



AIPCNC Section française



Port de Sète
Sud de France

Journées Méditerranéennes de l'AIPCNC et Assises du port du futur du Cerema 25 au 27 octobre 2023 à Sete France

**Proposition d'une solution alternative de tablier à
poutres précontraintes pour la conception d'un
appontement de minéralier du port de Jenjen, Jijel,
Algérie**

LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES



PIANC French Section



PIANC Mediterranean Days and Conference «Port of the future» by Cerema 25 to 27 october 2023 in Sete France

A proposed alternative solution of prestressed girder beam to design an ore carrier ship wharf of the port of Jenjen, Jijel, Algeria

LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES

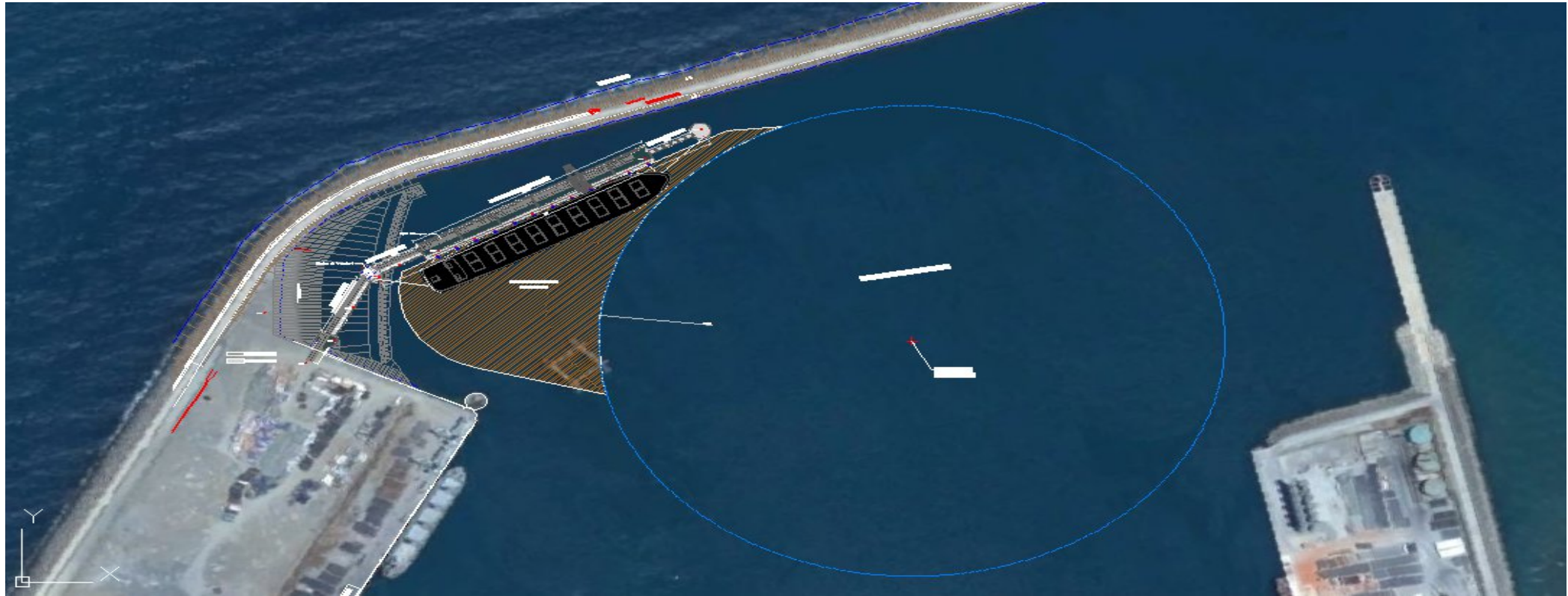
Présentation du projet

- L'appontement minéralier qui a été conçu initialement par douze (12) caissons verticaux circulaires de 22,84m de diamètre et d'une largeur de plateforme de 25m [1], a été modifié afin de réduire le nombre de caissons à mettre en place. Cette modification consiste à remplacer quelques caissons existant dans l'étude initiale par des tabliers à poutres précontraintes par post tension et ce dans le but de baisser le montant de réalisation du projet.
- Pour ce faire, nous proposons une solution économique d'un appontement composé de neuf (09) caissons verticaux rectangulaires de dimensions 23m de largeur x 18m de longueur et de huit (08) tabliers à poutres préfabriquées en béton précontraintes par post tension de 16m de longueur, appuyées sur ces caissons.
- Cet appontement doit supporter la surcharge d'exploitation de grue estimée à 1080 tonnes réparties sur une longueur de 20m sur chaque rail aux états limites de service et ultime conformément aux Eurocodes 0 et 1 [2] et ce pour la durée de vie de l'ouvrage.
- L'analyse de la capacité du tablier tient compte, en outre, du retrait et du fluage du béton (time dependent analysis) tiré de l'Eurocode 2-2004 [3]. Elle se fera à l'aide du logiciel CSI Bridge [4].

La Zone de projet

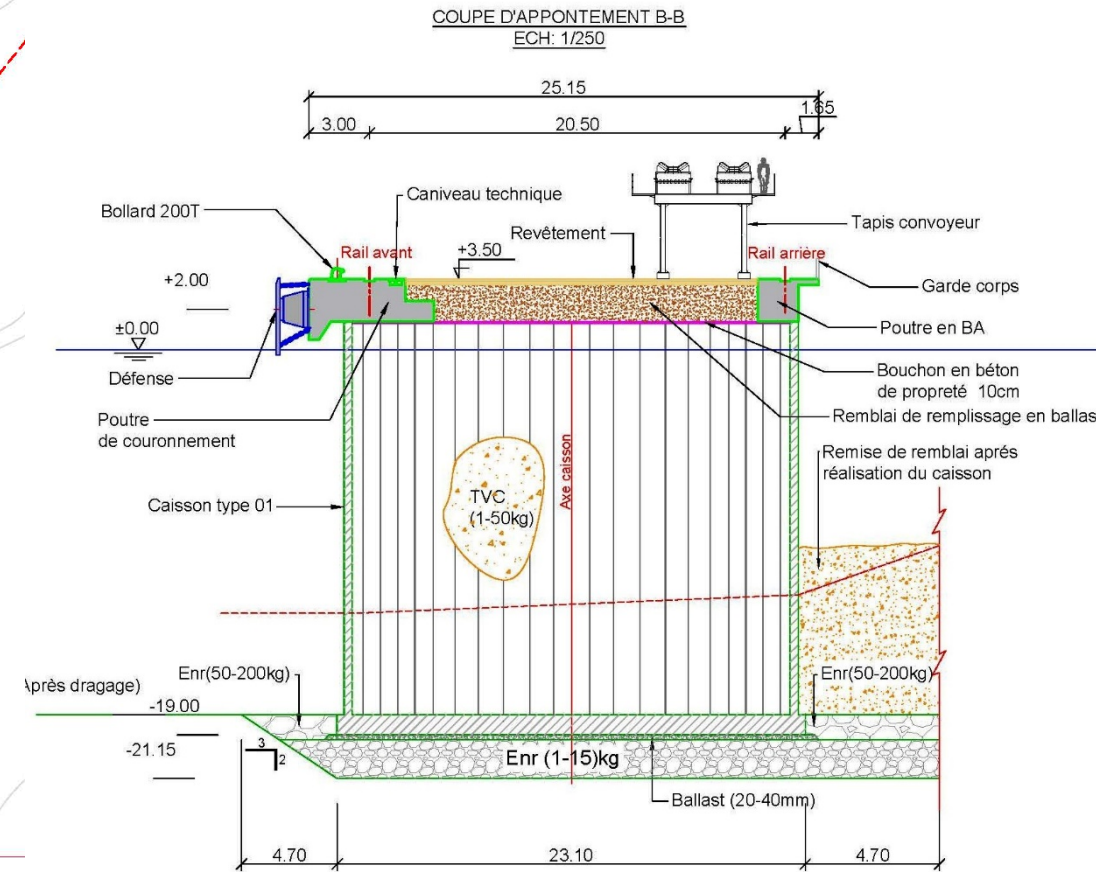
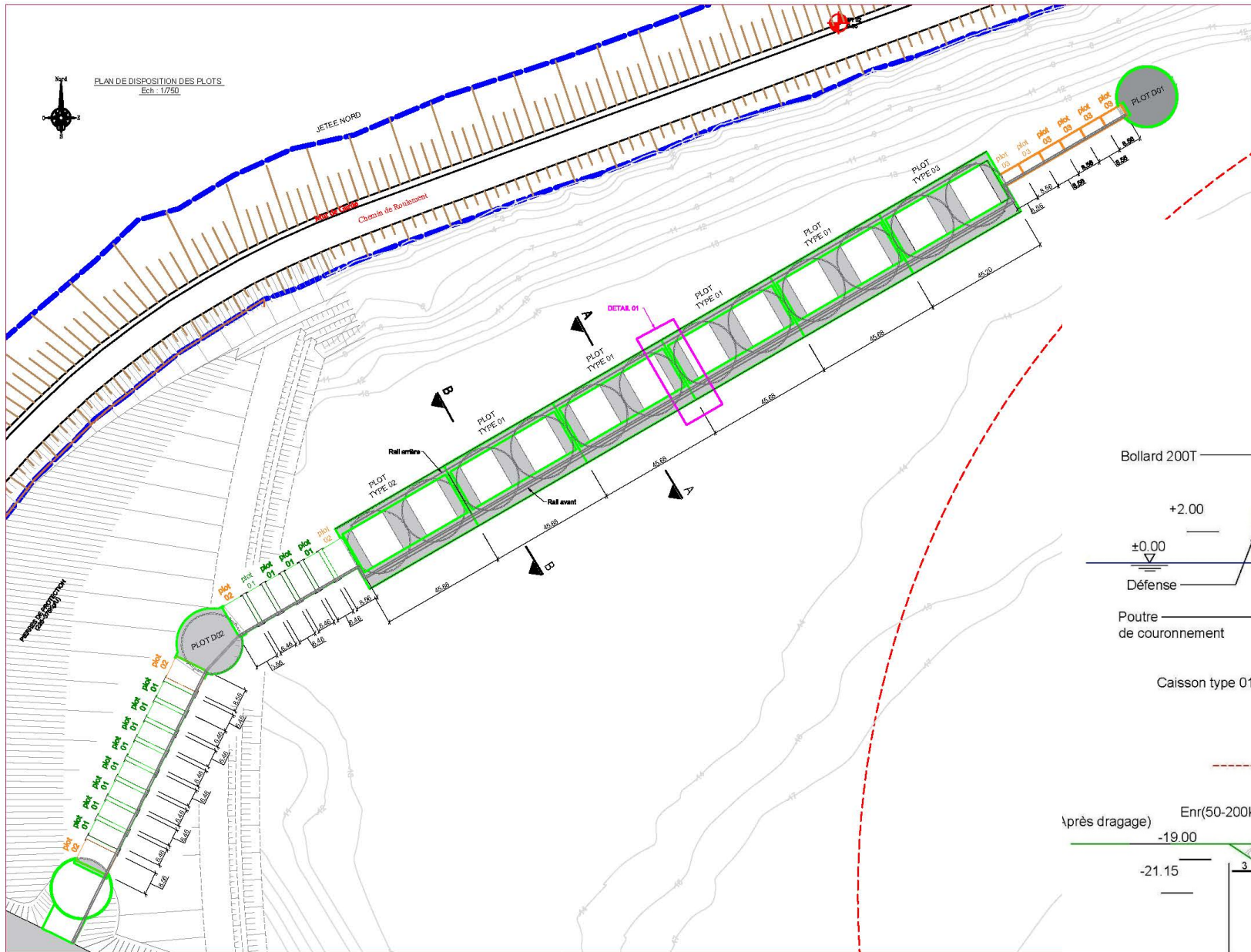


L'implantation de l'appontement



L'implantation de l'appontement (suite)

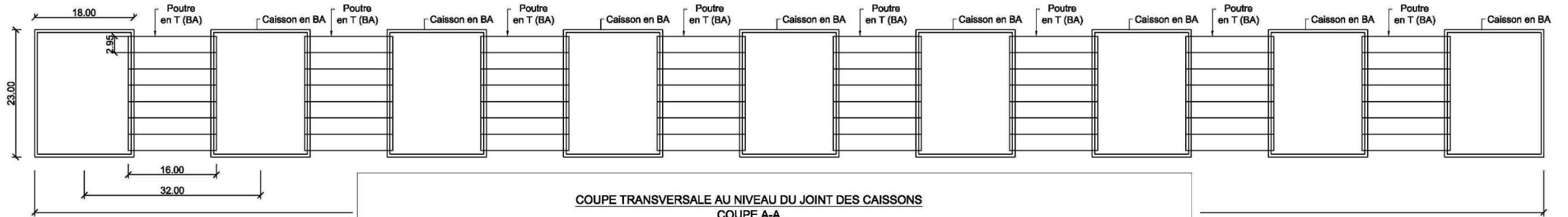




COUPE TRANSVERSALE AU NIVEAU DU JOINT DES CAISSONS

COUPE A-A

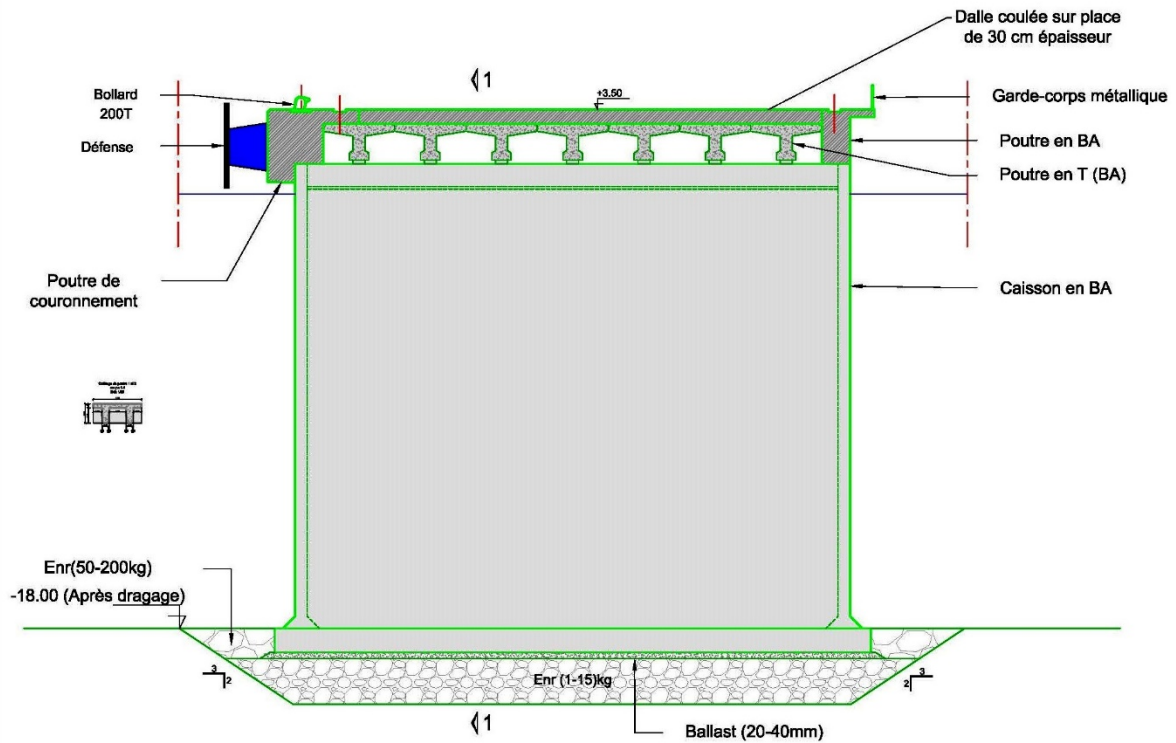
ECH:1/200

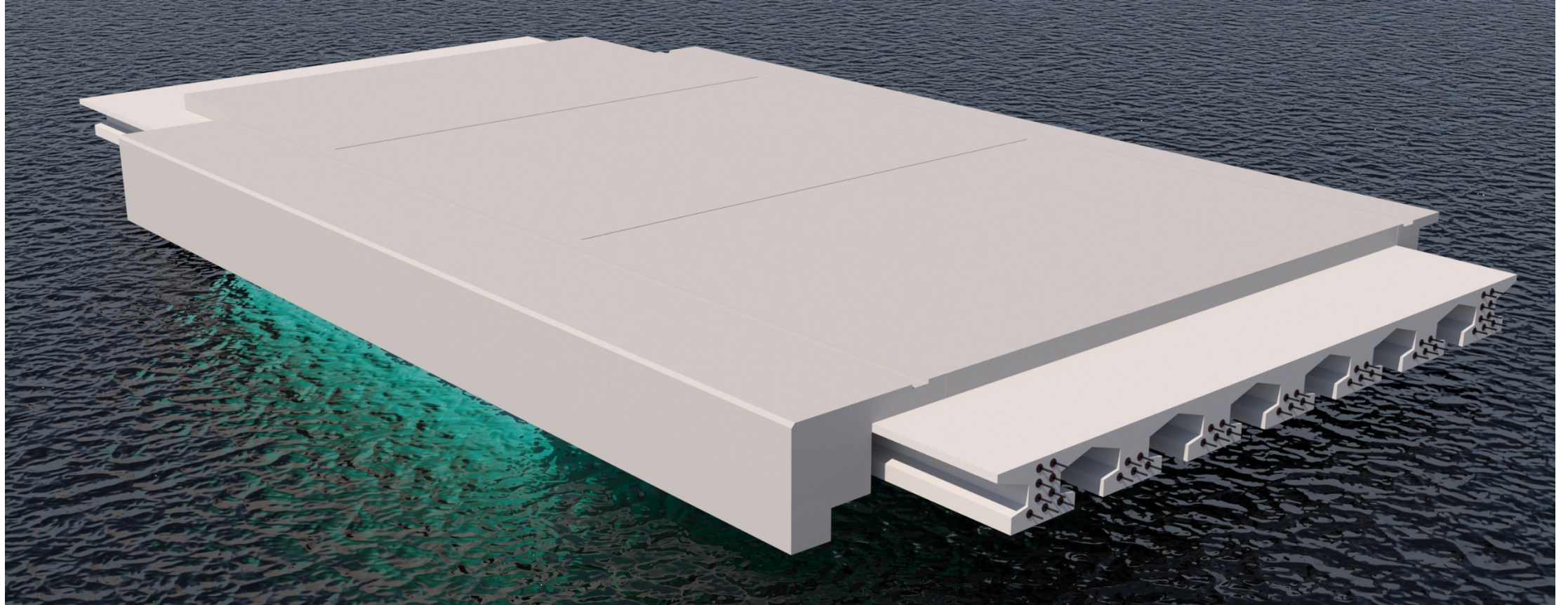


COUPE TRANSVERSALE AU NIVEAU DU JOINT DES CAISSONS

COUPE A-A

ECH:1/200





2- Modélisation et résultats

2.1 Modélisation et calcul

Afin de mener cette étude nous avons modélisé le tablier à poutre précontrainte tel que défini ci-après :

Le tablier d'une largeur de 25m est composé de 08 poutres isostatiques en forme de T de longueur 16ml fabriquées en béton précontraint par posttension. Les poutres ont une hauteur de 1,5m, espacées de 2,93 m et surmontées d'une dalle en béton armé d'épaisseur de 60 cm.

Les deux poutres de rive sont menues de 09 câbles de précontrainte de 15T15S quant aux six poutres intermédiaires, elles sont menues de 05 câbles de 15T15S.

L'exécution du tablier suit les phasages de construction suivantes :

- 1^{ère} phase : mise en tension de 03 câbles.
- 2^{ème} phase : Stockage de 60 jours.
- 3^{ème} phase : mise en tension des câbles restants pour toutes les poutres.
- 4^{ème} phase : mise en place sur tablier.
- 5^{ème} phase : mise en œuvre de la dalle.
- 6^{ème} phase : mise en œuvre de l'étanchéité et de l'enrobé sur la partie centrale et mise en place des rails aux droits des poutres de rive.
- 7^{ème} phase : fluage jusqu'à une durée de 10 000 jours.
- 8^{ème} phase : appliquer les surcharges.

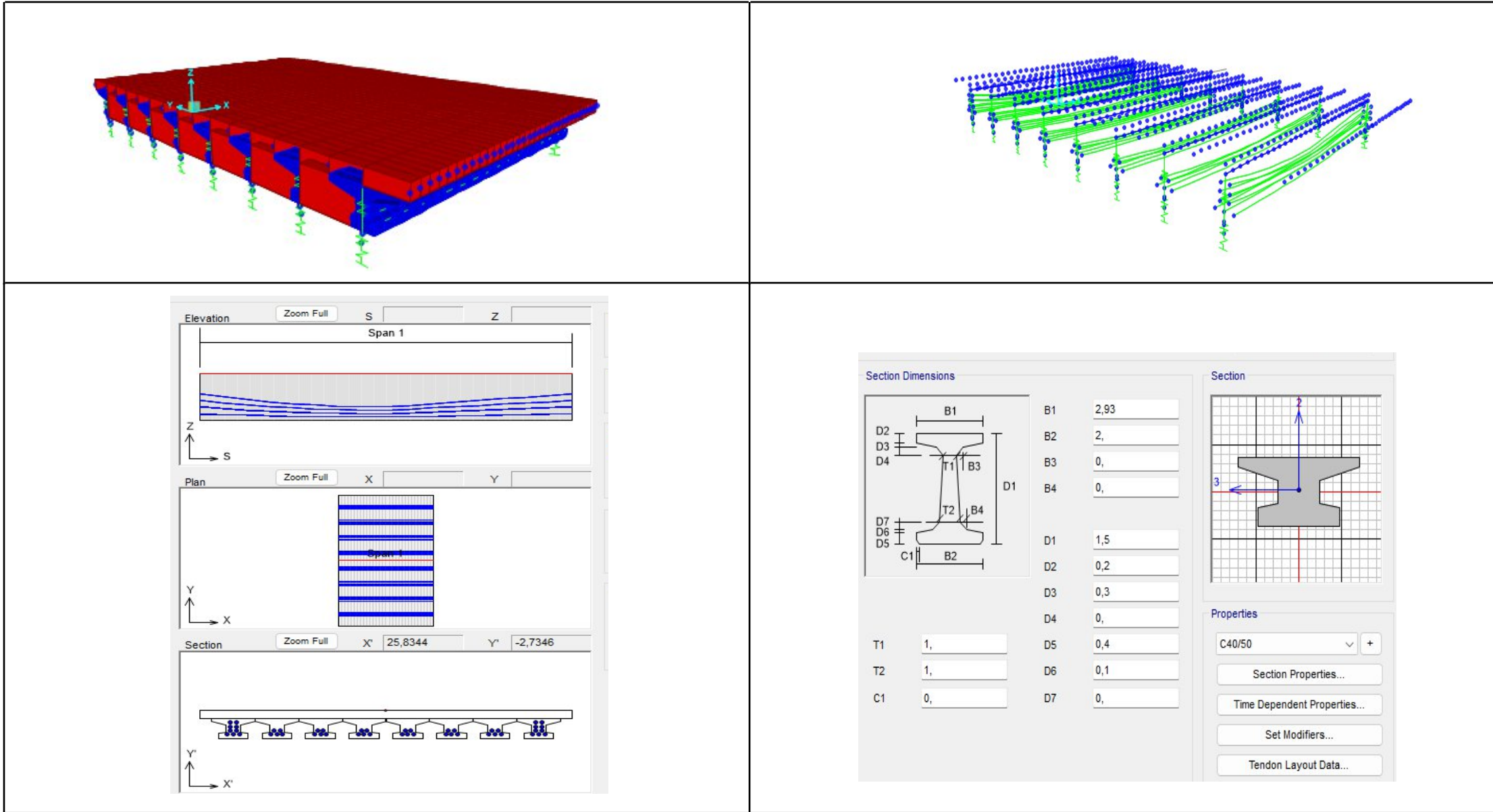


Figure 1: Modèle de tablier poutre précontrainte

2.1.2 Caractéristiques des matériaux

- **Béton :**

Tableau 1 : Caractéristiques du béton

Élément	Résistance béton	Classe d'exposition	Fck en éprouvette cylindrique	Élément
Plancher et diaphragme	C40/50	XS3	$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$	Plancher et diaphragme
Poutres précontraintes	C40/50	XS3	$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$	Poutres précontraintes

- **Acier :**

- Acier haute adhérence pour des armatures : B 500 B $f_y = 500 \text{ MPa}$
- Acier actif poutre précontrainte : Y1860S7 $f_{p,k} = 1860 \text{ MPa}$
- Les aciers de précontraints adoptés pour les poutres sont des torons standards T15 SUPER.
- Limite de rupture garantie $f_{prg} = 1860 \text{ MPa}$
- Limite élastique garantie $f_{peg} = 1600 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité $E_s = 195\,000 \text{ MPa}$
- Section du toron : $A_p = 150 \text{ mm}^2$ (0.6''S correspondant à T15 super, diamètre nominal = 15.7mm)
- Les aciers ont une très basse relaxation TBR $\Rightarrow \rho_{1000} = 2.5 \%$

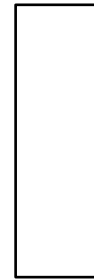
• Essai de fluage

On distingue deux phases majeures du fluage du béton :

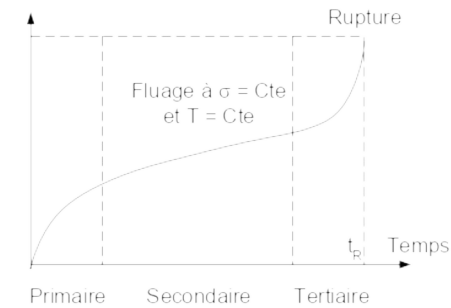
- Phase Primaire :
La plus critique qui enregistre le maximum de perte de précontrainte.
- Phase secondaire :

Aussi importante à considérer même si elle représente une phase où le taux d'accroissement des déformations est moins important.

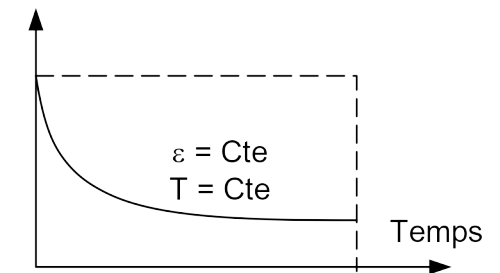
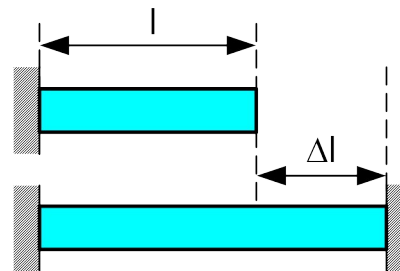
Force de compression
Constante



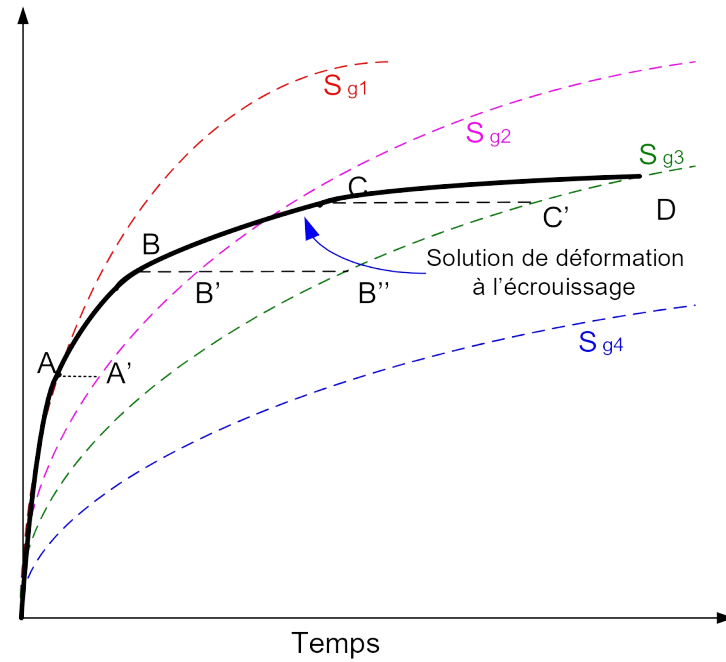
Force de compression
Constante



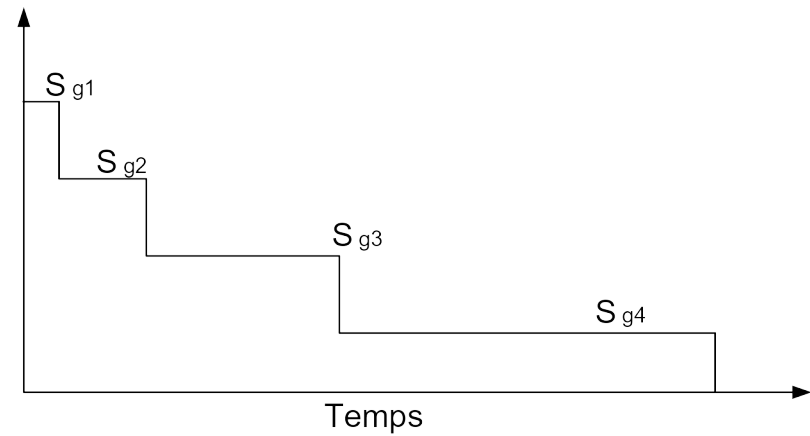
• Essai de relaxation



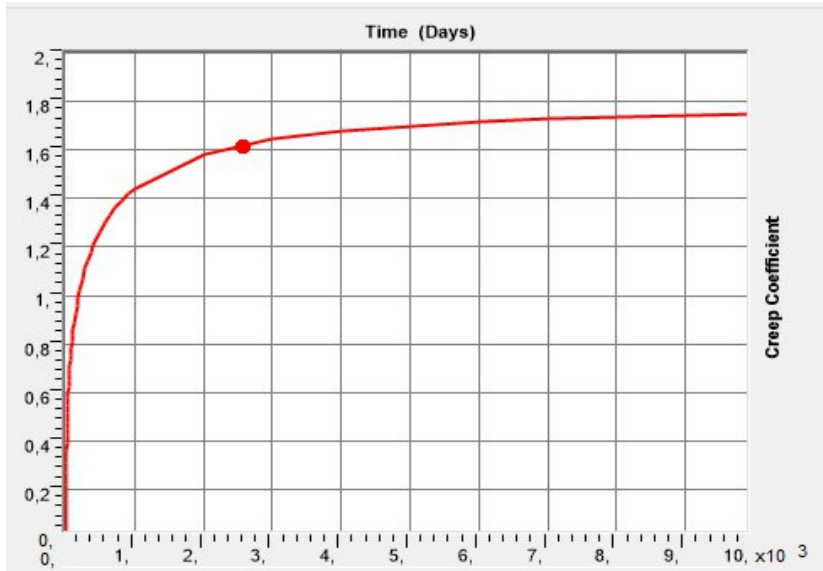
- Modèle de fluage



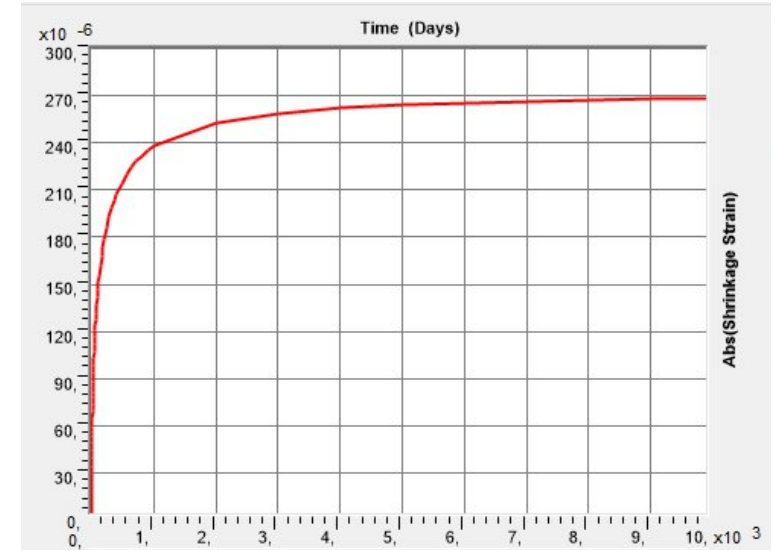
- Perte de contrainte dans les câbles de précontraintes due au fluage de béton



- Modèle de fluage et retrait de béton C40/50 selon l'Eurocode 2-2004 est défini ci-après :
Fluage avec $R_h = 75\%$



Retrait



Courbes de fluage et de retrait de béton C40/50

Formulation selon Eurocode 2 :

$$\varepsilon_C = \varphi(t, t_0) \cdot \left(\frac{\sigma_c}{E_c} \right)$$

$\varphi(t, t_0)$: Coefficient de fluage.

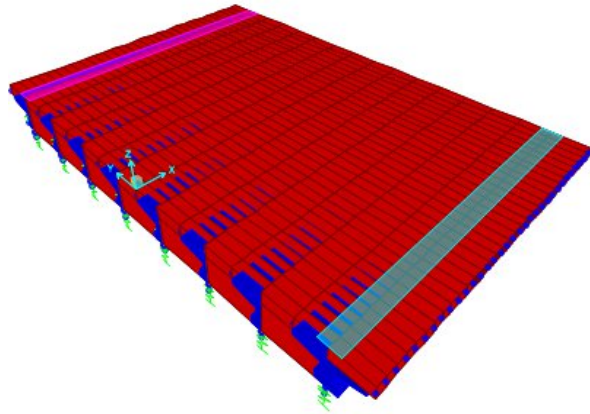
La contrainte de compression σ_c varie dans le temps.

• Charges et surcharges

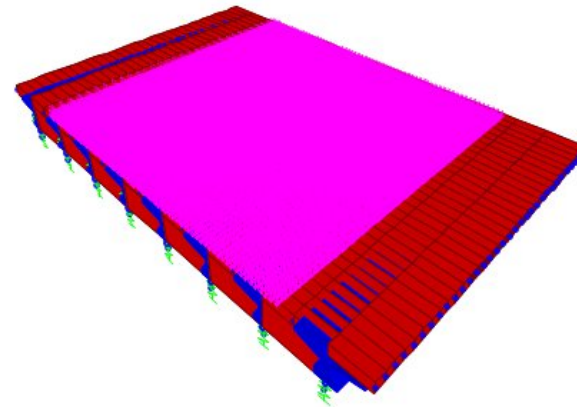
Les charges et les surcharges considérées dans cette analyse est celles correspondants aux poids propres, les charges mortes, les charges thermiques, entres autres, les surcharges d'exploitation et de minéralier :

Surcharge de minéralier :

- Rail de droite du côté mer : 642 kN/ml
- Rail de gauche : 241 kN/ml



Surcharge d'exploitation de 40 kN/m²



Surcharges de minéralier et routière

- **Combinaisons d'actions**

Les combinaisons d'action ont été établies en suivant la norme Eurocode 0 et 1 [2].

- **Résultats et interprétation**

Les résultats concernent principalement la vérification du tablier sous différentes combinaisons d'action en états limite de service fréquent, quasi-permanent et rare.

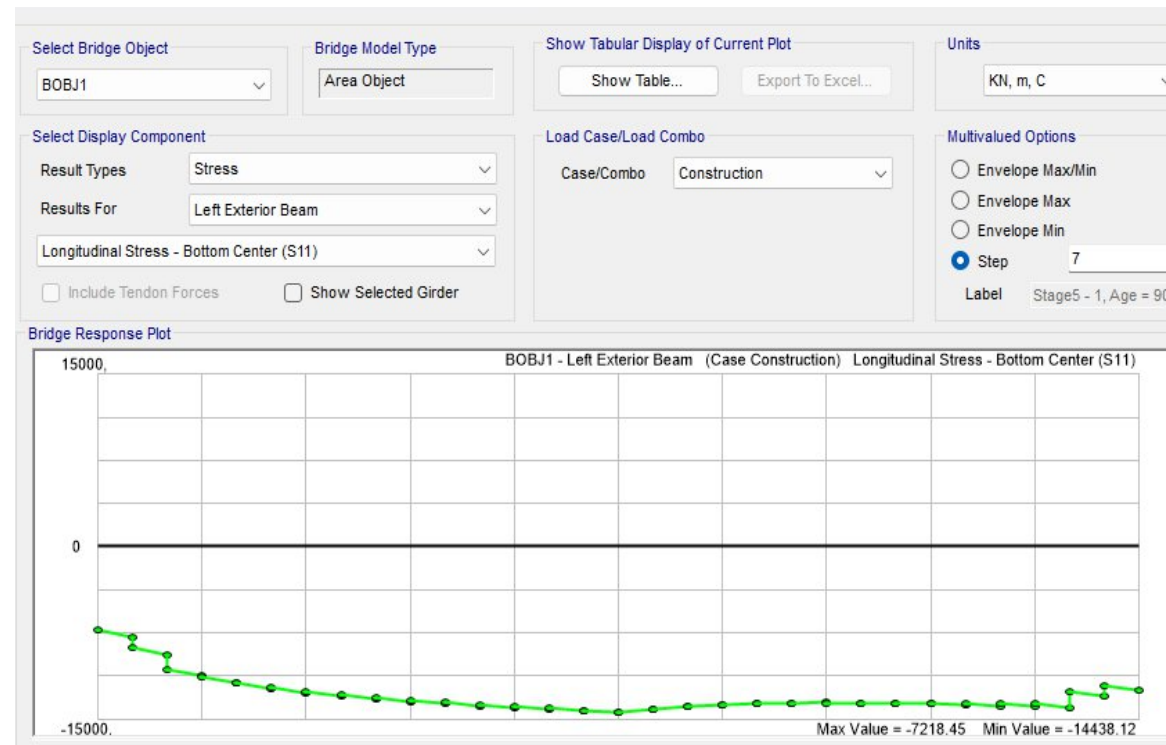
La vérification doit répondre aux exigences de l'Eurocode 2 [3].

- **Résultats**

En premier lieu nous évaluons la perte de précontrainte en phase de construction à savoir en considérant un temps de fluage de béton de 10 000 jours.

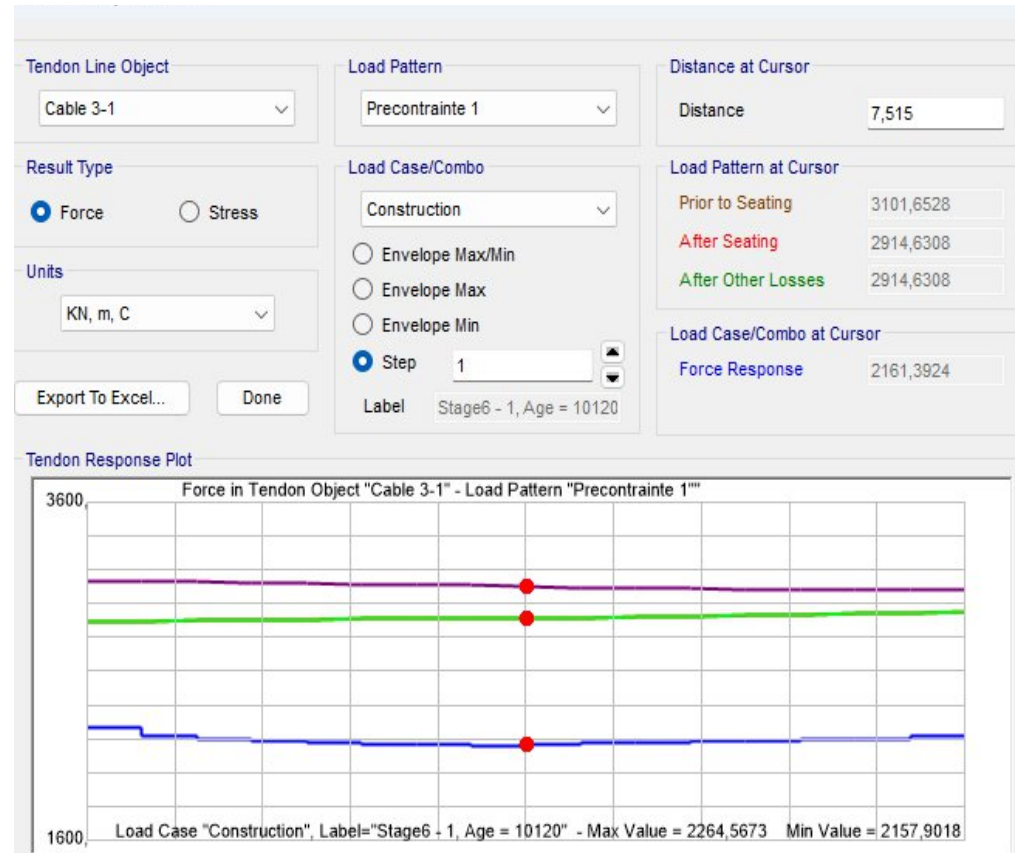
La précontrainte initiale est égale à $0.8f_{prg} = 1488 \text{ mPa}$ équivalent en force de 3348 kN par câble de 15T15S.

A noter que la contrainte dans le béton engendrer dans la poutre seule est d'environ $0,36 \times f_{c28} = 14,40 \text{ mPa}$.



Contrainte de compression dans la poutre

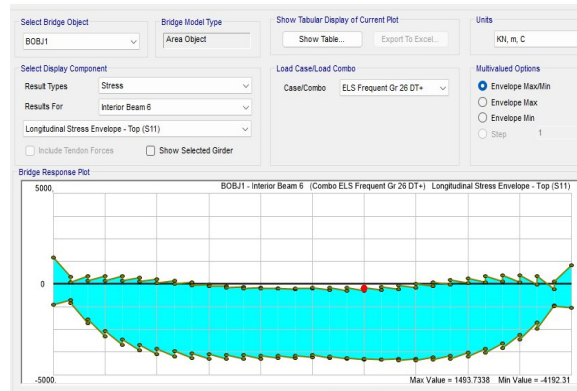
La perte de précontrainte est évaluée à : $(3348-2161) / 3348 \times 100 = 35.45\%$ après 10 000 jours de fluage de béton.



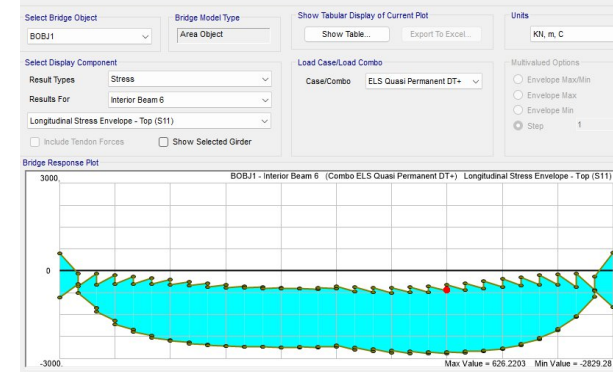
Perte de précontrainte à la phase finale après 10 000 jours de fluage

La vérification des contraintes sous différentes combinaison à l'ELS sont données ci-après :

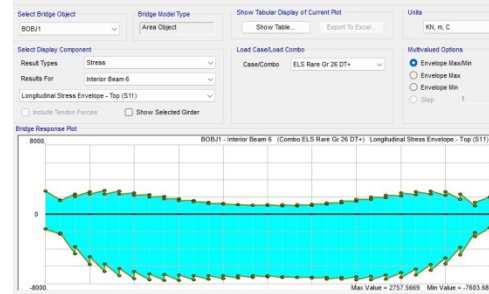
Fibre supérieure du tablier - ELS Fréquent



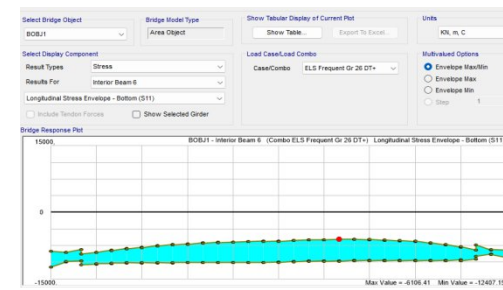
Fibre supérieure du tablier - ELS QP



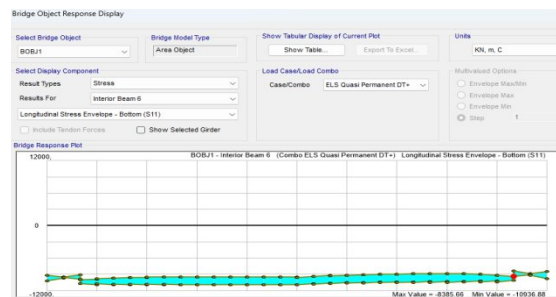
Fibre supérieure du tablier - ELS Rare



Fibre inférieure du tablier - ELS Fréquent



Fibre inférieure du tablier - ELS QP



Fibre inférieure du tablier - ELS Rare

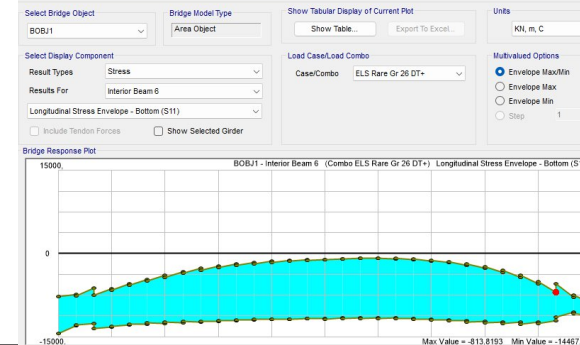


Figure 6 :
 Distribution de
 contrainte le long
 du tablier sous
 différentes
 combinaisons
 d'action aux états
 limite de service

• Interprétations

- Nous constatons que les contraintes sur la fibre inférieure, le long de la poutre, sous différentes combinaisons d'actions demeurent en compression. Ce qui nous ramène à dire que la vérification de la précontrainte est menée en classe 1, conformément aux exigences relatives aux ouvrages stratégiques.
- La vérification de l'état limite ultime du tablier sous combinaison ELU fondamentale se fera en introduisant entre autres les armatures passives longitudinales et les armatures d'effort tranchant.
- La conception d'un appontement en combinant 08 tabliers et 09 caissons rectangulaires est nettement plus économique en la comparant à un appontement avec 12 caissons circulaires et tablier en béton armé pour joindre les parties évidées entre cylindres. L'économie s'élève de l'ordre de 20%.
- Conclusion et perspectives
- Une conception d'un appontement composé de 09 caissons rectangulaires et 08 tabliers à poutres précontraintes par post tension a été élaboré dans le but de comparer les prix de construction par rapport à un appontement composé de 12 caissons cylindriques placé en mer dans le port de Jen-Jen, en Algérie.
- D'après l'étude menée dans cet article, nous avons observé l'effet du fluage-retrait du béton sur les pertes de précontrainte. La prise en compte de cet effet dans la conception de tel structure en béton précontraint est très importante sachant qu'il représente le paramètre prédominant qui permettra de concevoir des structures qui durent dans le temps moyennant, entre autres, un traitement de surface avec une peinture époxydique et un entretien périodique.
- Il a été aussi observé que cette conception permettra d'économiser environ 20% sur le prix de construction par rapport à celui conçu avec des caissons cylindriques.