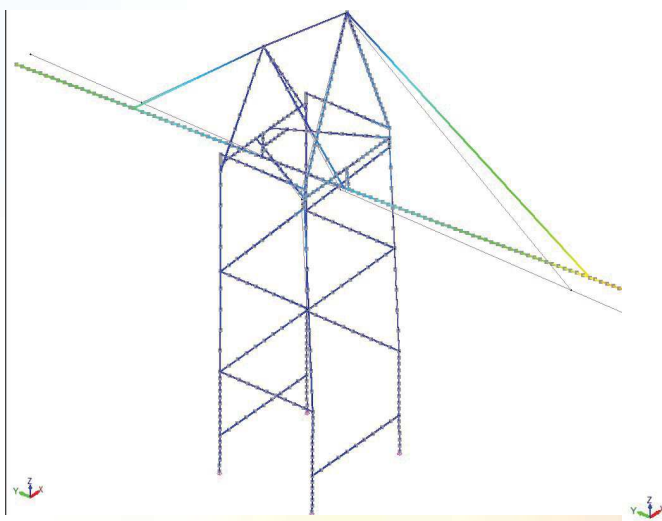
Se : Spectre élastique horizontal

Spectre de réponse élastique horizontal

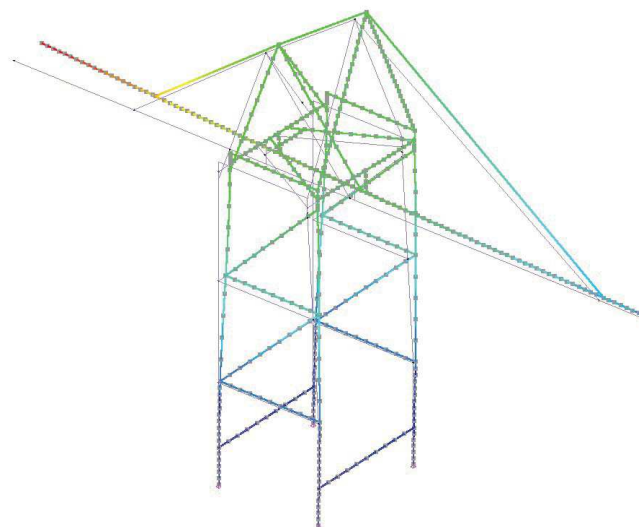
- Zone 3 (modérée) : $a_{gr} = 1,1 \text{ m/s}^2$
- Classe de sol D ($S=1,6$)
- Cat. III ($\gamma_I=1,2$; $a_g = 1,32 \text{ m/s}^2$)
- $q = 1$
- Amortissement : $\xi = 5 \%$

Méthode d'analyse retenue

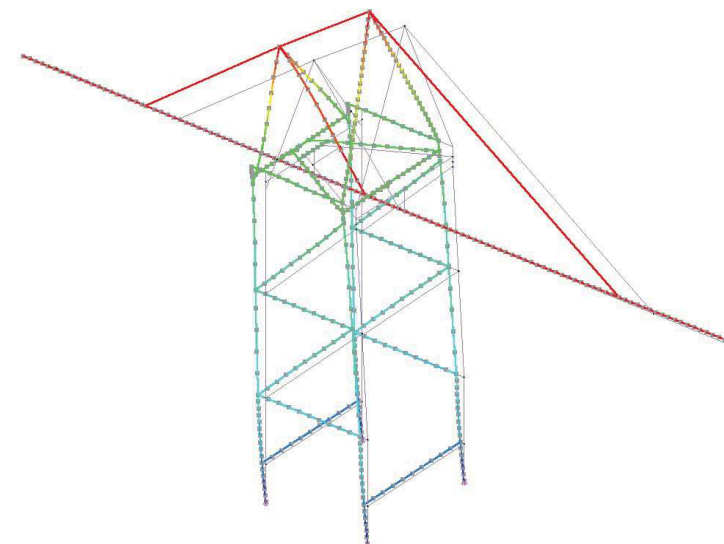
Réponse portique seul



Mode 1 : $T = 4,34 \text{ s}$
(rotation du bras)



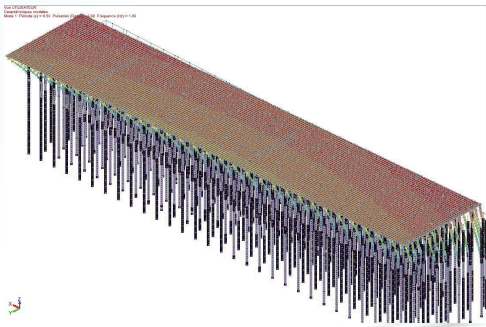
Mode 2 : $T = 2,40 \text{ s}$
(balancement selon X)



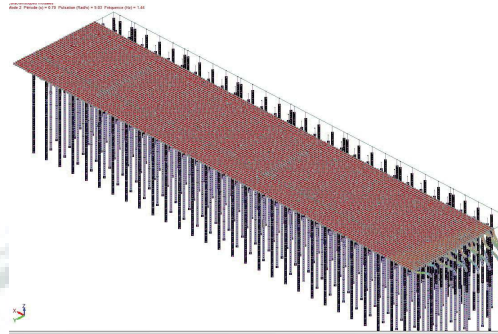
Mode 3 : $T = 1,68 \text{ s}$
(balancement selon Y)

Méthode d'analyse retenue

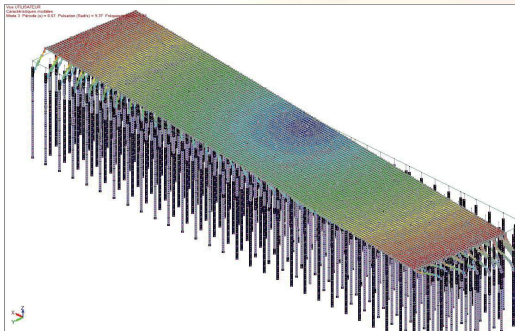
Réponse quai seul



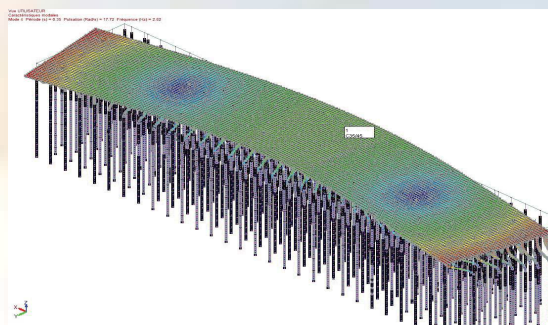
Mode 1 : $T = 0,94\ s$
(translation X)



Mode 2 : $T = 0,70\ s$
(translation Y)



Mode 3 : $T = 0,67\ s$
(torsion axe Z)



Mode 4 : $T = 0,35\ s$
(Déformation transversale dalle)

Limite de l'approche :

Analyse symétrique

- ➔ Modes transversaux valables pour un seul sens
- ➔ Mode de torsion erroné

Méthode d'analyse retenue

Réponse quai seul

➔ **Calcul en fourchette
(ou enveloppe)**

- Modèle raideur tirant
- Modèle raideur sol arrière en butée

Caractéristiques des modes propres du quai seul – Raideur tirants traction (solicitations « vers la mer »)										
N° mode	Pulsation (rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales						Commentaires
				Selon X		Selon Y		Selon Z		
				Tonnes	%	Tonnes	%	Tonnes	%	
1	6,68	0,94	1,06	41 184	73,9%	0	0,0%	0	0,0%	Translation X
2	9,03	0,70	1,44	0	0,0%	43 277	77,6%	0	0,0%	Translation Y
3	9,37	0,67	1,49	2 090	3,8%	4	0,0%	0	0,0%	Torsion d'axe Z
4	17,72	0,35	2,82	0	0,0%	17	0,0%	0	0,0%	Déformation transversale dalle
5	35,07	0,18	5,58	4	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	

Caractéristiques des modes propres du quai seul – Raideur sol butée (solicitations « vers la terre »)										
N° mode	Pulsation (rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales						Commentaires
				Selon X		Selon Y		Selon Z		
				Tonnes	%	Tonnes	%	Tonnes	%	
1	6,83	0,92	1,09	43 273	77,6%	0	0,0%	0	0,0%	Translation X
2	30,21	0,21	4,81	1	0,0%	50	0,1%	0	0,0%	Torsion d'axe Z
3	30,81	0,20	4,90	0	0,0%	42 759	76,7%	4	0,0%	Translation Y
4	32,16	0,20	5,12	0	0,0%	546	1,0%	0	0,0%	Déformation transversale dalle
5	35,82	0,18	5,70	3	0,0%	4	0,0%	0	0,0%	

	Raideur tirants (=> mer)	Raideur butée (=> terre)	Enveloppe
M_{max pieu_BA} (MNm)	4,20	3,64	4,20
V_{max pieu_BA} (MN)	1,99	1,71	1,99
F_{max tirant} (MN)	3,05	-	3,05

Méthode d'analyse retenue

Réponse quai + portique

- Périodes propres (portique excentré)

Périodes propres « quai + portique excentré » <i>Raideur tirants traction (solicitations « vers la mer »)</i>		
N° mode	Période	Écarts par rapport au quai seul
	(s)	(%)
5	0,95	1,00%
8	0,69	-0,84%
9	0,66	-1,58%
14	0,36	1,53%

Périodes propres « quai + portique excentré » <i>Raideur sol butée (solicitations « vers la terre »)</i>		
N° mode	Période	Écarts par rapport au quai seul
	(s)	(%)
5	0,96	4,35%
21	0,20	-3,84%
22	0,20	-1,93%
23	0,19	-2,75%

- Sollicitations (portique excentré)

	Raideur tirants (=> mer)	Raideur butée (=> terre)	Enveloppe	Écarts par rapport au quai seul (%)
M _{max pieu_BA} (MNm)	4,18	3,77	4,18	-0,50%
V _{max pieu_BA} (MN)	1,99	1,78	1,99	-0,15%
F _{max tirant} (MN)	3,36	-	3,36	10,16%

- Sollicitations (portique centré)

	Raideur tirants (=> mer)	Raideur butée (=> terre)	Enveloppe	Écarts par rapport au quai seul (%)
M _{max pieu_BA} (MNm)	4,13	3,61	4,13	-1,71%
V _{max pieu_BA} (MN)	1,96	1,69	1,96	-1,66%
F _{max tirant} (MN)	2,89	-	2,89	-5,25%

Principaux résultats (configuration de référence)

- Écarts de l'ordre de -3 % à +4 % sur caractéristiques modales (*périodes propres*)
- Écarts de l'ordre de -5 % à +10 % sur valeurs des sollicitations (*pieux et tirants*)
- Relativement négligeable % niveau de précision analyses sismiques (*nombreuses incertitudes qualification aléa + évaluation structurale*)
- Écarts les plus importants sont obtenus dans les tirants (*< 2% dans les pieux*)
- Sollicitations les plus importantes obtenues pour système avec :
 - raideur transversale imposée par les tirants en traction (vers la mer)
 - position portique excentré

Principaux résultats (configuration de référence)

- Présence du portique favorable dans certains cas :

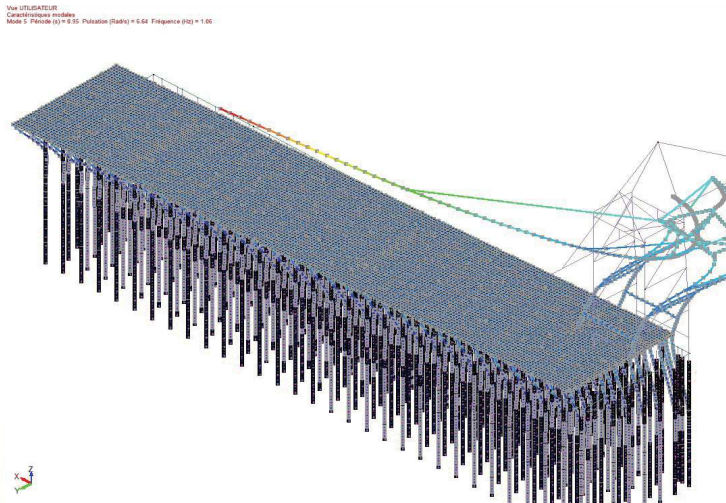


Illustration de l'effet potentiellement favorable
lié à la présence du portique (1^{er} mode)

➔ **Modélisation simplifiée du portique par « masse rigide »
systématiquement plus défavorable que modèle complet**

Étude paramétrique

Configurations testées

- marée basse (0 m) / marée haute (+6 m)
- sol rocheux très raide / sol marécageux très mou
- pieux avec / sans tubage métallique
- Calcul en section brute / en section fissurée des pieux

Résultats (écarts « quai seul » / « quai + portique »)

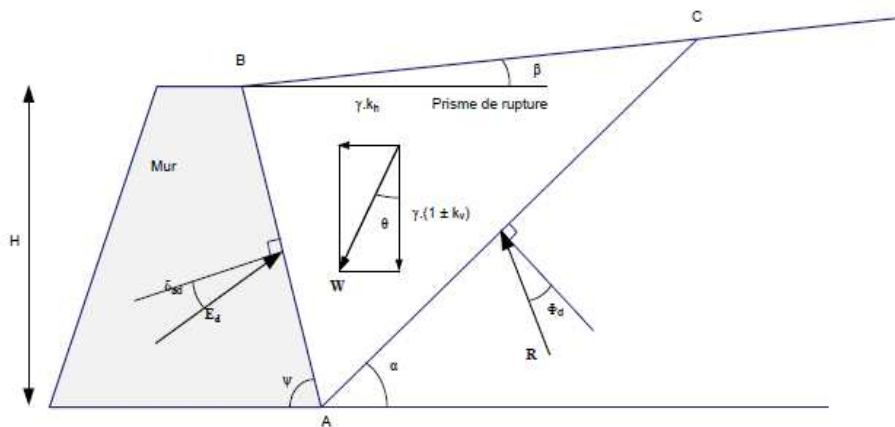
- -6 à +3 % sur périodes des principaux modes propres
- -4 à 0 % sur sollicitations dans les pieux
- +3 à +11 % sur sollicitations dans les tirants

➔ **Reste donc relativement négligeable**

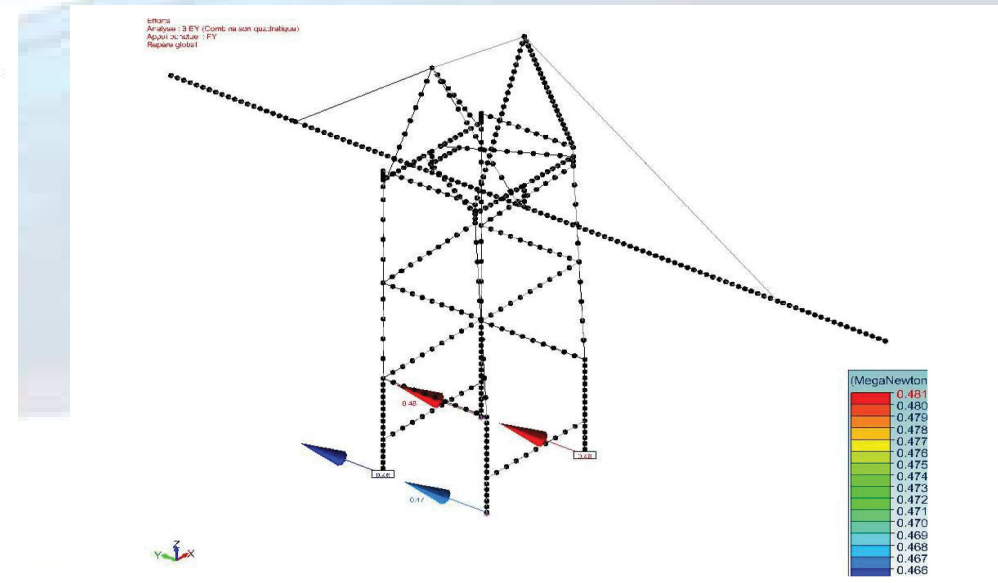
Autres types de structures

Quai de type murs de soutènement

- Poussée dynamique des terres selon Mononobe-Okabe
- Effort portique basé sur modèle portique seul (*quai rigide*)



Poussée = 3 MN à 12 MN
pour H = 4 à 8 m



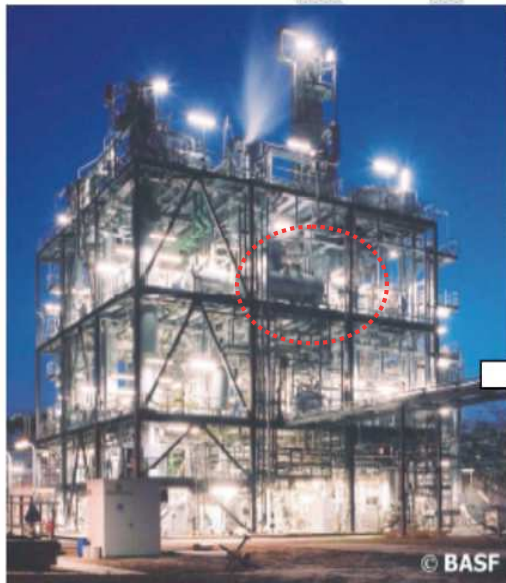
Effort total $F_H = 2 \text{ MN}$

(soit écart compris entre 67 et 17%)

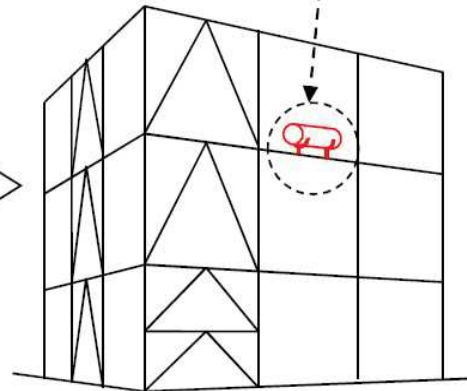
Autres types de structures

Cas général des structures supports

(source : Guide AFPS en phase de rédaction « ICPE - Structures support »)



Le réservoir horizontal est supporté par une structure support intermédiaire posée sur l'ossature principale du bâtiment



Il est admis que les équipements peuvent être considérés découplés si :

- $R_m < 0,01$
- $R_m < 0,1$ et $R_f > 1,25$
- $R_m < 0,1$ et $R_f < 0,80$

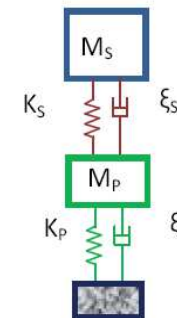


Figure 1-2 : Exemple de structure industrielle composée d'équipements et de structures support (Photo : [R22])

Figure 3-2: Schématisation simplifiée des interactions « structure principale/ structure support »

Autres types de structures

Cas général des structures supports

(source : Guide AFPS en phase de rédaction « ICPE - Structures support »)

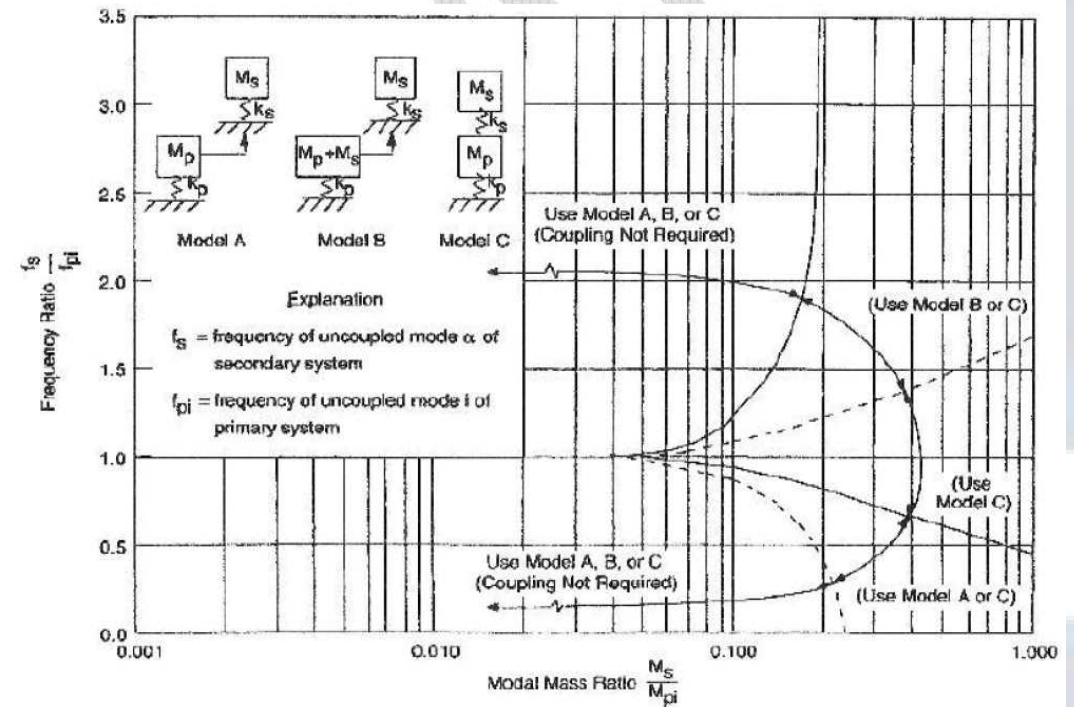
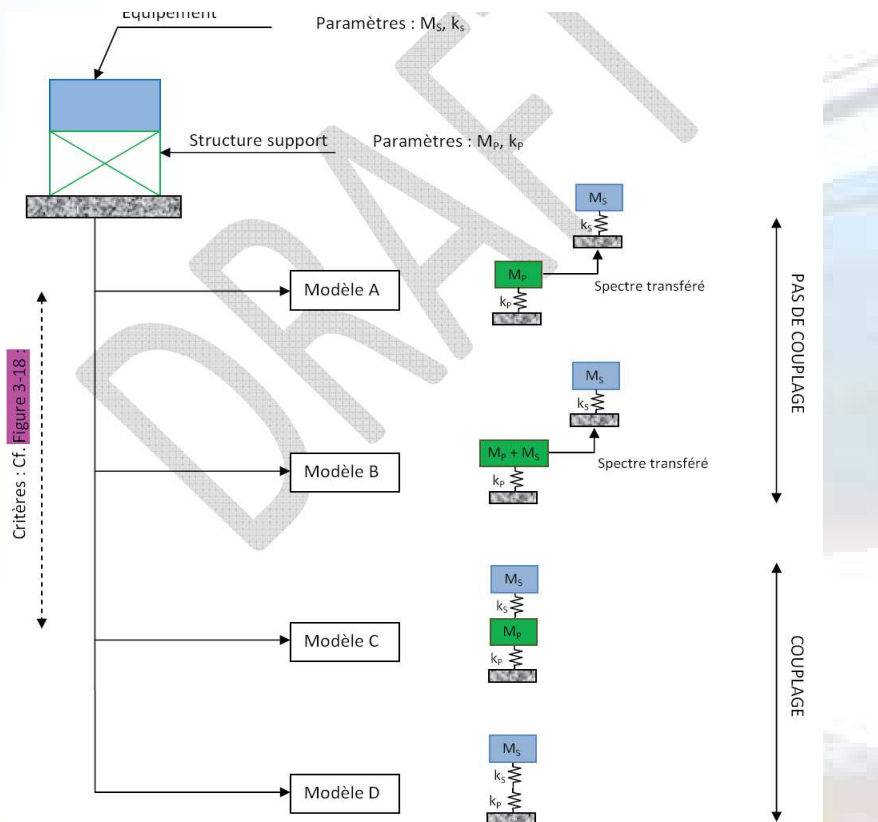


Figure 3-18 : Modélisation de la structure support et de l'équipement lorsque la réponse de chaque structure est dominée par un mode principal (référence [R6]).

Merci de votre attention



Denis DAVI

Cerema / Direction territoriale Méditerranée

PCI « Vulnérabilité des ouvrages de Génie Civil
aux aléas sismiques et hydrauliques »

04 42 24 76 81 ou 04 72 14 32 25

denis.davi@cerema.fr