



Journée parrainée par



*Journée technique et scientifique du CFMS,  
coorganisée avec la FNTP - 16 septembre 2021  
Amphi Auguste Brûlé, FNTP, 3 rue de Berri, Paris*

## **Ouvrages Portuaires**

**Réfection et rempiètement des quais en palplanches ;  
prise en compte du quai existant dans la conception et  
réduction de l'empreinte carbone du projet**

Marc Gratier de Saint Louis : ArcelorMittal



# Contenu

- Introduction
- **TECHNIP FMC - 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola**
  - Présentation du projet
  - 1<sup>ère</sup> solution envisagée : nouvel écran HZ680M-12/ AZ18-700
  - Solution proposée et retenue : écran accolé en PU28
- La fonction INA de RIDO 4.24
  - Calcul RIDO pour la réfection Dande Spoolbase
  - Avantage de cette fonction pour les rempiètements de quai en palplanches
  - Extrait INA de la notice RIDO
- Conclusions

# Introduction

Dans le contexte de l'augmentation constante des caractéristiques des navires de commerce, de croisières, de pêche, de loisirs, en particulier l'accroissement de leur tirant d'eau ainsi que des sollicitations des engins d'exploitation portuaire, les nouvelles structure portuaires font la plupart du temps appel à des solutions techniques plus grandes, plus lourdes avec une empreinte carbone toujours croissante.

La réfection et l'adaptation des quais anciens en palplanches n'échappe pas à cette règle.

La conception de ces projets se doit de proposer des solutions limitant l'empreinte carbone et intégrant dès la conception le recyclages des matériaux à la fin de vie de ces nouvelles infrastructures.

# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

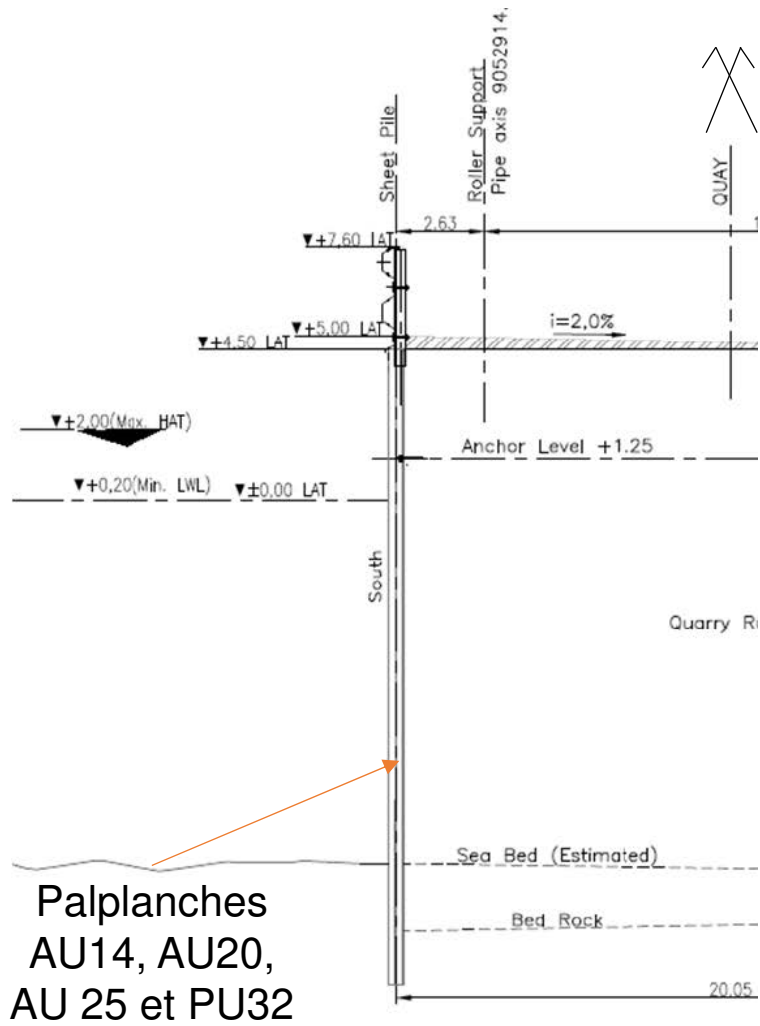


Site de production de canalisations rigides pour l'installation en continu de dispositifs de production de pétrole et de gaz en eaux profondes.



# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

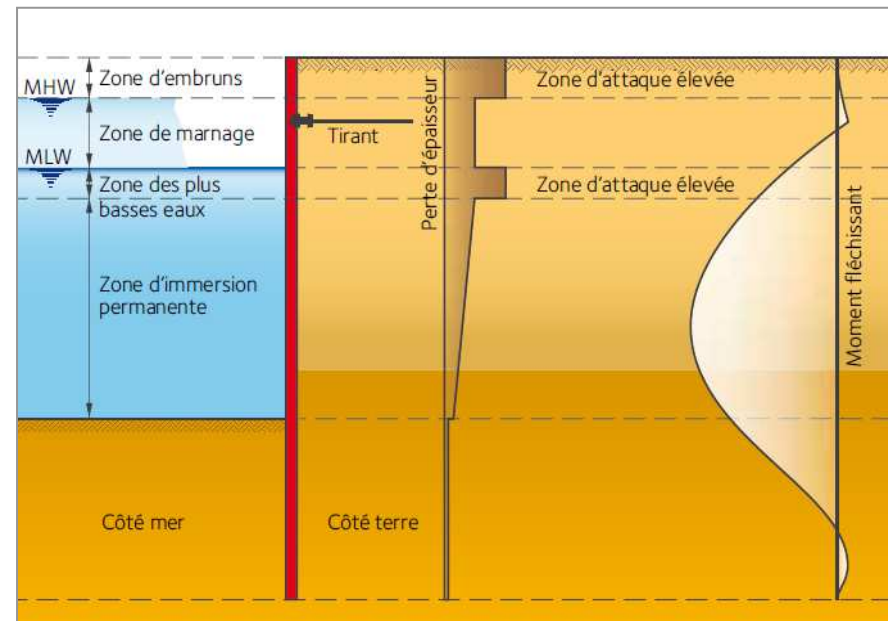
Digue existante construite en 2000 - 2005



- Climat tropical
- Mer chaude
- Forte houle



- Corrosion importante dans les zones d'attaques élevées
- Corrosion décuplée par l'effet abrasif de la houle





# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

## Constats en 2015 / 2016



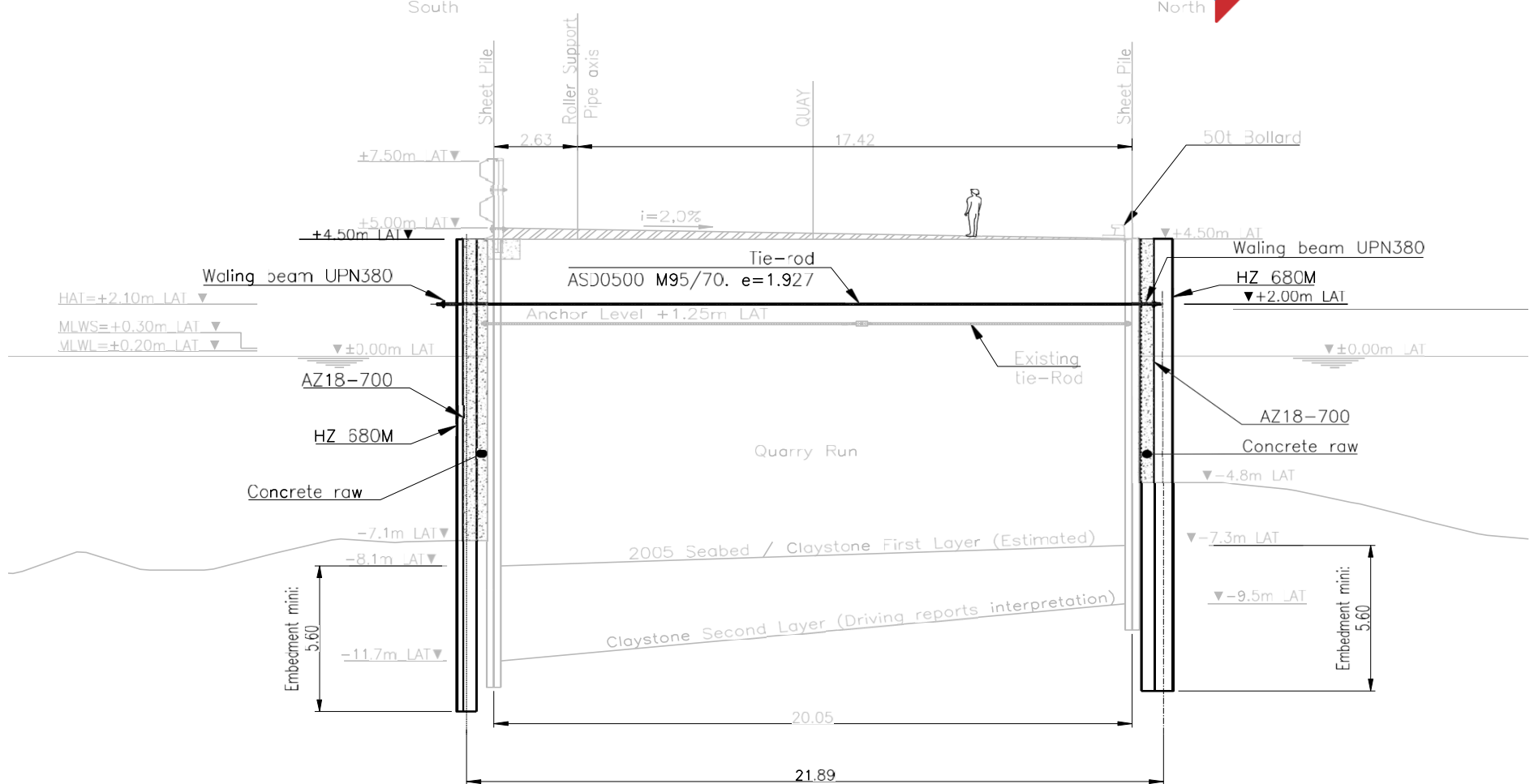
Profil de la jetée		1B-1	1B-2	2A-1	2A-2	3A-1	1A-4	1A-3	1B-31a	1B-31b	1B-32	1B-4	1B-5	1A-2	1A-1
KP		610 to 595	595 to 575	575 to 545	545 to 520	520 to 490	490 to 480	480 to 470	470 to 460	460 to 450	450 to 425	425 to 415	415 to 400	400 to 370	370 to 260
Palplanches		PU 32							AU 25				AU 20	AU 14	
ép. d'acier init. [mm]		19,5							14,5				12	10	
Residual flange thickness tf 2016 (mm)															
Nord	TH	16,77	17,87	17,40	16,56	16,26	16,70	17,55	12,95	12,34	12,98	12,39	11,72	8,30	5,62
Sud	H	17,29	17,67	17,76	16,56	16,95	17,51	17,35	12,50	9,12	11,20	11,56	11,71	8,30	5,62
	perte en %	14%	9%	11%	15%	17%	14%	11%	14%	37%	23%	20%	19%	31%	44%

- La corrosion amplifiée par la forte houle a fortement endommagé les palplanches de faibles épaisseurs d'acier (AU14 et AU20)
- Des perforations apparaissent



# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

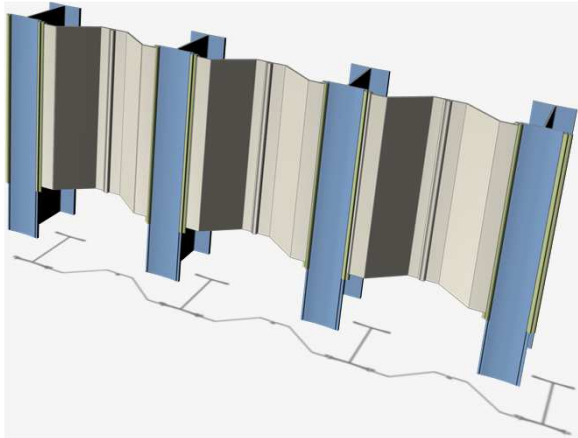
1<sup>ère</sup> solution envisagée 2015 / 2016 sans prendre en compte l'existant



Mise en place d'un niveau rideau combiné HZ680M / AZ18-700 à l'avant des rideaux existants avec un niveau dispositif d'ancrage sans prendre en compte l'existant

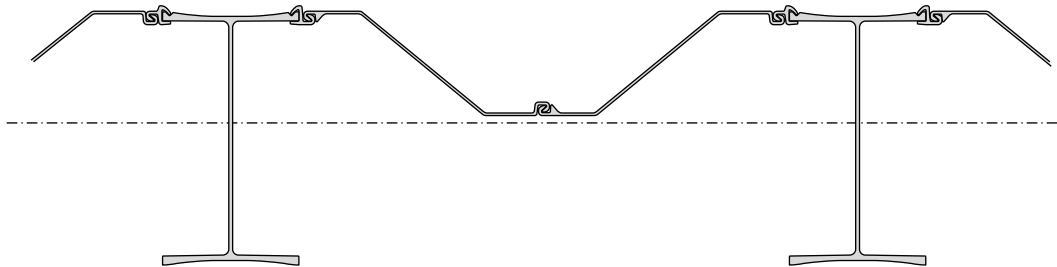
# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

1<sup>ère</sup> solution envisagée 2015 / 2016 :



	$I_y$ (cm <sup>4</sup> /m)	$W_{el}^*$ (cm <sup>3</sup> /m)	$G_{100\%}$ (kg/m <sup>2</sup> )
HZ 680M LT-12/AZ 18-700	160 940	4 730	226
PU32	72 370	3 200	190
AU25	56 240	2 500	147
AU20	44 440	2 000	129

## Ajout à l'existant avec l'existant



- 47,8 à 236 % plus résistant
- 19 à 75 % plus lourd
- Épaisseur des AZ18-700 : s=9,5 mm
- Fiche plus importante dans le bed-rock

Cette solution présente une capacité résistante nettement supérieure à la solution existante avec une augmentation sensible de son épaisseur d'acier sacrificielle par corrosion. Par contre l'épaisseur réduites des palplanches intermédiaires n'améliore pas la sensibilité de la jetée à la perforation (corrosion + abrasion) et sa mise en œuvre sera délicate pour ses conditions de battage difficile (fiche plus importante dans le bed-rock très résistant)!

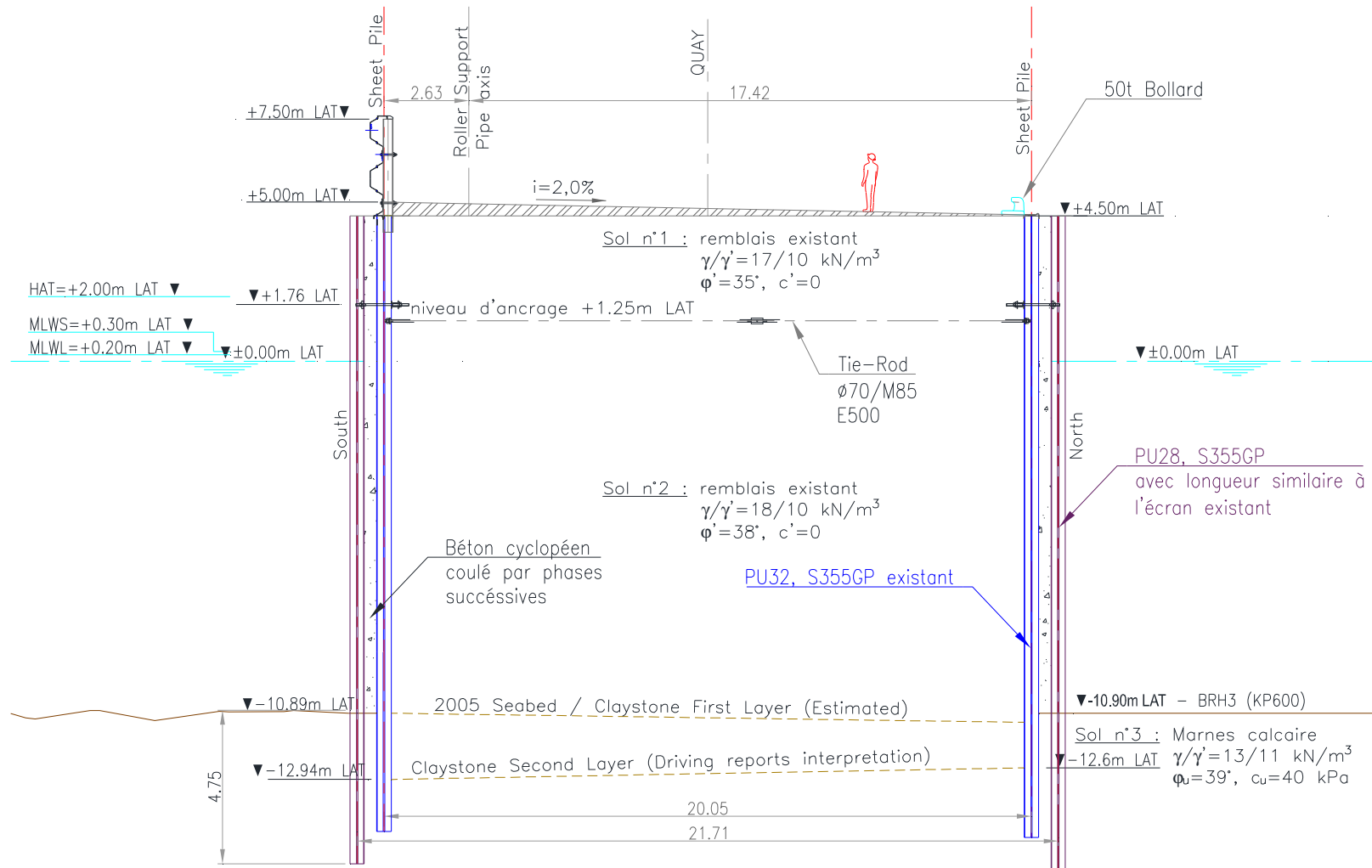


# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

Solution proposée et retenue :



Nouvel écran en PU28 accolé à l'écran existant



# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

Solution proposée et retenue :



Nouvel écran en PU28 accolé à l'écran existant



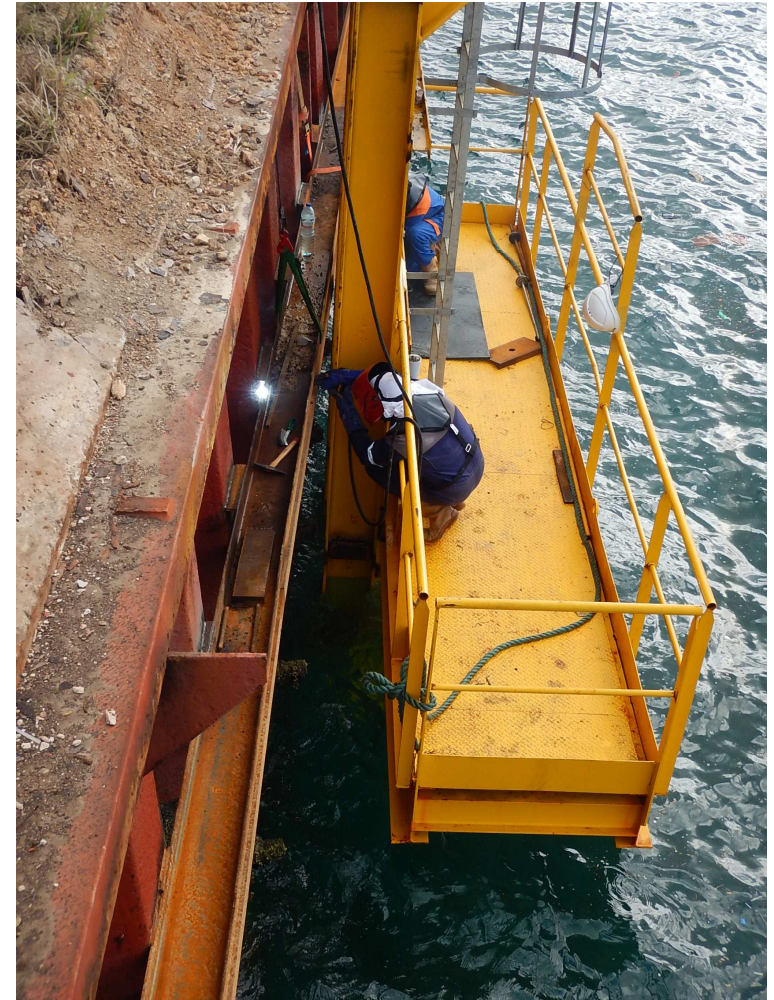


# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

Solution proposée et retenue :



Nouvel écran en PU28 accolé à l'écran existant



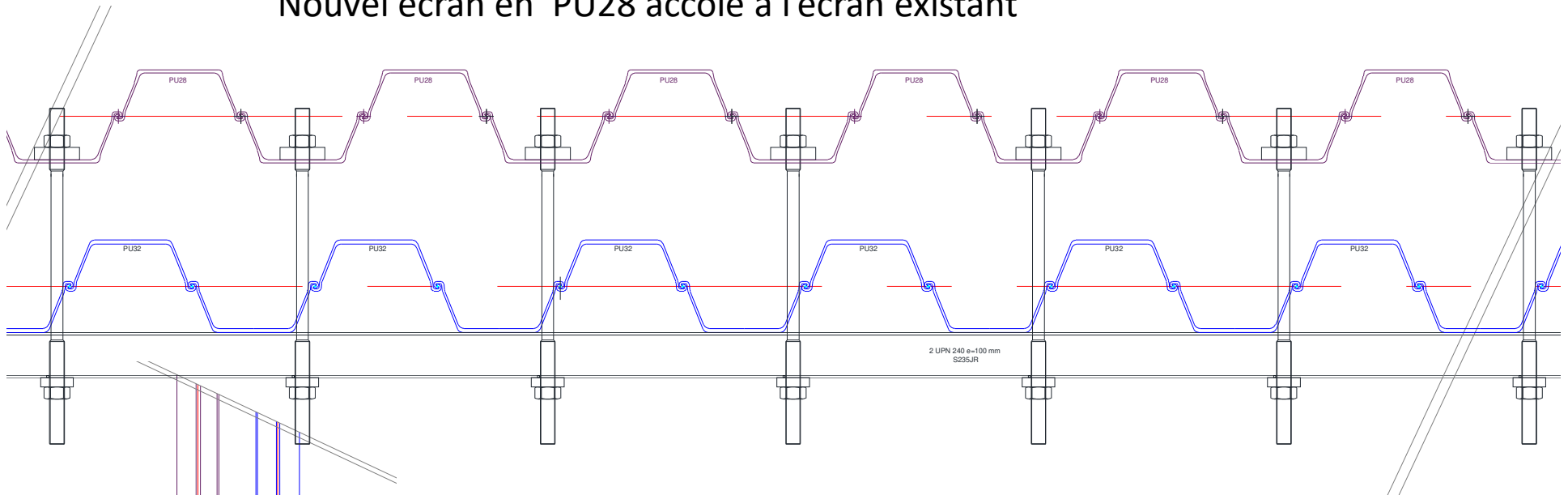
La mise en œuvre du nouvel écran accolé par voie maritime permet un maintien partiel de l'exploitation de la jetée

# 2016 – Réfection de la jetée Dande Spoolbase en Angola

Solution proposée et retenue :



Nouvel écran en PU28 accolé à l'écran existant



	$I_y$ (cm <sup>4</sup> /m)	$W_{el}^*$ (cm <sup>3</sup> /m)	G (kg/m <sup>2</sup> )	Variation %
PU28	64 460	2 840	170	-25%
HZ 680M LT-12/AZ 18-700	160 940	4 730	226	

# La fonction INA de RIDO 4.24C



- Pour ce projet, RIDO a permis ;
  - de prendre en compte l'état du rideau existant de sa réalisation jusqu'au moment de sa réfection et/ou rempiètement avec sont état réel de corrosion,
  - avec la fonction INA, l'ajout à l'écran existant de l'inertie et la rigidité du nouveau rideau PU28 accolé,
  - de différencier les sollicitations du nouvel écran et de l'écran existant,
  - prendre en compte l'évolution des caractéristiques et estimer résistance et déformée par l'action de la corrosion,
  
- Pour des rempiètements de plusieurs mètres de profondeur, il est possible d'avoir recours à des profils communs, type U ou Z, dont la mise en œuvre est bien maitrisée, compte tenu de prise en compte des parties souvent peu corrodées et parfaitement fonctionnelles (zone d'immersion permanente et fiche) de l'écran existant.

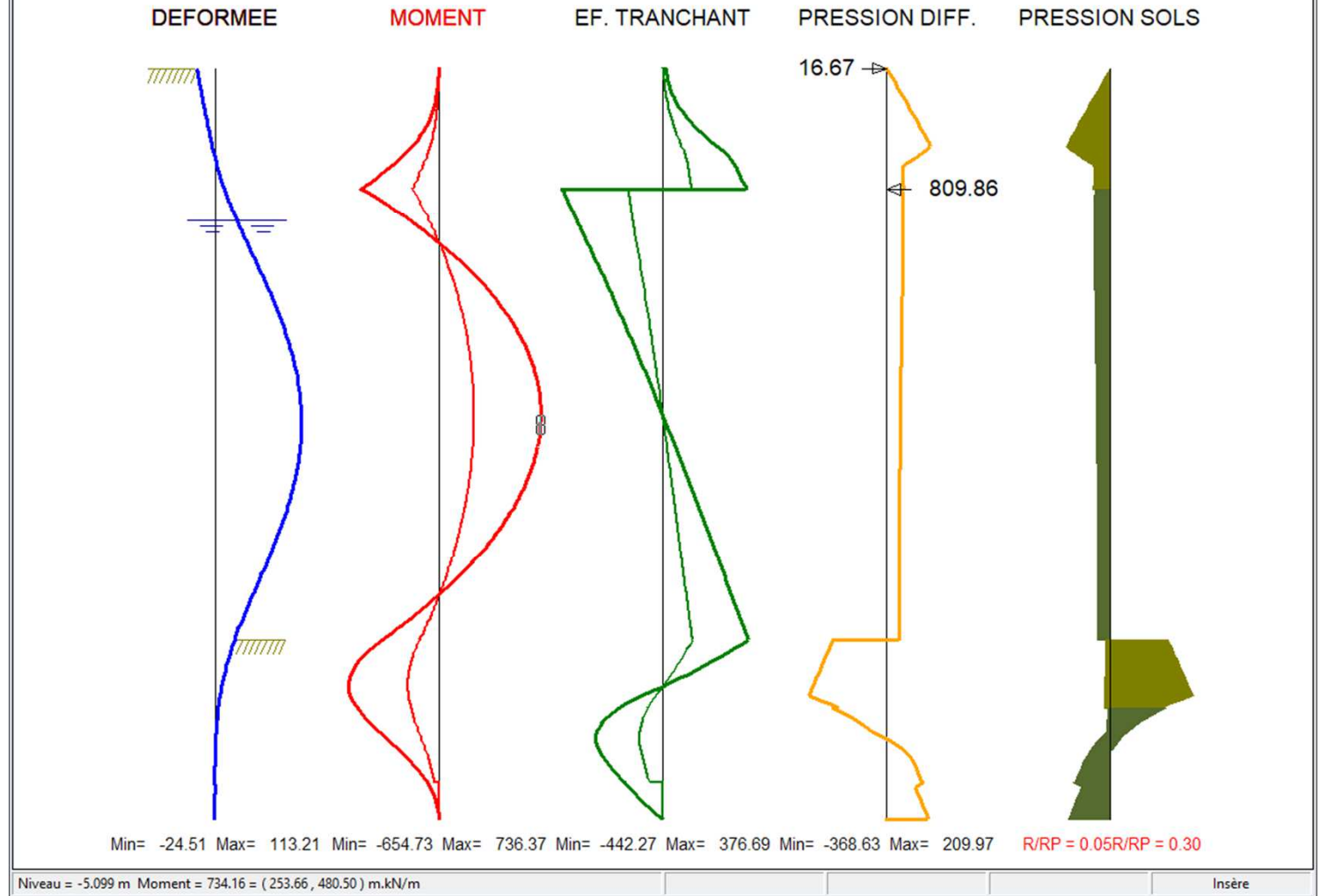


# La fonction INA de RIDO 4.24C



Dande Spool Base - KP610 esixtant - TECHNIP - KP610r.RIO : 16/09/21  
 Graphes de la Phase de calcul No 13/17 [Phase de travaux No 7] (Test aux états limites MISS)  
 Phase 11: ELU GEO - 1.35 sur Q et Pa et 1/1.4 sur Pp

Résultats  
 graphique RIDO



# La fonction INA de RIDO 4.24C



## INA : AJOUT D'UNE INERTIE (VOILE accolé)

**INA(num) EI Rc PP** où **num** est le numéro de la section modifiée (les sections étant numérotées à partir de la tête du rideau),  
**EI** ( $T.m^2/m$ ,  $kN.m^2/m$ ,  $K.Ft^2/Ft$ ) est le produit d'inertie du voile ajouté,  
**Rc** ( $T/m^3$ ,  $kPa/m$ ,  $KsF/Ft$ ) est éventuellement la rigidité cylindrique du voile ajouté.  
**PP** ( $T/m^2$ ,  $kN/m^2$ ,  $K/Ft^2$ ) est le poids propre du voile ajoutée par unité de surface

Une fois en place cette paroi secondaire de produit d'inertie EI2 présente un moment résistant M2 qui s'ajoute au moment M1 de la paroi principale de produit d'inertie EI1 de sorte que le moment total M vaut  $M = M1 + M2$

avec  $M1 = EI1 * y''$  et  $M2 = EI2 * (y'' - y''_0)$  où  $y''$  est la dérivée seconde de la déformée actuelle et  $y''_0$  celle qu'elle avait lors de la mise en place de cette paroi secondaire.

Le calcul à posteriori des contraintes maximales dans chacune des parois est élémentaire si elles glissent l'une sur l'autre mais nécessitera une interprétation dans le cas contraire (modification de la paroi par ajout de matière par exemple).

L'ordre INA appliqué à une section secondaire déjà existante permet tout comme INE de modéliser l'effet de la variation à long terme du module d'YOUNG  $E$

Si pour la section numéro **num** le poids propre a précédemment été défini la valeur de PP est ignorée et pourra être simplement omise.

Il est possible d'ajouter un voile secondaire en une section sans paroi principale si elle connexe à une section existante. En ce cas il est vertical et sans courbure.

**ATTENTION** : Il est supposé que le voile accolé et le voile principal demeurent en contact, soit par des liaisons, soit par l'effet des pressions appliquées. Ainsi en extrémité d'un voile il peut y avoir une courbure commune non nulle. Le principe de Navier-Bernoulli (les sections planes restent planes) de la résistance des matériaux, bien que très localement en défaut, y est appliqué et conduit à un moment affiché non nul en ce point si la courbure commune est non nulle. Cela ne remet pas en cause dans sa globalité l'approximation de ce calcul technique dans le cadre de la résistance des matériaux.

# Conclusions

Pour atteindre les objectifs mondiaux de réduction de l'empreinte carbone de notre activité et de son évolution, il ne suffit plus de nous tourner vers des matériaux souvent déjà issus d'une filaire de vertueuse comme les palplanches ArcelorMittal laminées à Esch-sur-Alzette à partir de 100 % d'acier recyclé et d'électricité renouvelable (*EcoSheepile™ Plus*),

La conception et la construction des futurs ouvrages maritimes doit certainement envisager d'intégrer le recyclage des parties fonctionnelles des ouvrages existant comme les quais en palplanches lors d'une réfection du fait de la corrosion ou d'un rempiètement pour de s'adapter au besoin toujours croissant des infrastructure.

Comme TECHNIP FMC en Angola, les écrans accolés, économiquement performant et économes en matériaux sont une piste prometteuse à évaluer dans le bilan prévisionnel économique et écologique des futurs réfection ou rempiètement de quai maritimes.