

MAITRE D'OUVRAGE  PRÉFET DE LA RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE Liberté Égalité Fraternité Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nouvelle-Aquitaine Cité administrative – Rue Jules Ferry 33090 BORDEAUX CEDEX		ASSISTANCE A MAITRE D'OUVRAGE  INGÉROP Inventons demain INGEROP 5, Impasse des Mûrier CS 80012 – 33692 MERIGNAC CEDEX
ARCHITECTE  architectes MOG ARCHITECTES 8, rue Esprit des Lois 33000 BORDEAUX	MAITRE D'OEUVRE  setec SETEC 42, rue du Général de Laminat 33000 BORDEAUX	ENTREPRISE  EIFFAGE GÉNIE CIVIL EIFFAGE GENIE CIVIL 3-7, Place de l'Europe CS 50570 – 78140 VELIZY-VILLACOUBLAY

Conception et Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au Pont François Mitterrand

Note d'hypothèses générales phase PRO

58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NHY_00202 - NHG PRO

B	27/05/2025	AVE/RBE	SRI	ADE	Deuxième diffusion dossier PRO complet
A	20/04/2025	AVE/RBE	SRI	ADE	Première émission
IND	Date	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Observations / Modifications

Émetteurs :



Diffusion :

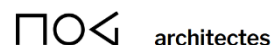


Table des matières

1	Objet du document	5
1.1	Documents de référence	5
2	Géométrie	7
2.1	Géométrie ouvrage existant	7
2.1.1	Géométrie des voussoirs	7
2.1.2	Type et géométrie de la précontrainte existante.....	10
2.2	Réservation pour la précontrainte additionnelle.....	14
2.3	Géométrie passerelle.....	14
2.3.1	Principe général de la passerelle	14
2.3.2	Contraintes géométriques.....	15
2.3.3	Positionnement des consoles	16
2.3.4	Consoles en charpente métallique	17
2.3.5	Appuis et ancrages	21
2.3.6	Platelage	22
2.3.7	Numérotation consoles et platelage	23
3	Hypothèses liées aux matériaux	25
3.1	Matériaux ouvrage existant	25
3.1.1	Béton	25
3.1.2	Acier d'armatures	26
3.1.3	Précontrainte existante	26
3.1.4	Précontrainte additionnelle	30
3.1.5	Tissus carbone (PRFC)	30
3.2	Matériaux passerelle	31
3.2.1	Charpente métallique.....	31
3.2.2	BFUP	32
3.2.3	Béton	33
3.2.4	Câble de précontrainte post-tendus du platelage	33
3.2.5	Acier d'armatures	33

3.2.6	Barres précontraintes.....	34
4	Durabilité.....	34
4.1	Critères de durabilité pour le platelage BFUP.....	34
4.1.1	Classe d'exposition.....	34
4.1.2	Enrobage d'armatures de béton armé.....	35
4.1.3	Enrobage de câbles de précontrainte platelage.....	35
4.1.4	Limite d'ouverture de fissure du BFUP	36
4.2	Critères de durabilité pour les bétons courants	36
5	Hypothèses liées aux actions	37
5.1	Charges permanentes.....	37
5.1.1	Charges permanentes de l'ouvrage existant.....	37
5.1.2	Charges permanentes passerelle	40
5.1.3	Application des charges permanentes de la passerelle à l'ouvrage existant	41
5.2	Charges d'exploitation	42
5.2.1	Charges d'exploitation ouvrage existant.....	42
5.2.2	Charges d'exploitation passerelle	45
5.3	Charges climatiques et thermiques	47
5.3.1	Action thermique ouvrage existant.....	47
5.3.2	Charges thermique sur la passerelle	47
5.3.3	Charges de vent sur la passerelle	50
5.4	Actions sismiques.....	52
6	Combinaisons d'actions	54
6.1	Combinaisons ouvrage existant	54
6.2	Combinaisons pour la passerelle	55
7	Vérifications	55
7.1	Vérifications de l'ouvrage existant	55
7.1.1	Critères de vérification en contraintes normales de l'ouvrage existant	55
7.1.2	Cumul du besoin en armatures de l'ouvrage existant.....	56
7.1.3	Vérification du ferrailage nécessaire et du besoin en renforcement en tissu carbone	57

7.2	Vérifications de la passerelle	58
7.2.1	Critère de flèche	58
7.2.2	Vibrations	59

1 Objet du document

Cette note fixe les hypothèses générales pour le dimensionnement et vérification structurale de niveau PRO de l'étude de la passerelle modes actifs accrochée au pont F. Mitterrand A630 - N230 Rocade de Bordeaux. Elle concerne l'ouvrage neuf et le renforcement de l'ouvrage existant.

1.1 Documents de référence

- Programme et cahier de charge et données d'entrée

- [1] Programme de l'opération – version V10 – 02 avril 2024
- [2] Annexe 3_Pont François Mitterrand_STM-V5 : Spécifications techniques marché
- [3] Dossier de récolement du pont F. Mitterrand (plans et notes de calcul)
 - Dossier des inspections périodiques de l'ouvrage :
- [4] IDP 2014 (Cerema),
- [5] IQOA 2018 (DIRA),
- [6] IDP 2021 (Getec)
 - Dossier des investigations de l'ouvrage :
- [7] Analyse de la précontrainte extérieure 2021 (Cerema),
- [8] Diagnostic bétons, précontrainte et chaussée 2022 (Sixense)

- Cadre réglementaire

- Pour l'ouvrage existant :
 - [9] CCTG – Fascicule 61 – Titre II : « Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art – Programmes de charges et épreuves des ponts-routes »
 - [10] CCTG – Fascicule 62 – Titre I – Section II : « Règles B.P.E.L. 83 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des états limites »
 - [11] CCTG – Fascicule 62 – Titre I – Section I : « Règles B.A.E.L. 83 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites »
- Pour l'ouvrage neuf :
 - [12] Fascicules du CCTG
 - [13] Corpus des Eurocodes
 - [14] NF P 18-710 « Complément national à l'Eurocode 2 – Calcul des structures en Béton : règles spécifiques pour les BFUP »

- [15] NF P 18-470 « Bétons fibrés à Ultra Hautes Performances – Spécification, performance, production et conformité »
- [16] NF P 18-451 « Bétons - Exécution des structures en béton - Règles spécifiques pour les BFUP »
- [17] NF P 95-104 « Ouvrages d'art — Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Spécifications relatives à la technique de précontrainte additionnelle »
- [18] NF P 98-405 « Barrières de sécurité routières – Garde-corps pour ponts et ouvrages de génie civil - Conception, fabrication, mise en œuvre »
- [19] NF EN 206+A2/CN « Béton : Spécification, performances, production et conformité »
- [20] NF P 94-261 « Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles »
- [21] NF P 94-262 « Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes »
- [22] Décret n°2010-1254 du 22/10/2010 relatif à la prévention du risque sismique
- [23] Décrets n°2010-1255 du 22/10/2010 et n°2015-5 du 06/01/2015 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français
- [24] Arrêté du 26/10/2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismiques applicables aux ponts de la classe dite à « risque normal »

- **Dossier d'études de conception PRO (setec)**

- [25] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NOT_00201 - Mémoire technique PRO
- [26] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NHY_00202 - Note d'hypothèses générales
- [27] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NTT_00203 - Note calage modèle calcul global
- [28] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NDC_00204 – Note de calcul PRO platelage BFUP
- [29] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NDC_00205 – Note de calcul PRO charpente métallique
- [30] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NDC_00206 - Note de justification précontrainte additionnelle
- [31] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_NDC_00207 - Note de justification renforcement composite
- [32] 58039_ALS_PRO_GEN_GEN_NDC_00208 – Note de calcul PRO platelages extrémités
- [33] 58039_ALS_PRO_GEN_GEN_NDC_00209 – Note de calcul PRO études complémentaires
- [34] 58039_ALS_PRO_GEN_GEN_NOT_00210 – Mémoire G2 PRO
- [35] 58038_ALS_PRO_GEN_GEN_PLA_00211 - Cahier de plans techniques PRO
- [36] 58038_ALS_PRO_RSX_GEN_NOT_00217 – Mémoire technique PRO dévoiement réseaux

2 Géométrie

2.1 Géométrie ouvrage existant

L'ouvrage existant est composé de deux tabliers indépendant de 7 travées, de type pont à voussoirs en béton préfabriqué précontraint. La portée des travées courantes est de 102,00 m et les portées des travées de rive sont de 69.00 m (rive gauche) et 63.10 m (rive droite). La passerelle en projet sera accrochée à l'ouvrage amont tous les deux voussoirs au droit des nervures.

2.1.1 Géométrie des voussoirs

Ci-dessous la géométrie des voussoirs de l'ouvrage existant :

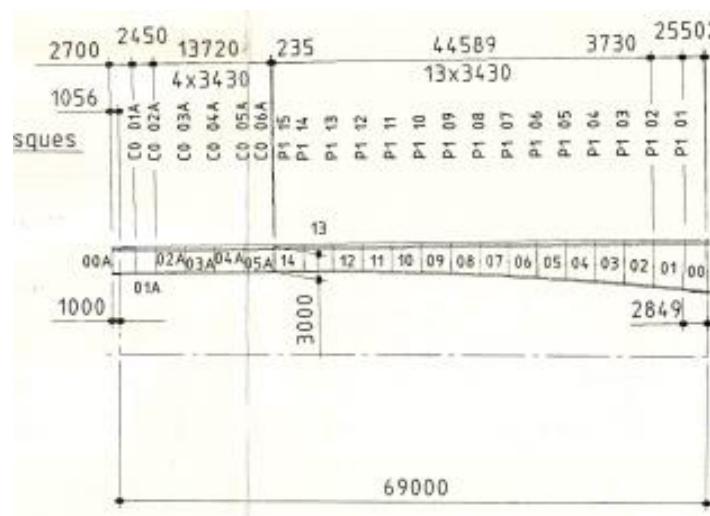


Figure 1 : Vue longitudinale de la travée de rive T1

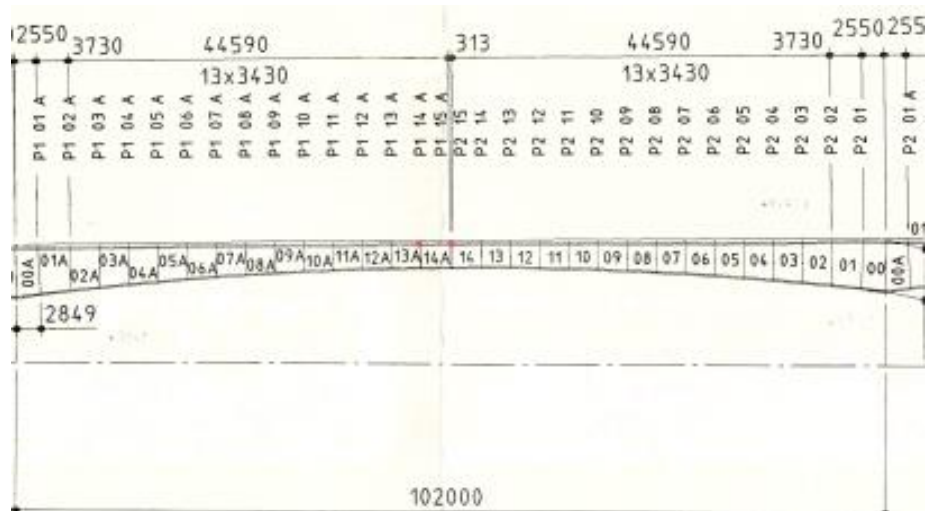


Figure 2 : Vue longitudinale d'une travée courante (T2 à T6)

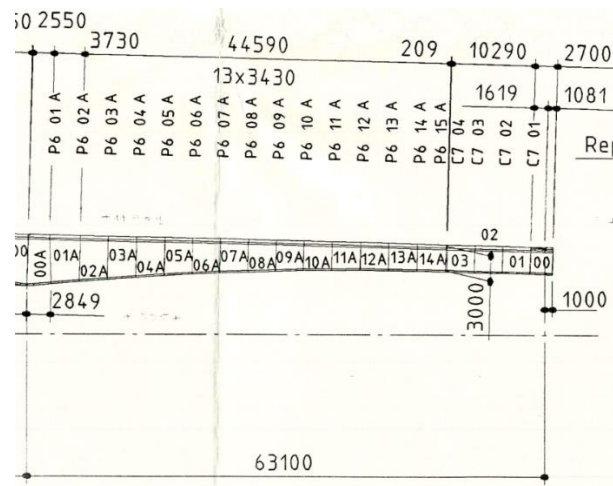


Figure 3 : Vue longitudinale de la travée de rive T7

La longueur des voussoirs se résume ainsi :

- Voussoir courant : 3.430m
- Demi-voussoir sur pile : variable entre 2.550m et 2.849m (nous retenons 2.850m dans notre modèle de calcul)
- Voussoir adjacent au voussoir sur pile : 3.730m (nous retenons 3.430m dans notre modèle de calcul)
- Longueur des voussoirs sur culée : 2.700m
- Longueur clavage :
 - Travées courantes : sur les plans est variable suivant travée entre 0.307m et 0.322m. Or, pour obtenir une longueur de travée de 102.00m, nous considérons que la longueur du clavage est égale à 0.26m pour toutes les travées. En effet : $2 \times (2.55 + 3.73 + 13 \times 3.43) + 0.26 = 102.00\text{m}$.
 - Travées de rive gauche (C0-P1) : sur les plans il est indiqué 0.235m, nous considérons 0.26m afin d'obtenir une longueur de travée égale à 69.00m
 - Travées de rive droite (P6-C7) : sur les plans il est indiqué 0.209m, nous considérons 0.24m afin d'obtenir une longueur de travée égale à 63.10m

Section des voussoirs en travée :

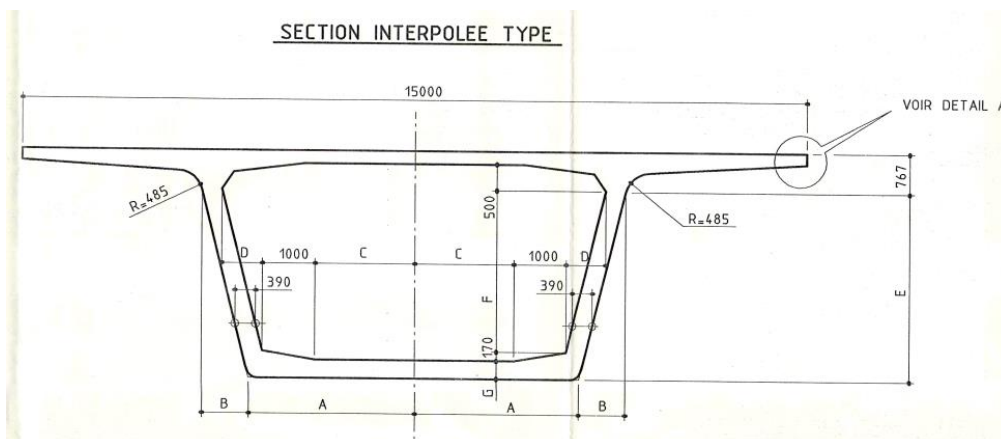


Figure 4 : Coupes transversales types

No du masque	A	B	C	D	E	F	G
02	2924	1135	1685	987	4538	3950	435
03	3009	1049	1762	910	4197	3641	403
04	3087	971	1833	839	3884	3356	375
05	3159	899	1898	774	3597	3097	347
06	3224	834	1957	715	3338	2862	323
07	3282	777	2010	663	3106	2651	302
08	3333	725	2056	616	2902	2466	283
09	3377	681	2096	576	2724	2305	266
10	3415	644	2130	542	2574	2169	252
11	3445	613	2158	514	2452	2058	241
12	3469	589	2180	493	2356	1971	232
13	3486	572	2195	477	2288	1909	226
14	3497	562	2204	468	2247	1872	222
15	3500	558	2207.5	465	2233	1860	220

Figure 5 : Définition des masques des voussoirs

Les voussoirs disposent d'une nervure verticale au droit des âmes, pour permettre de loger les barres de brelage lors de la construction. La section de ces nervures et les dimensions retenues pour notre étude sont fournies dans l'image suivante.

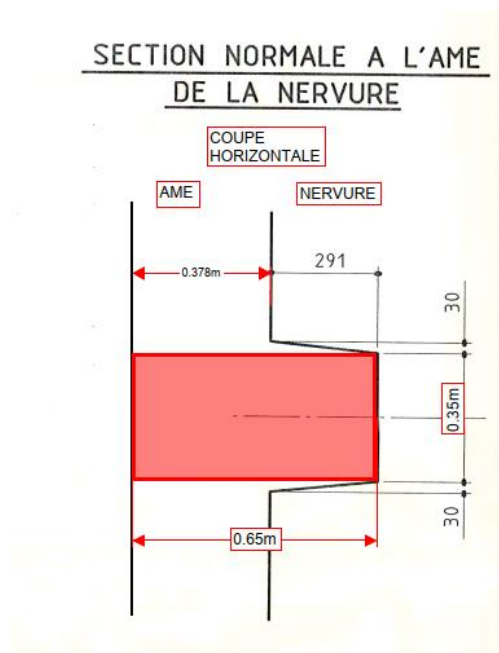


Figure 6: Détail des nervures sur âme

2.1.2 Type et géométrie de la précontrainte existante

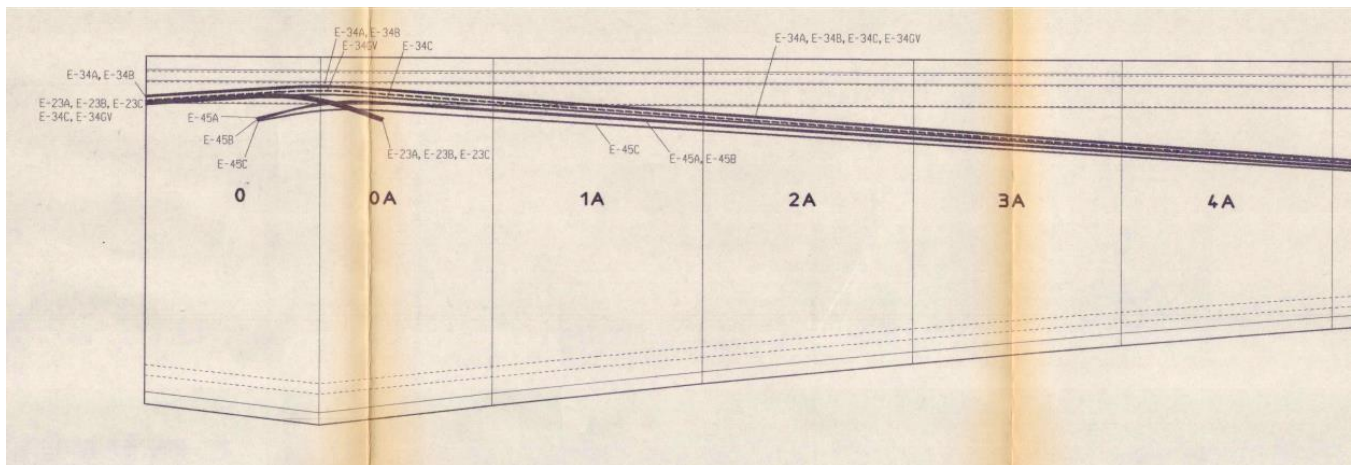
L'ouvrage dispose de câbles formés de torons T15S de section $A_p = 150 \text{ mm}^2$ (classe 1770 TBR), par le procédé de précontrainte Freyssinet, système K.

La précontrainte intérieure est constituée de câbles de 12 torons, la précontrainte extérieure par des câbles de 19 torons.

Le câblage de précontrainte longitudinal se compose en trois typologies (quantités données pour un voussoir complet) :

- Câblage de fléau : 36 câbles d'unité 12T15S pour chaque pile ;
- Câblage d'éclisse :
 - 2x1 câbles 12T15S sur la travée 1 et 7
 - 2x6 câbles 12T15S sur les travées 2 à 6
- Précontrainte extérieure : 12 câbles 19T15S en travée courante ;

Concernant la modélisation des câbles de précontrainte dans le modèle de flexion longitudinale réalisé pour notre étude, leurs coordonnées au droit des joints sont tirées des différents plans de récolement (notés P438 à 457) sous forme de tableau. Par exemple, pour les câbles extérieurs de la travée T4, nous avons :



ECHELLE X 1/500
ECHELLE Y 1/500

NOM DES SECTIONS	AMONT P3-B1 RVAL P' 4-B1A	P3 P' 4	P3-B1A P' 4-B1	P3-B2A P' 4-B2	P3-B3A P' 4-B3	P3-B4A P' 4-B4	P3-B5A P' 4-B5
COUPES DISTANCES PAR RAPPORT AU MASQUE 1 A LA COUPE SUIVANTE 1	0,00 -1,425	0,00 -1,425	0,00 -1,425	0,00 -1,715	0,00 -1,715	0,00 -1,715	0,00 -1,715
E-23C DS							
X	-2,715	-2,748	-2,728				
Y	-0,661	-0,55	-0,682				
E-23B DS							
X	-2,000	-2,017	-2,010				
Y	-0,612	-0,52	-0,558				
E-23A DS							
X	-1,281	-1,289	-1,286				
Y	-0,574	-0,479	-0,514				
E-34C DS							
X	-3,074	-3,104	-3,125				
Y	-0,65	-0,56	-0,49				
E-34B DS							
X	-2,356	-2,376	-2,390				
Y	-0,583	-0,486	-0,331				
E-34A DS							
X	-1,841	-1,653	-1,661				
Y	-0,583	-0,486	-0,331				
E-340V DS							
X	-1,821	-1,828	-1,834				
Y	-0,545	-0,449	-0,376				

Figure 7 : Extrait du plan P454

Ci-dessous un récapitulatif de l'ensemble des câbles de précontrainte longitudinale :

Câbles de fléau - 36 câbles par fléau (18 de chaque côté) :

N°	Voussoir d'ancrage 1	Voussoir d'ancrage 2	L (m)
1-P	1	01A	9,3
2-P	2	02A	16,2
3-P	3	03A	23,0
4-P	4	04A	29,9
5-P	5	05A	36,8
6-P	6	06A	43,6
7-P	7	07A	50,5
8-P	8	08A	57,4
9-P	9	09A	64,3
10-P	10	10A	71,2
11-P	11	11A	78,1
12-P	12	12A	85,0
13-P	13	13A	91,9
23-P	3	03A	26,3
25-P	5	05A	40,1
27-P	7	07A	53,8
28-P	8	08A	60,7
29-P	9	09A	67,5
130-P	13	13A	88,1

Figure 8 : Récapitulatif des câbles de fléau

Remarque : Les câbles additionnels de fléau 130-P n'ont pas été mis en œuvre à la construction de l'ouvrage.

Câbles d'éclisse - 12 câbles par travée courante (6 de chaque côté) et 2 par travée de rive (1 de chaque côté) :

N°	Voussoir d'ancrage 1	Voussoir d'ancrage 2	L (m)
7-T	7	07A	51,9
8-T	8	08A	45,0
9-T	9	9A	38,2
10-T	10	10A	31,3
11-T	11	11A	24,4
12-T	12	12A	17,5
1-T1	0A - T1	9 - T1	33,6
102-T1	2A - T1	11 - T1	20,8
1-T7	9A - T7	0 - T7	38,1
102-T7	11A - T7	1 - T7	14,0

Figure 9 : Récapitulatif des câbles d'éclisse

Remarque : les câbles additionnels 102 en travée 1 et 7 n'ont pas été mis en œuvre à la construction de l'ouvrage.

La mise en tension des câbles intérieurs se fait d'un seul côté (voir la sortie du calcul électronique de la N420 dans « données ») :

52 TENSION DATE=75 TENG=2544 TEND=0 RENG=0.006 REND=0

Câbles extérieurs – 12 câbles par travée courante (6 de chaque côté) :

N°	Voussoir d'ancrage 1	Voussoir d'ancrage 2	L (m)
E-12A	0A - C0	0A - P2	169,7
E-12B	0A - C0	0A - P2	169,6
E-12C	0A - C0	0A - P2	169,7
E-1A	0A - C0	0A - P1	70,6
E-1B	0A - C0	0A - P1	70,4
E-1C	0A - C0	0A - P1	70,4
E-23A	0A - P1	0A - P3	205,4
E-23B	0A - P1	0A - P3	205,3
E-23C	0A - P1	0A - P3	206,4
E-34A	0A - P2	0A - P4	206,4
E-34B	0A - P2	0A - P4	206,4
E-34C	0A - P2	0A - P4	206,4
E-45A	0A - P3	0A - P5	206,4
E-45B	0A - P3	0A - P5	206,4
E-45C	0A - P3	0A - P5	206,4
E-56A	0A - P4	0A - P6	206,4
E-56B	0A - P4	0A - P6	206,4
E-56C	0A - P4	0A - P6	206,4
E-67A	0A - P5	0 - C7	166,2
E-67B	0A - P5	0 - C7	166,0
E-67C	0A - P5	0 - C7	166,0
E-7B	0A - P6	0 - C7	63,7
E-7C	0A - P6	0 - C7	64,3

Figure 10 : Récapitulatif des câbles extérieurs

Nous pouvons noter une particularité sur la travée 7, qui compte 5 câbles extérieurs de chaque côté de l'axe de l'ouvrage au lieu de 6 :

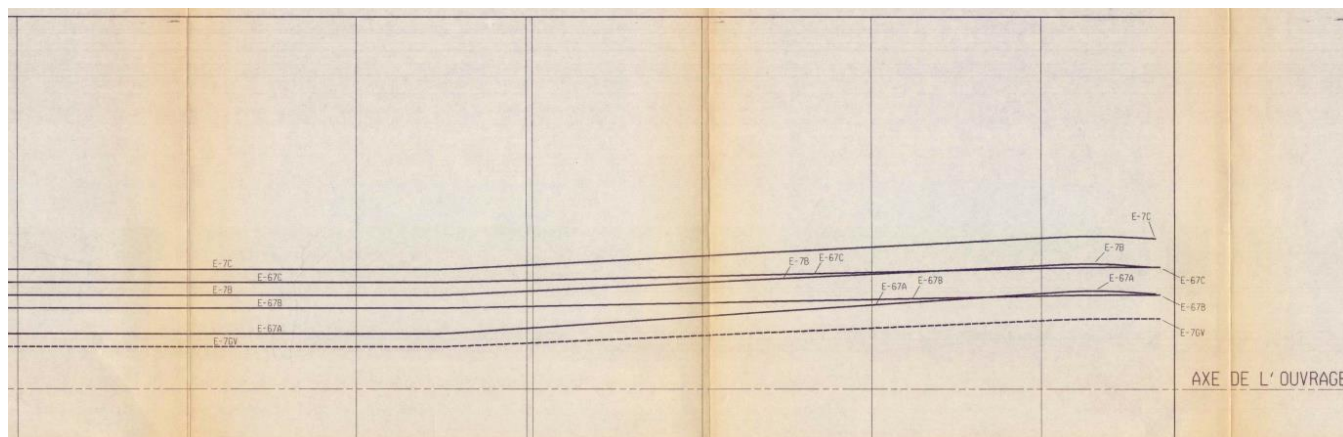


Figure 11 : Extrait de la vue en plan des câbles extérieurs sur la travée 7 - P457

La mise en tension des câbles extérieurs se fait des deux côtés (voir la sortie du calcul électronique de la N420 dans « données ») :

TENSION NOMBRE=12 DATE=75 TENG=4028 TEND=4028 RENG=0.006 REND=0.006

Une précontrainte transversale est également présente dans l'hourdis supérieur au droit des piles. Constituée de 2 x 5 monotorons 1K15 et de 2 câbles 4K15, elle est présentée dans les images suivantes :

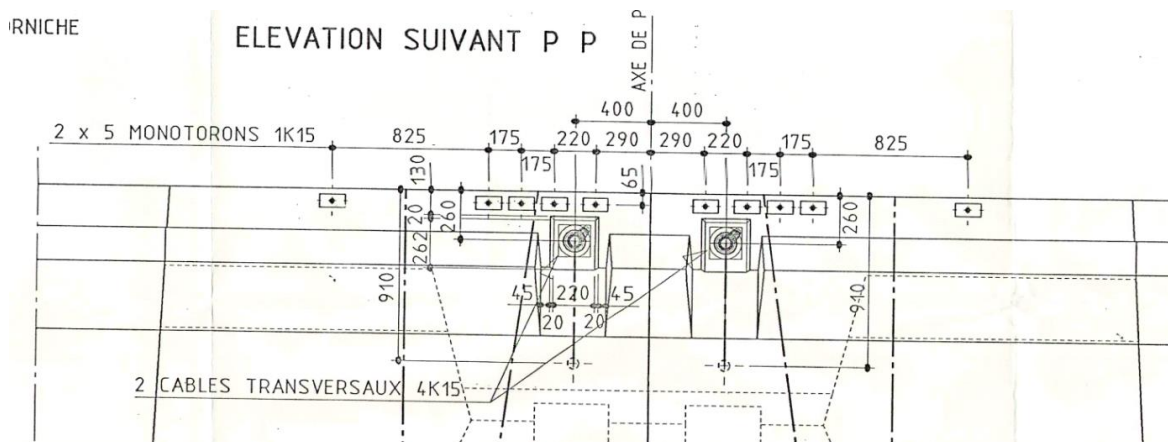


Figure 12 : Précontrainte transversale sur pile : vue latérale (extrait plan P432)

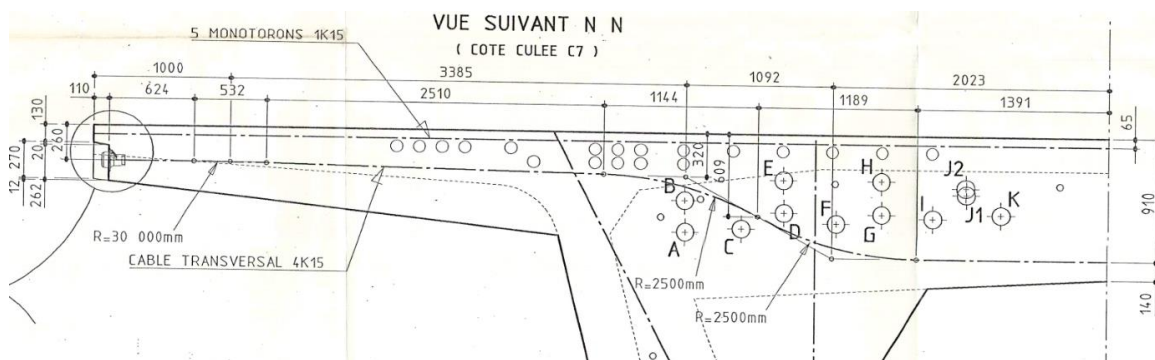


Figure 13 : Précontrainte transversale sur pile : coupe transversale (extrait plan P432)

2.2 Réserve pour la précontrainte additionnelle

Des réservations pour le passage de câbles additionnels de précontrainte extérieure ont été prévues. Les câbles additionnels sont numérotés sur les plans de récolement :

- E-12GV traversant les travées T1 et T2,
- E-34GV traversant les travées T3 et T4,
- E-56GV traversant les travées T5 et T6
- et E-7GV traversant la travée T7.

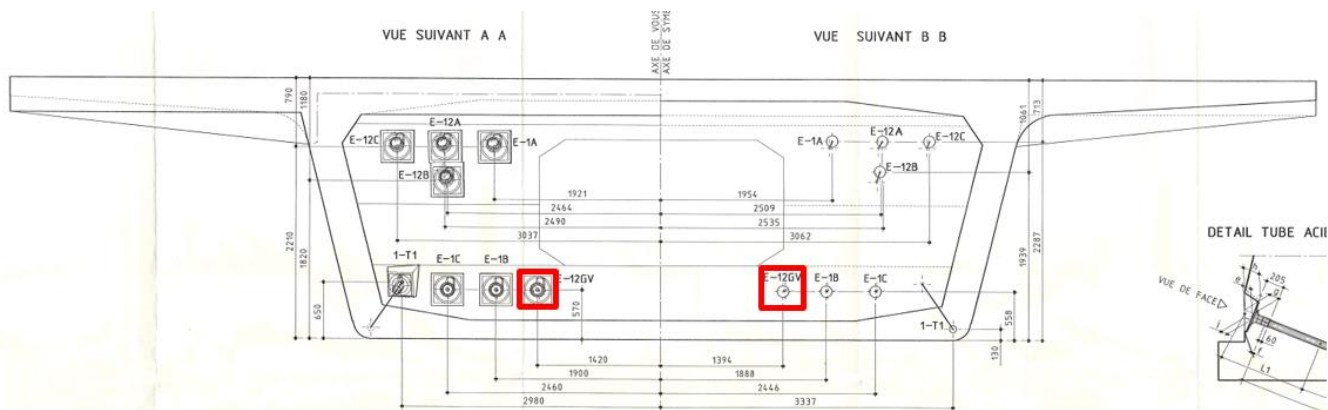


Figure 14 : Emplacement des réservations de câbles

2.3 Géométrie passerelle

2.3.1 Principe général de la passerelle

La conception proposée est une structure constituée d'un platelage isostatique en BFUP précontraint portant longitudinalement sur des consoles métalliques en « L » fixées au droit des nervures de brêlage des voussoirs.

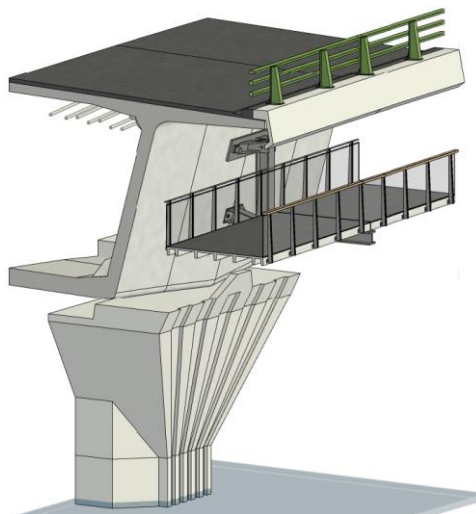


Figure 15 : Extrait cahier de plan – Vue d’une console courante avec platelage

Les platelages d'extrémités, de largeur et géométrie variable sont conçus en charpente métallique.

2.3.2 Contraintes géométriques

La largeur utile de la passerelle doit être de 3.00m mini en tout point.

Pour permettre le passage des véhicules de secours le gabarit a une hauteur de 3.00m mini en tout point.

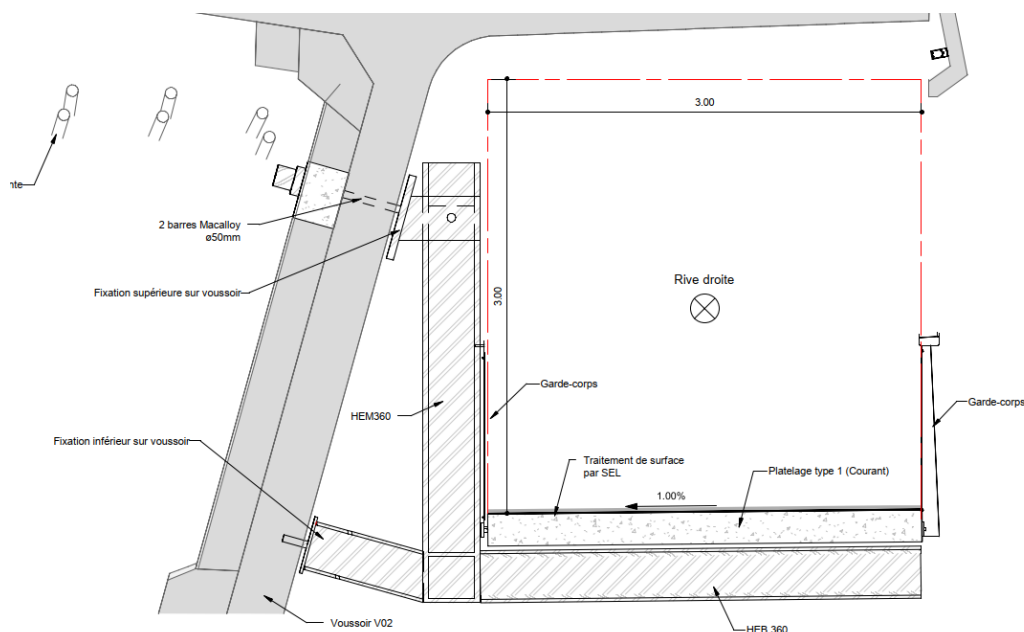


Figure 16 : Extrait du cahier de plans - Représentation du gabarit de circulation (en rouge)

Le calage altimétrique de la passerelle doit également garantir le gabarit des passes navigables :

- Passe 1 : largeur de 10 m, cote altimétrique de +10.85 NGF
- Passe 2 : largeur de 25m, côte altimétrique de +9.67 NGF
- Passe 3 : largeur de 60 m, cote altimétrique de +9.17 NGF

Ces passes sont situées au droit des travées situées entre les piles P2-P3 et P3-P4.

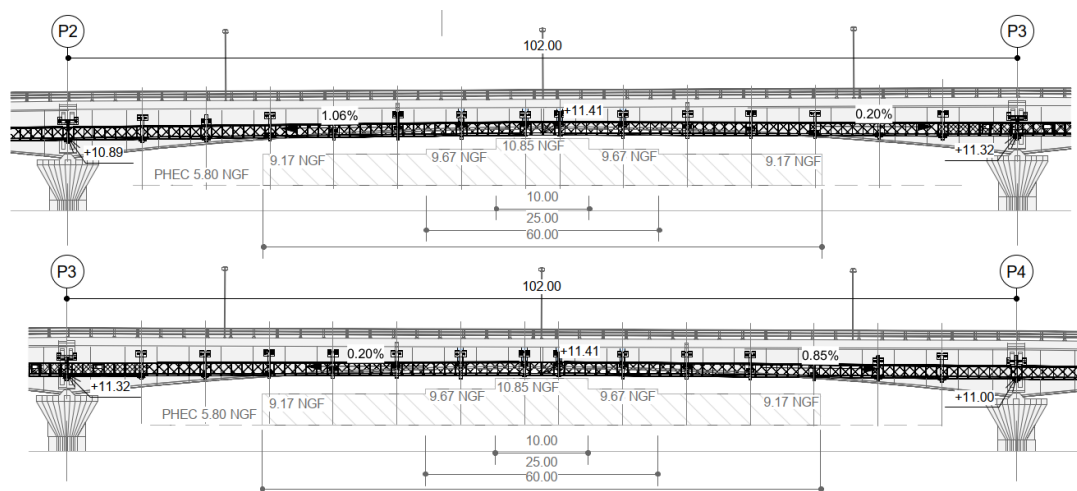


Figure 17 : Extrait cahier de plan - Repérage des passes navigables

2.3.3 Positionnement des consoles

La passerelle sera accrochée contre l'âme amont de l'ouvrage amont du pont François Mitterrand, les consoles sont situées sur les voussoirs suivant : VSP - V2 - V4 - V6 - V8 - V10 - V12 - V14 (dénomination pour une demi-travée).

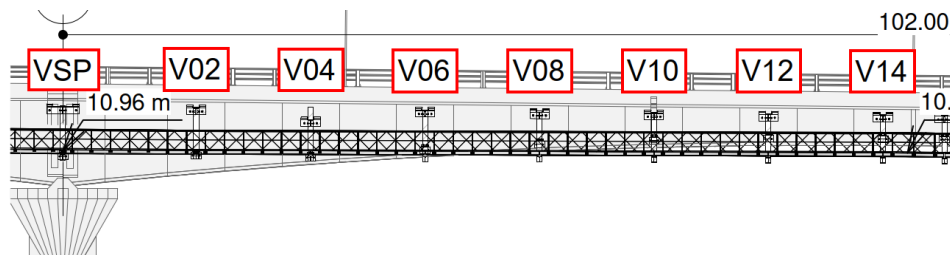


Figure 18: Positionnement des consoles sur une mi-travée courante

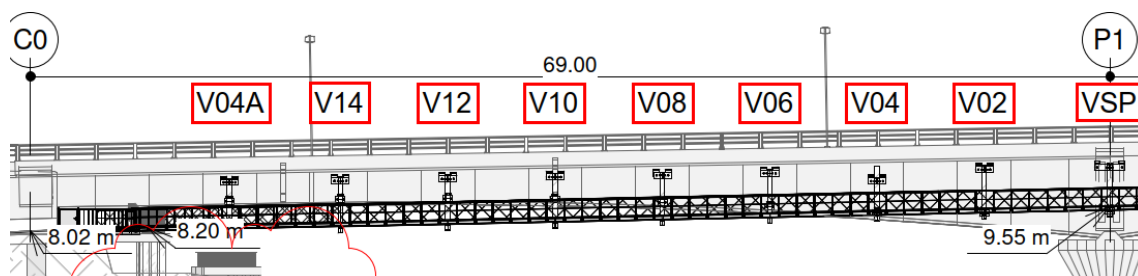


Figure 19: Positionnement des consoles sur travée de rive gauche

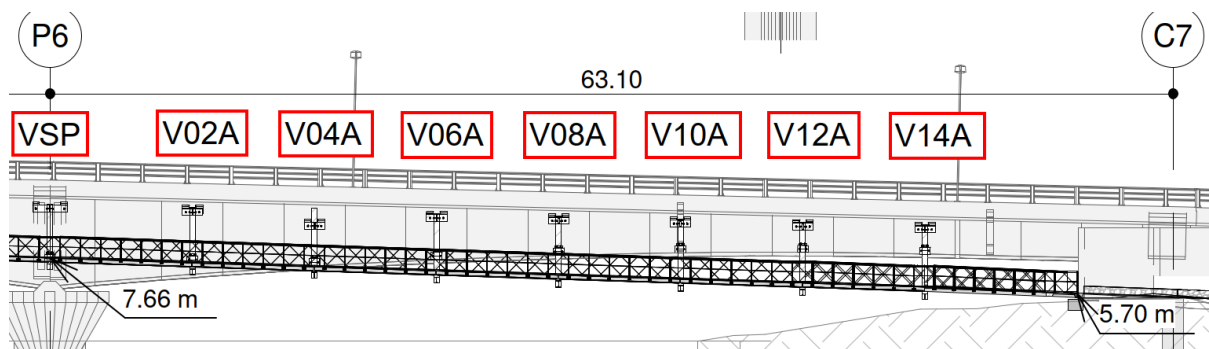
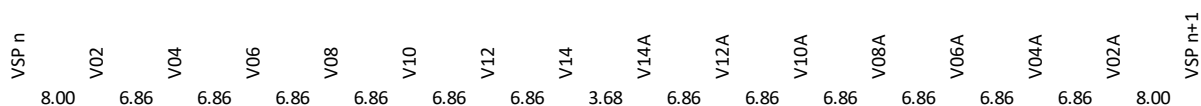


Figure 20: Positionnement des consoles sur travée de rive droite

L'espacement en mètres entre consoles est présenté sur les images suivantes :

Travées courantes :



Travée rive gauche :

C0	V04	V14	V12	V10	V08	V06	V04	V02	VSP1
8.53	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	8.00	

Travée rive droite

VSP6	V02	V04	V06	V08	V10	V12	V14	C7
8.00	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	8.55	

2.3.4 Consoles en charpente métallique

La charpente métallique d'une console « en L » est constituée de deux profilés soudés :

- D'un profilé vertical type profilé du commerce type HE.
- D'un profilé métallique horizontal suivant deux géométries :
 - En général : un profilé horizontal type HE ;
 - Pour les deux consoles situées à la clé des travées P2-P3 et P3-P4, afin de libérer l'espace nécessaire au gabarit fluvial : un profilé PRS.

La console porte deux éléments de platelages appuyés linéairement sur la longueur du profilé horizontal.

On distingue 11 types de consoles métalliques en fonction de la descente de charge appliquée : celle-ci dépend de la géométrie des platelages adjacents à la console, ainsi que de la présence de belvédère au droit de la console.

Conception/Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au PFM

Type	N console	Type	N console
1 nom type courant portée amont 6.86m portée aval 6.86m	59	6 nom type à la clé courante portée amont 6.86 portée aval 3.63	6
2 nom type sur VSP portée amont 8 portée aval 8	4	7 nom type à la clé passe navigable portée amont 6.86 portée aval 3.63	4
3 nom type sur VSP + belvédère portée amont 8 portée aval 8	2	8 type C0 nom coté culée	1
4 type juste nom avant VSP portée amont 6.86 portée aval 8	8	9 type C0 nom coté ouvrage	1
5 type juste nom avant VSP + belvédère portée amont 6.86 portée aval 8	4	10 type C7 nom coté ouvrage	1
		11 type C7 nom coté culée	1
		total	91

Le positionnement de ces types de consoles est donné ce dessous (les types de consoles sont identifiés par leur couleur) :

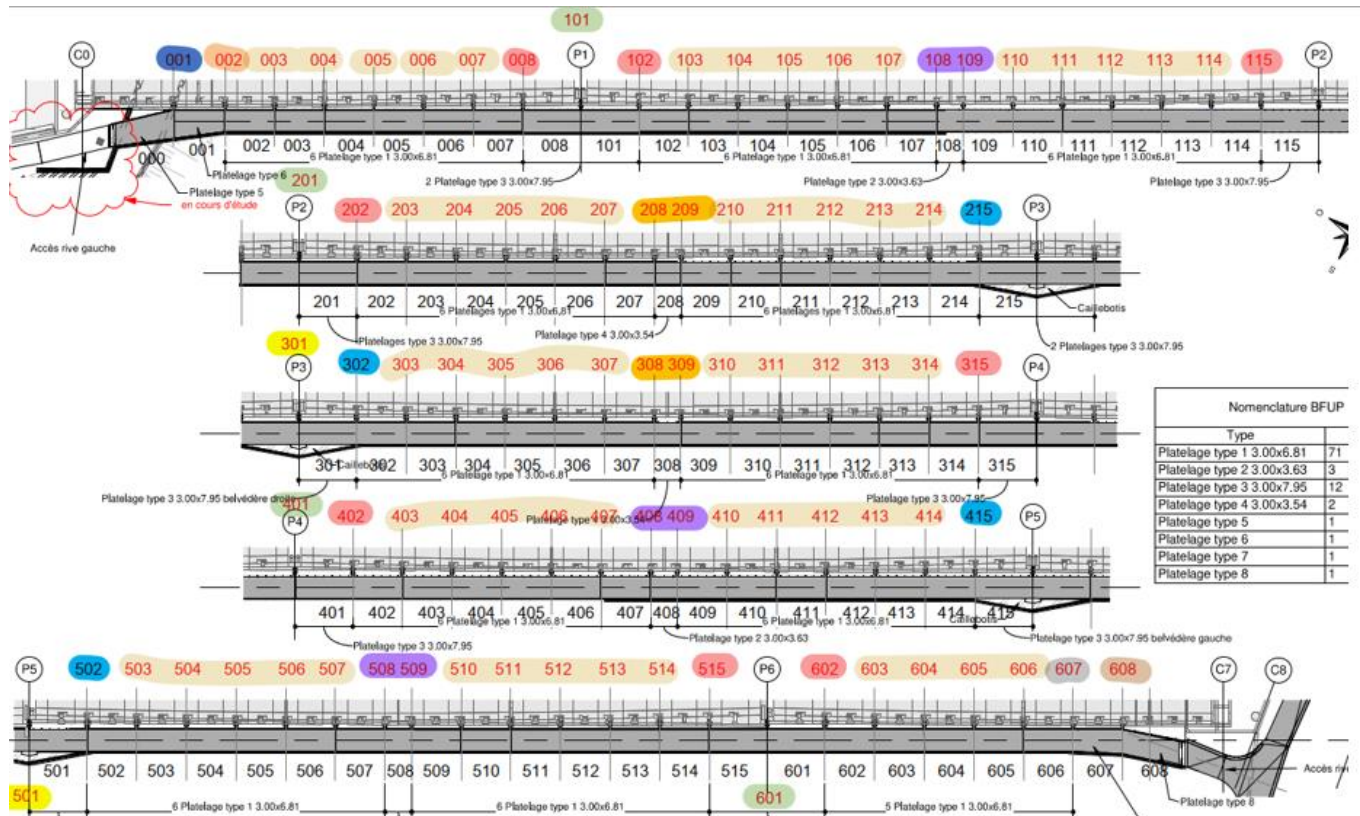


Figure 21 : Numérotation des consoles et attribution d'un type

Au sein d'un même type de console on retrouve des positions d'ancrage différentes suivant la console.

A titre d'exemple, pour une travée courante, le type 1 (« Type courant ») se décline suivant les images suivantes pour trois types de consoles (sur V04, à la console 003 RG, et sur VSP avec belvédère) :

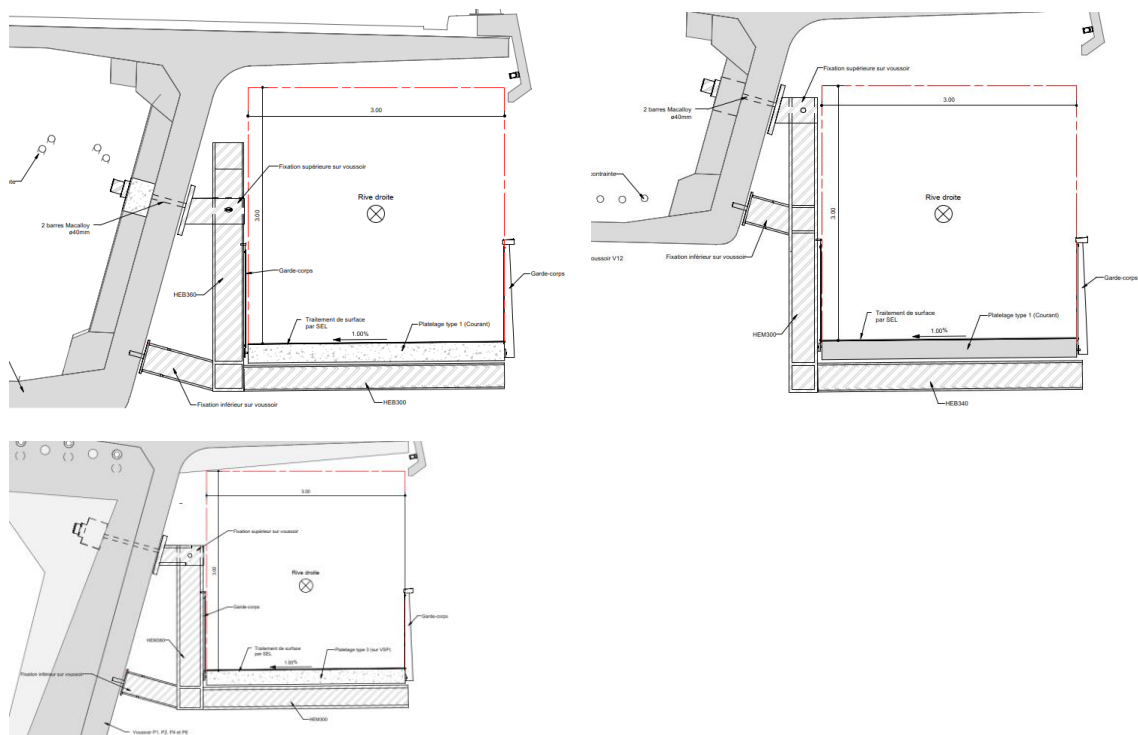


Figure 22 : Consoles type 1 (« courant ») : variations de la position des ancrages V04, à la console 003 RG, et sur VSP avec belvédère)

Les types de console retenus pour l'analyse statique :

Type	Section profilé vertical	Section profilé horizontal
1 - Type courant	HEB 300	HEB 300
2 - Sur VSP courant	HEB 300	HEB 300
3 - Sur VSP (avec belvédère)	HEM 300	HEM 300
4 - Adjacent au VSP courant	HEB 300	HEB 300
5 - Adjacent au VSP (avec belvédère)	HEB 340	HEB 340
6 - VSC hors passe navigable	HEB 300	HEB 300
7 - VSC passe navigable	HEB 300	PRS (voir §Erreur ! Source du renvoi introuvable.)
8 - C0 coté culée	HEM 300	HEM 300
9 - C0 coté ouvrage	HEM 280	HEM 280
10 - C8 coté ouvrage	HEM 280	HEM 280
11 - C8 coté culée	HEM 300	HEM 300

Pour le type 1 de console (« Type courant »), pour mener l'analyse vibratoire, nous avons différentes combinaisons de charpentes et découpés en sous-types 1.1, 1.2, 1.3, 1.4. Ci-dessous une synthèse des aciers retenus en fonction du type de console :

Les types de consoles retenus pour l'analyse vibratoire :

Type	Section profilé vertical	Section profilé horizontal
1.1 - Type courant V10 et V12 en rive gauche	HEM 300	HEB 340
1.2 – Type courant V04, V06, V08, V10, V12	HEB 360	HEB 300
1.3 – Type courant V08 et V10 en rive droite	HEM 360	HEM 360
1.4 – Type courant V12	HEB 360	HEB 340
2 - Sur VSP courant	HEM 360	HEM 300

3 - Sur VSP (avec belvédère)	HEM 400	HEM 400
4 - Adjacent au VSP courant	HEM 360	HEB 360
5 - Adjacent au VSP (avec belvédère)	HEM 360	HEB 360
6 - VSC hors passe navigable	HEB 360	HEB 300
7 - VSC passe navigable	HEB 360	PRS (voir § Erreur ! Source du renvoi introuvable.)
8 - C0 coté culée	HEM 360	HEM 300
9 - C0 coté ouvrage	HEM 360	HEM 300
10 - C8 coté ouvrage	HEM 400	HEM 400
11 - C8 coté culée	HEM 400	HEM 400

2.3.5 Appuis et ancrages

Les appuis de la passerelle sont :

- Un appui supérieur rotulé, constitué d'un élément horizontal ancré dans l'âme du voussoir, et d'un axe permettant de libérer la rotation de la console. L'ancrage dans l'âme du caisson se fait au moyen de barres précontraintes qui seront mises en tension depuis l'intérieur du caisson. Pour permettre une diffusion correcte des efforts, deux bossages en béton seront coulés en place du côté intérieur du caisson, de part et d'autre de la nervure de brêlage. Les barres de précontrainte seront excentrées vers le haut de la platine pour permettre de reprendre le moment transmis à l'âme du fait de l'excentricité de la réaction verticale.

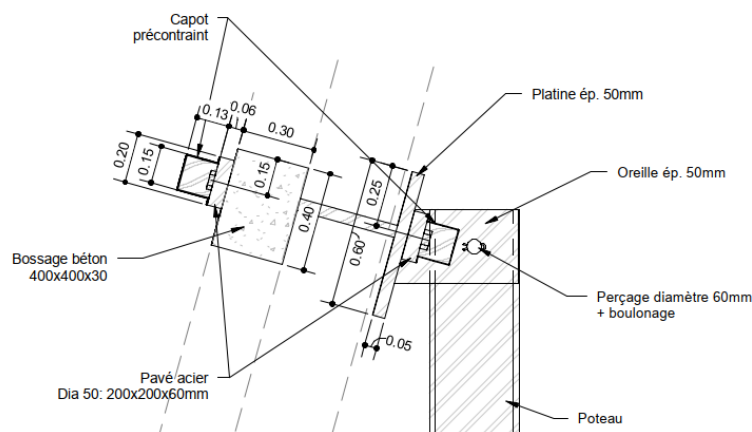


Figure 23 : Extrait cahier de plans – représentation de l'appui supérieur rotulé.

La dimension d'un bossage est de 0.4m x 0.4 m x 0.3m.

La dimension des platines d'ancrages extérieures est 1.2m x 0.4m x 0.04m (b x h x ep.).

La dimension des platines d'ancrages intérieures est 0.2m x 0.2m x 0.06m (b x h x ep.).

- Un appui inférieur simplement appuyé sur l'âme du caisson :

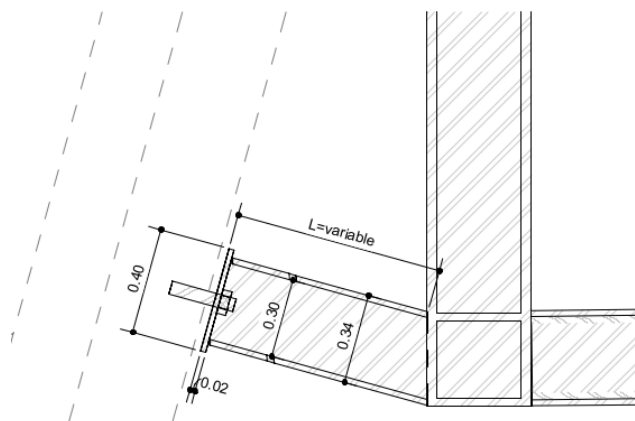


Figure 24 : Extrait cahier de plans : Représentation de principe de l'appui inférieur

2.3.6 Platelage

Le platelage sera constitué d'éléments en BFUP préfabriqués, précontraints par post-tension. La largeur des éléments est la largeur du gabarit de la passerelle, soit 3.00m. Leur portée est la distance qui sépare deux consoles, retranché de 5 cm afin de prévoir un jeu suffisant pour la pose et pour la réalisation de joints entre platelages. 4 longueurs de platelages sont retenues :

- Type 1 (3.00 x 6.81m) : Entre consoles d'espacement 6.86m, de V02 à V14 ;
- Type 2 (3.00 x 3.64m) : Entre consoles d'espacement 3.69m, entre V14 et V14A hors passe navigable ;

Conception/Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au PFM

- Type 3 (3.00 x 7.95m) : Entre consoles d'espacement 8.00m ($3.43/2+3.73+2.55=7.955\text{m}$ sur les plans DOE), entre le VSP et V02 ;
- Type 4 (3.00 x 3.54m) : Entre consoles d'espacement 3.69m, entre V14 et V14A au droit de la passe navigable (P2-P3 et P3-P4).

Les 4 platelages situés aux extrémités de la passerelle sont conçus en dalle orthotrope métallique ou mixte et font l'objet d'une note spécifique.

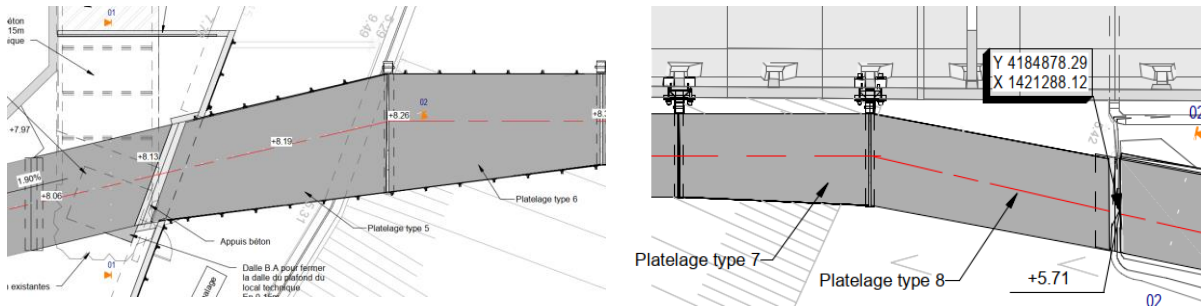


Figure 25 : Extrait cahier de plan – Vue en plan platelage d'extrémités (rive gauche et rive droite)

La surface de belvédère sera réalisée en caillebotis (maille 33x33) sur profilés métalliques HEB180 s'appuyant sur les consoles (Figure 26).

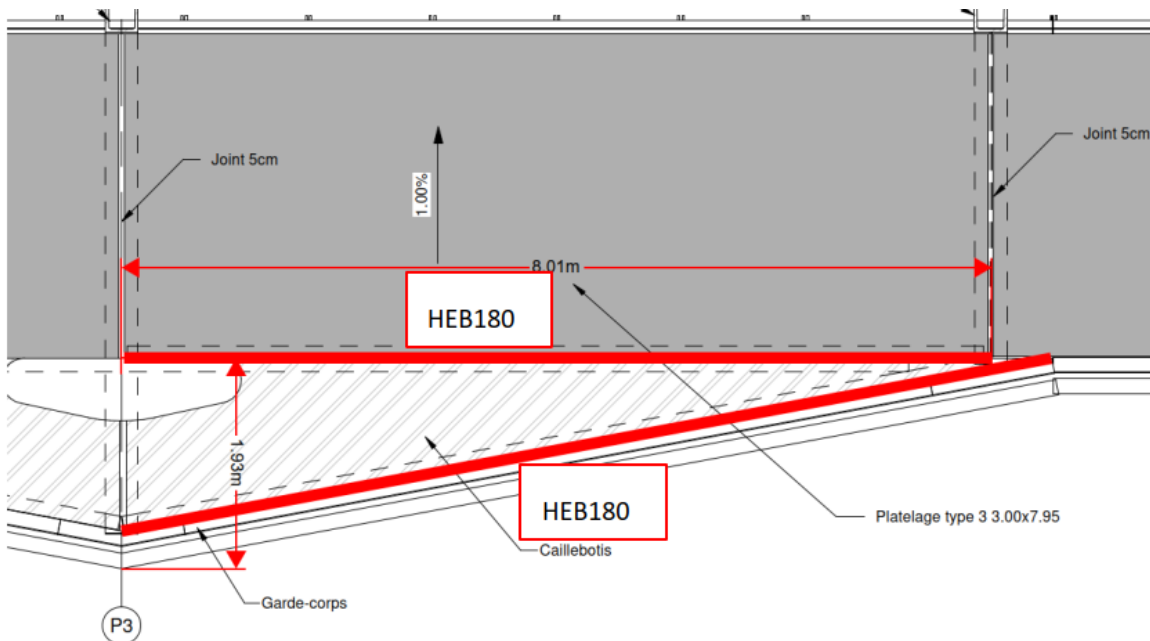


Figure 26 : Extrait cahier de plan – Vue en plan platelage belvédère

2.3.7 Numérotation consoles et platelage

Le tableau ci-dessous synthétise la numérotation des consoles et des platelages avec le type de console associé à chaque console.

Conception/Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au PFM

	N° console	type console	Numéros platelage	
			amont	aval
C0				
Travée 1	001	8	000	001
	002	9	001	002
	003	1	002	003
	004	1	003	004
	005	1	004	005
	006	1	005	006
	007	1	006	007
P1	008	4	007	008
Travée 2	101	2	008	101
	102	4	101	102
	103	1	102	103
	104	1	103	104
	105	1	104	105
	106	1	105	106
	107	1	106	107
Travée 3	108	6	107	108
	109	6	108	109
	110	1	109	110
	111	1	110	111
	112	1	111	112
	113	1	112	113
	114	1	113	114
P2	115	4	114	115
Travée 4	201	2	115	201
	202	4	201	202
	203	1	202	203
	204	1	203	204
	205	1	204	205
	206	1	205	206
	207	1	206	207
Travée 5	208	7	207	208
	209	7	208	209
	210	1	209	210
	211	1	210	211
	212	1	211	212
	213	1	212	213
	214	1	213	214
P3	215	5	214	215
Travée 6	301	3	215	301
	302	5	301	302
	303	1	302	303
	304	1	303	304
	305	1	304	305
	306	1	305	306
	307	1	306	307
Travée 7	308	7	307	308
	309	7	308	309
	310	1	309	310
	311	1	310	311
	312	1	311	312
	313	1	312	313
	314	1	313	314
	315	4	314	315

	N° console	type console	Numéros platelage	
			amont	aval
P4	401	2	315	401
Travée 5	402	4	401	402
	403	1	402	403
	404	1	403	404
	405	1	404	405
	406	1	405	406
	407	1	406	407
	408	6	407	408
Travée 6	409	6	408	409
	410	1	409	410
	411	1	410	411
	412	1	411	412
	413	1	412	413
	414	1	413	414
	415	5	414	415
P5	501	3	415	501
Travée 7	502	5	501	502
	503	1	502	503
	504	1	503	504
	505	1	504	505
	506	1	505	506
	507	1	506	507
	508	6	507	508
Travée 8	509	6	508	509
	510	1	509	510
	511	1	510	511
	512	1	511	512
	513	1	512	513
	514	1	513	514
	515	4	514	515
P6	601	2	515	601
Travée 9	602	4	601	602
	603	1	602	603
	604	1	603	604
	605	1	604	605
	606	1	605	606
	607	10	606	607
	608	11	607	608
C7				

3 Hypothèses liées aux matériaux

3.1 Matériaux ouvrage existant

3.1.1 Béton

La classe structurale du béton du pont François Mitterrand est la B35.

Le béton du tablier est en B35 par conséquent :

$$f_{tj} = 35 \text{ MPa} \quad f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{tj} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$E_i = 11000 \sqrt{f_{tj}} \approx 35000 \text{ MPa}$$

Figure 27 : Extrait Note DOE 100 - Hypothèses générales

```
Nom du fichier de donnees ..... : DST$DUA2:[D8100H072.CALPRE]STRUCTURE.DAT;7
Nom du fichier de stockage ..... : DST$DUA2:[D8100H072.CALPRE]TAPE01.TMP;1
Unites ..... : Kilo-Newton et Metre.
Nombre de barres constituant le tablier : 7
Module elastique du beton ..... : 359817.00
Coefficient de POISSON ..... : 0.15
Coeff. de dilatation du beton ..... : 0.10E-04
Densite du beton ..... : 24.52
```

Figure 28: Extrait Note DOE 102 - Flexion longitudinale : calculs préliminaires - descente de charges - Annexe 1

Le rapport d'inspection sur les matériaux effectué en 2022 (cf. [8]) fournit les résultats suivants sur 5 éprouvettes carottées :

Caractéristiques des éprouvettes					Facteurs de correction		Résistances à la compression		Evaluation des résultats	
Ech.	Diamètre Ø (mm)	Hauteur H (mm)	Elance-ment (H / Ø)	Masse (g)	K1	K2	Rc brute (MPa)	Rc corrigée (MPa)	Rapport diamètre/ granulat (2)	Valeur aberrante (3)
Rc-01	99	198	2,00	3809	1,06	1,00	88,9	94,7	Valide	Non
Rc-02	99	198	2,00	3780	1,06	1,00	86,9	92,5	Valide	Non
Rc-03	99	198	2,00	3784	1,06	1,00	81,1	86,4	Valide	Non
Rc-04	99	198	2,00	3780	1,06	1,00	76,4	81,4	Valide	Non
Rc-05	99	198	2,00	3792	1,06	1,00	86,6	92,2	Valide	Non
Moyenne (MPa)								89,4	/	/

Figure 29 : Extrait rapport inspection bétons Sixense 2022

Le rapport propose de retenir la valeur de la résistance caractéristique à la compression du béton en place calculée la plus faible à titre indicatif soit donc $f_{ck,js} = 81,4 \text{ MPa}$.

Malgré à la valeur de résistance sensiblement supérieure identifiée par cette inspection, nous préconisons de prendre en compte la résistance nominale du béton. Les contraintes retenues seront, conformément au règlement d'origine :

- Résistance caractéristique à compression : $f_{cj} = 35 \text{ MPa}$
- Résistance caractéristique à traction : $f_{tj} = 2.7 \text{ MPa}$
- Contrainte limite sous combinaison ELS rare, fréquent, construction : $\sigma_b = 0.9 \cdot 0.6 \cdot f_{cj} = 18.9 \text{ MPa}$
- Contrainte limite sous combinaison ELS quasi-permanentes : $\sigma_b = 0.9 \cdot 0.5 \cdot f_{cj} = 15.8 \text{ MPa}$

Nota : une réduction de 10% sur la limite de compression du béton à l'ELS est appliquée en conformité avec l'article 6.1.21 du BPEL 83, suivant la prise en compte d'une précontrainte probable P_m .

Pour le calcul ELU, suivant le BPEL 83 :

- Raccourcissement ultime du béton : $\varepsilon_{bu} = 3.5\text{‰}$
- Loi de comportement du béton en parabole-rectangle

3.1.2 Acier d'armatures

Type Fe E 400 ; $f_e = 400 \text{ MPa}$ (limite élastique)

A l'ELS rare : $\sigma_s = 240 \text{ MPa}$ (fissuration préjudiciable)

Pour le calcul ELU, suivant le BPEL 83 :

- Contrainte $\sigma_a = f_e / \gamma_s = 400 / 1.15 = 347.8 \text{ MPa}$
- Allongement ultime des aciers passifs : 10‰

Enrobage 3cm, suivant note d'origine :

Calculs des armatures pour la flexion transversale

*Nous faisons le dimensionnement à l'ELS avec fissuration préjudiciable
enrobage = 3cm ; $\sigma_s = 240 \text{ MPa}$*

3.1.3 Précontrainte existante

Les câbles existants sont des torons T15 super de 150 mm² de section, de classe 1770 TBR et les ancrages sont de type Freyssinet.

Les caractéristiques mécaniques de la précontrainte sont reprises de la note d'hypothèses de conception (N100).

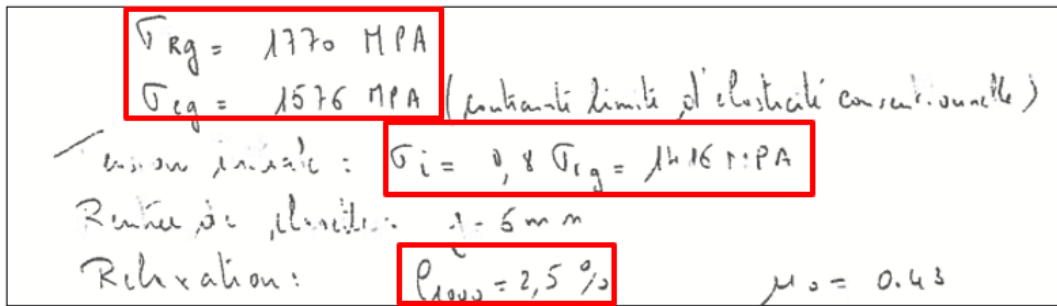


Figure 30 : Paramètres des câbles existants – N100 p.2

Le coefficient de frottement pour les câbles intérieurs sont repris de la note N100 :

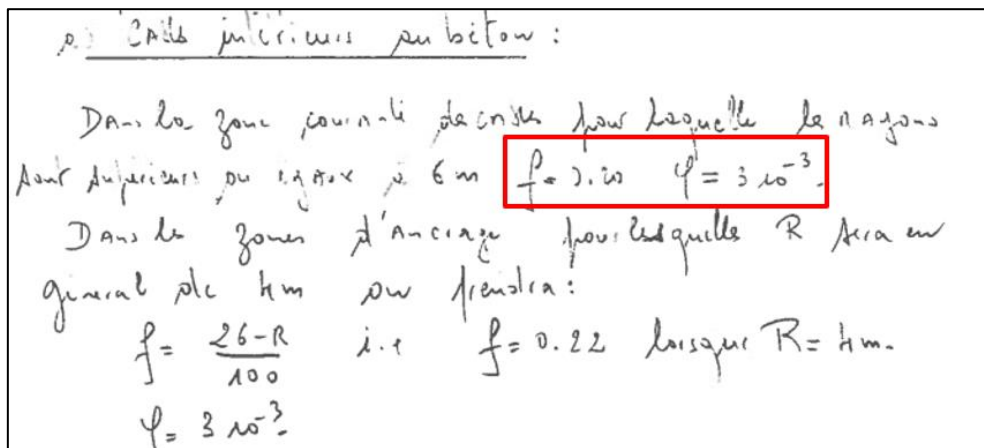


Figure 31 : Coefficients de frottement en angulaire et en ligne pour les câbles intérieurs

Pour les câbles intérieurs nous proposons de retenir un coefficient de frottement en ligne $\phi = f \cdot k = 0.20 \cdot 0.007 = 0.0014 \text{ m}^{-1}$ au lieu de 0.003 m^{-1} , conformément à la nature du procédé.

– $\mu = \frac{\sigma_{pmi}(x)}{f_{prg}}$ où $\sigma_{pmi}(x)$ est égale à $\sigma_{pi}(x)$, tension initiale de l'armature, dans le cas de la post-tension, et à la tension à l'origine diminuée des pertes à la mise en tension (article 3.4.11 du Règlement) dans le cas de la pré-tension

$$\begin{aligned}
 k_1 &= 6 \times 10^{-3} \text{ si } \rho_{1000} \leq 2,5 \\
 &= 8 \times 10^{-3} \text{ si } \rho_{1000} > 2,5
 \end{aligned}$$

Figure 32 : Coefficient k associé au coefficient de frottement en ligne - extrait du BPEL annexe 2

Pour les câbles extérieurs, le coefficient de frottement en courbe est de 0.20 rad^{-1} dans la N100.

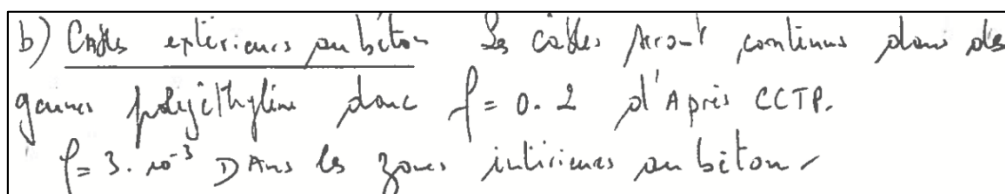


Figure 33 : Coefficients de frottement en angulaire et en ligne pour les câbles extérieurs

D'après l'agrément technique ATE 06-0226 de 2018 de Freyssinet, le coefficient de frottement en courbe se situe plutôt entre $f=0.10 \text{ rad}^{-1}$ et 0.12 rad^{-1} . Nous retenons un coefficient de frottement en courbe $f=0.11 \text{ rad}^{-1}$ au lieu

de 0.20 rad^{-1} , conformément à l'ATE n°06/0226. Cette valeur traduit une réalité physique : un toron clair dans une gaine PEHD frotte beaucoup moins qu'un toron clair dans une gaine feuillard en acier.

Use	Duct Type	Friction Coefficient $\mu \text{ (rad}^{-1}\text{)}$		Wobble factor k (rad/m)
		Lubricated Strand	Unlubricated Strand	
Internal Prestressing	Corrugated steel sheath	0,17	0,19 ¹	0,007 ¹
	LFC ³ Corrugated steel sheath	0,10	0,12	0,007 ¹
	Corrugated plastic sheath	0,10	0,12	0,007 ¹
External Prestressing	Steel pipe	0,16	0,24	0,007 ¹
	HDPE pipe	0,10	0,12	0
	Steel pipe	0,16	0,24	0

Figure 34 : Coefficient de frottement des câbles existants revu (extrait ATE Freyssinet)



Figure 35 : Exemple câble extérieur PEHD



Figure 36 : Exemple gaine feuillard pour câble intérieur (rainures en spirale)

Également, ont été pris en compte les défauts relevés dans les câbles suite à la rupture de torons et identifiés par les investigations conduites sur l'ouvrage (cf. [5] et [7]). D'après le rapport d'analyse du Cerema de 2021 et des deux visites spécifiques de la DIRA de 2018 et 2019, les câbles dégradés sont les suivants :

- Rupture d'un toron (survenue à la construction) du câble E12A de la ligne amont sur les travées 1 et 2 (section de $18 \times 150 = 2700 \text{ mm}^2$ retenue au lieu de 2850 mm^2),
- Rupture de 3 torons (survenue à la construction) du câble E23C de la ligne avale sur les travées 2 et 3 (section de $16 \times 150 = 2400 \text{ mm}^2$ retenue au lieu de 2850 mm^2),
- Hypothèse de 3 torons endommagés sur le câble E34C sur les travées 3 et 4 (section de $16 \times 150 = 2400 \text{ mm}^2$ retenue au lieu de 2850 mm^2).

Finalement, l'ensemble des caractéristiques des câbles existants sont intégrés dans le modèle de calcul de flexion longitudinale réalisé sous le logiciel interne Pythagore comme présenté ci-dessous :

```

** PR
* cable 12K15S- cables intérieurs
TY 1 RG 1770000 EG 1576000 TI 1416000 MO 195000000 SE 1.8E-03 S
FR 0.20 LI 0.20*0.007 GL 0.006 RI 2.5 GA 0.12

* cable 19K15S - cables extérieurs
TY 2 RG 1770000 EG 1576000 TI 1416000 MO 195000000 SE 2.85E-03 S
FR 0.11 LI 0.000 GL 0.006 RI 2.5 GA 0.12

* cable E12A ligne amont 18K15S - cables extérieurs
TY 3 RG 1770000 EG 1576000 TI 1416000 MO 195000000 SE 2.70E-03 S
FR 0.11 LI 0.000 GL 0.006 RI 2.5 GA 0.12

* cable E23C/E34C ligne amont 16K15S - cables extérieurs
TY 4 RG 1770000 EG 1576000 TI 1416000 MO 195000000 SE 2.40E-03 S
FR 0.11 LI 0.000 GL 0.006 RI 2.5 GA 0.12

```

Figure 37 : Synthèse des caractéristiques géométriques des câbles existants dans Pythagore

Le calcul est mené sur la base de la valeur probable de la précontrainte :

1. Contraintes dans le béton en flexion longitudinale aux ELS

L'ouvrage étant réalisé en poutres préfabriquées, aucune contrainte de traction n'est sollicitée.

Pour les contraintes de compression, les calculs étant faits pour la valeur probable de la précontrainte on a :

Figure 38: Extrait Note DOE 100 - hypothèses générales

3.1.4 Précontrainte additionnelle

Nous préconisons des câbles de 19T15S classe 1860. Ces câbles sont mis en tension à 35 ans de vie de l'ouvrage existant.

3.1.4.1 Câbles 19T15S

La précontrainte additionnelle retenue est du 19T15S de 150 mm² de section par toron. Les caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

Item	Donnée	Référence	
		Document	Article
Désignation Précontrainte:	Extérieure		
Type de protection :	Cire pétrolière	CCTP	
N° ETE:	07/0168		
Unités de précontrainte	19 T15,7		
section du câble (A _p)	2850 mm²		
Type d'armatures	T15,7-1860MPa-TBR huilé	Pr EN10138-3	
section du toron	150 mm ²		
F _{pk}	279 kN		
F _{0,1}	246 kN		
Module Elasticité (E)	195 GPa		
Désignation BBR du câble	CME BT 1906-150 1860		

* cable 19K15S - cables extérieurs additionnels
 TY 5 RG 1860000 TI 1488000 MO 195000000 SE 2.85E-03 S
 FR 0.11 LI 0.000 GL 0.006 RI 2.5 GA 0.066

Figure 39 : Synthèse des caractéristiques des 19T15S dans Pythagore

L'ouvrage a été vérifié avec la mise en tension des câbles de précontrainte additionnels par ancrage actif-passif.

Nous considérons $r_{inf} = r_{sup} = 1$.

3.1.5 Tissus carbone (PRFC)

Un renforcement en tissu de carbone type SikaWrap sera employé pour reprendre un déficit de ferrailage passif de cisaillement et de flexion transversale de certains voussoirs concernés par les consoles d'ancrage de la passerelle, sur la face externe de l'âme amont du voussoir.

Tableau 1 : Propriétés des tissus SikaWrap

	SikaWrap 300 C	SikaWrap 230 C	SikaWrap 600 C
Grammage [g/m ²]	300	230	600
Épaisseur des tissus t _f [mm]	0,167	0,13	0,33
Masse volumique [g/cm ³]	1,8	1,8	1,8
Largeur [mm]	100	300, 600	300
Longueur [m]	Rouleau 50 m	Rouleau 50 m	Rouleau 50 m
Résistances des fibres sèches [MPa]	4000	4000	3800

Figure 40: Tissu en carbone SikaWrap - caractéristiques mécaniques principales

3.2 Matériaux passerelle

3.2.1 Charpente métallique

L'acier de la charpente métallique (consoles, platines d'ancrage et platelages métalliques) :

- Sera conforme aux normes de la série NF EN 10025-2, 3 et 4 (Produits laminés à chaud en aciers de construction) ;
- Disposera d'un marquage NF-acier ;
- Sera de nuance S355.

L'axe de la rotule de fixation des consoles métalliques sera réalisé en acier 42CD4. Il s'agit d'un acier :

- à haute résistance mécanique et à haute ténacité en état trempé et revenu ;
- très dur faiblement allié au chrome-molybdène ;
- couramment employé en mécanique, notamment pour des axes, compte tenu de sa très haute limite élastique ;
- Avec les caractéristiques mécaniques suivantes :
 - fu : 750 MPa
 - fy : 500 MPa

3.2.2 BFUP

Nous employons un BFUP de la gamme BSI® d'AEVIA.

Les caractéristiques mécaniques issues de la carte d'identité du BSI® sont résumées ci-après :

Propriétés		BSI®
Masse volumique [kg/m³]	ρ	2550
Résistance moyenne à la compression sur cylindre [MPa]	$f_{cm,cyl}$	140
Résistance caractéristique à la compression sur cylindre [MPa]	$f_{ck,cyl}$	130
Valeur moyenne de la résistance post-fissuration [MPa]	f_{ctfm}	10,0
Valeur caractéristique de la résistance post-fissuration [MPa]	f_{ctfk}	8,0
Valeur moyenne de la limite d'élasticité en traction [MPa]	$f_{ctm,el}$	8,0
Valeur caractéristique de la limite d'élasticité en traction [MPa]	$f_{ctk,el}$	7,0
Classe de comportement en traction	T	T2

Propriétés		BSI®
Module d'Young moyen [GPa]	E_{cm}	50,0
Coefficient de fluage	$\varphi(\infty, t_0)$	$\varphi = 1,0$ pour $t_0 = 1$ j
Coefficient de Poisson	ν	0,2
Retrait total [$\mu\text{m/m}$]	ϵ_{cs}	450
Retrait endogène [$\mu\text{m/m}$]	ϵ_{ca}	350
Retrait dessiccation [$\mu\text{m/m}$]	ϵ_{cd}	100
Coefficient dilatation thermique [$\mu\text{m/m}/^\circ\text{C}$]	α	13,0

Figure 41: BSI® AEVIA : caractéristiques mécaniques principales

Loi de comportement caractéristique en traction

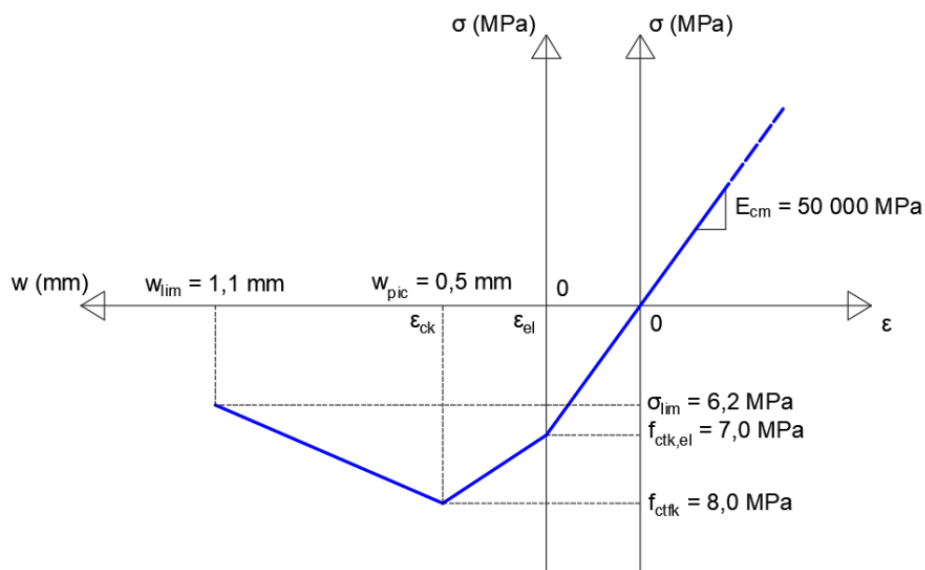


Figure 42: BSI® AEVIA : loi de comportement en traction

Le coefficient théorique d'orientation des fibres retenu pour la justification du platelage sera conforme à la norme NF P 18-710 :

- Effets globaux $K_{Global} = 1.25$
- Effets locaux $K_{Local} = 1.75$

3.2.3 Béton

Les bossages d'appui pour les ancrages d'appuis de la passerelle seront réalisés en béton de classe structurale C35/45.

Les ouvrages en béton des appuis aux extrémité de la passerelle, enterrés ou à l'air libre seront réalisés en béton de classe structurale C30/37.

3.2.4 Câble de précontrainte post-tendus du platelage

Il s'agit ici des câbles de précontrainte utilisés pour les éléments de platelage en BFUP précontraint par post-tension.

- Procédé : BBR VT CONA CMM Système de post-tension mono-toron
- Torons T15S : 150 mm²
- Torons gainés graissés, noyé dans le BFUP (non adhérents)
- Résistance garantie à la rupture : $f_{pk} = 1\,860$ MPa
- Contrainte de mise en tension : 1488 MPa
- Valeurs caractéristiques de la précontrainte pour calcul à l'Etat Limite de Service et à l'Etat Limite Ultime de fatigue : $r_{sup} = 1.05$ et $r_{inf} = 0.95$ (art. 5.10.9(1) NF EN 1992-1-1/NA).
- Module d'Young 195 GPa
- Recul d'ancrage : 6mm
- Déviation angulaire parasite (par unité de longueur) : $k = 0.005$ rad/m
- Coefficient de frottement $\mu = 0.12$ rad⁻¹
- Longueur de scellement : 0.50 m
- Coefficient de relaxation à 1000 h : 2.5 %

La mise en tension des torons se fera par ancrage actif-passif.

3.2.5 Acier d'armatures

Suivant la norme NF EN 1992-1-1 : acier à haute adhérence B500B : $f_{yk} = 500$ MPa

3.2.6 Barres précontraintes

L'ancrage des consoles sera rendu possible par des barres de précontrainte type Macalloy ou équivalent.

Le diamètre retenu pour les barres est 36 à 50mm.

Les caractéristiques sont fournies par la suite (ETE procédé Macalloy) :

Diameter mm	25	26.5	32	36	40	50*
Characteristic value of maximum force kN	506	569	828	1049	1295	2022
Maximum prestress force	405	454	662	834	1035	1618

* prEN 10138-4-Y-1030-H-50,0-R only (ribbed)

Table 2 Tendon properties

- Perte aux ancrages : 0.7mm
- Déviation angulaire parasite (par unité de longueur) : $k =$ entre 0.005rad/m et 0.01 rad/m
- Module de Young : 170 GPa

Pour la justification des barres de précontrainte, nous considérons un coefficient de frottement de Coulomb au contact métal/béton égal à $\mu=0.4$ conformément à la norme (NF P95-104).

4 Durabilité

4.1 Critères de durabilité pour le platelage BFUP

4.1.1 Classe d'exposition

La passerelle se trouve sur la commune de Bègles et Bouliac, en zone de gel faible ou modéré.

Nous considérons que les éléments de la passerelle ne sont pas soumis aux projections d'agents déverglaçant.

La classe d'exposition des ouvrages du platelage en BFUP est XC4 / XF1.

4.1.2 Enrobage d'armatures de béton armé

Tableau 4.202 — Valeurs de l'enrobage minimal $c_{min,dur}$ requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de béton armé conformes à l'EN 10080

Exigence environnementale pour $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe structurale	Classe d'exposition suivant le Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	-	5	5	10	10	15	15
S2		5	10	10	15	15	20
S3		5	10	15	15	20	20
S4		10	15	15	20	20	20
S5		10	15	20	20	20	25
S6		15	20	20	20	25	25

NF P18-710 – armatures passives

Enrobage $C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev} = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$

La valeur de ΔC_{dev} pourra être réduite à 0 mm à condition de la mise en place d'un contrôle renforcé sur l'enrobage des aciers passifs en usine de préfabrication, avec procédure détaillée dans le PAQ de l'usine de préfabrication pour l'opération en objet. Dans ce cas l'enrobage nominal retenu $c_{nom} = 20 \text{ mm}$.

4.1.3 Enrobage de câbles de précontrainte platelage

Tableau 4.203 — Valeurs de l'enrobage minimal $c_{min,dur}$ requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de précontrainte

Exigence environnementale pour $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe structurale	Classe d'exposition suivant le Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	-	5	10	15	15	20	20
S2		10	15	15	20	20	20
S3		10	15	20	20	20	25
S4		15	20	20	20	25	25
S5		15	20	20	25	25	30
S6		20	20	25	25	30	30

NF P18-710 – précontrainte

Nous considérons une valeur de ΔC_{dev} réduite à 0 mm par la mise en place d'un contrôle renforcé sur l'enrobage des gaines des monotorons en usine de préfabrication, avec procédure détaillée dans le PAQ de l'usine de préfabrication pour l'opération en objet.

Enrobage $C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev} = 25 + 0 = 25 \text{ mm}$

4.1.4 Limite d'ouverture de fissure du BFUP

Tableau 7.201 — Valeurs recommandées de w_{max} (en mm)				
Classe d'exposition	Eléments en BFUP armé et éléments en BFUP précontraint à armatures non adhérentes	Eléments en BFUP précontraint à armatures adhérentes	Eléments en BFUP non armé et non précontraint	
			Combinaison caractéristique des charges	Combinaison fréquente des charges
X0, XC1	0,3	0,2	0,3	0,3
XC2, XC3, XC4	0,2	0,1	0,2	0,1
XD1, XD2, XD3 XS1, XS2, XS3	0,1	Limitation traction à $2/3 \cdot \min(f_{ctm,el}, f_{ctm}/K_{global})$	0,1	0,05

NF P18-710

4.2 Critères de durabilité pour les bétons courants

La classe d'exposition des ouvrages en béton est la suivante :

- Bossage d'appui à l'intérieur du caisson : XC4 / XF1.
- Ouvrages d'appui et fondation :
 - o Parties à l'air libre : XC4 / XF1.
 - o Parties enterrées : XC2.

La classe structurale de des bétons utilisés selon le tableau 4.3NF de la NF EN 1992-1-1/NA est S5.

$$c_{nom} = \max(c_{min}, c_{nom,mini,soi}) + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0; \Delta c_{dur,st} = 0; \Delta c_{duu,add} = 0$$

$$c_{min,b} = \max(\emptyset \text{ barre}, \emptyset \text{ granulats}). \text{ On suppose que } \emptyset \text{ barre et } \emptyset \text{ granulats sont inférieurs à 25 mm.}$$

On déduit les valeurs de $c_{min,dur}$ selon le tableau 4.4N de la NF EL 1992-1-1.

Tableau 4.4N : Valeurs de l'enrobage minimal $c_{min,dur}$ requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de béton armé conformes à l'EN 10080

Classe Structurale	Exigence environnementale pour $c_{min,dur}$ (mm)						
	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Figure 43 : Tableau des valeurs de $c_{min,dur}$ (NF EN 1992-1-1)

	C _{nom,mini,sol}	C _{min,dur}	ΔC _{dev}	C _{nom}
Bossage à l'intérieur du caisson	0 mm	35 mm	10 mm	45 mm
Parties à l'air libre des ouvrages d'appuis et fondations	0 mm	35 mm	10 mm	45 mm
Parties enterrées des ouvrages d'appuis et fondations	30 mm	30 mm	10 mm	40 mm

5 Hypothèses liées aux actions

5.1 Charges permanentes

5.1.1 Charges permanentes de l'ouvrage existant

Le poids volumique du béton est retenu égal à $\gamma = 24.525 \text{ kN/m}^3$.

Ci-dessous un récapitulatif des poids supplémentaires associés aux géométries de bossages des voussoirs particuliers :

Poids propre supplémentaire pour le tablier (Récapitulatif)			
1. VSP voiles...	$34.9 \times 2.5 \times 9.81 = 856 \text{ kN}$	Concentré sur VSP	
2. Deniveau	$3.958 \times 2.5 \times 9.81 = 97 \text{ kN}$	concentré sur V1	
	$451 \times 2.5 \times 9.81 = 111 \text{ kN}$	concentré sur V10	
3. Bossage	$0.358 \times 2.5 \times 9.81 = 8.78 \text{ kN/ml}$	répartie - fleau	
	$0.315 \times 2.5 \times 9.81 = 7.73 \text{ kN/ml}$	répartie 1ère ; 2ème travée	
4. VSC	$2.7 \times 2.5 \times 9.81 = 662 \text{ kN}$		
5. précontrainte	$4.299 \times 12 \times \frac{0.1^2 \pi}{4} \times 9.81 = 3.97 \text{ kN/ml}$		

Figure 44 : Récapitulatif des poids additionnels des voussoirs - N101

Le récapitulatif des poids de superstructures est repris de la note N101 p.16 :

<u>Récapitulatif des poids de superstructures</u>		
	$Q_{1\text{maxi}}$	$Q_{2\text{mini}}$
(1) poids de la chape + de la chaussée	55,4 kN/m	36,9 kN/m
(2) corniche (i) charge uniforme de long de l'ouvrage	7,82 kN/m	7,82 kN/m
(ii) supplémentaire		
a) plot candélabre	5,5 kN/m sur 0,65m @ 20,4m	
b) plot portique	44 kN/m sur 1,3m au droit des piles	
(3) BN4	0,7 kN/m	0,7 kN/m
(4) BN2	6 kN/m	6 kN/m
(5) Conduite d'eau $\phi 400 + \phi 600$ (623 + 275) = 898 kg/m	8,81 kN/m	0
(6) Bordures $0,11 \times 0,2 \times 2,5 \times 9,81 \times 2$	1,08 kN/m	1,08 kN/m
(7) Caillabots $15 \text{ kg/m}^2 \times 0,6/2 \times 9,81 \times 10^{-3}$	0,044 kN/m	0,044 kN/m
(8) Candélabre 200kg	1,96 kN @ 20,4 m	
(9) portiques 3,4t	33,4 kN sur pile	
	<u>79,85 kN/m</u>	<u>52,54 kN/m</u>

Figure 45 : Récapitulatif des charges de superstructures - N101

En particulier le poids de l'étanchéité et chaussée est ainsi détaillé :

(IV) SUPERSTRUCTURE

{ chape d'étanchéité (3cm)
{ épaisseur de chaussée (8 à 11cm)

(1) poids de la chape + chaussée

maxi	$0,336 \times 9,81 \times 14 \times 1,2 = 55,38 \text{ kN/ml}$
mini	$0,336 \times 9,81 \times 14 \times 0,8 = 36,92 \text{ kN/ml}$

Figure 46 : Détail du poids d'étanchéité et enrobé - N101

Un rapport d'inspection d'ouvrage a été réalisé par Sixense en 2022, portant aussi sur les épaisseurs de chaussée, qui ont été mesurées tout au long de l'ouvrage pour les 4 voies de circulation. Ces mesures relèvent une épaisseur moyenne de matériaux bitumineux de 13,2 cm, avec une épaisseur minimale de 9,5 cm et maximale de 19,0 cm, les valeurs ont une précision de +/-10%.

			Profondeur du toit béton (cm) - Tolérance +/- 10%				
N°	Voie	Profil	Min.	Max.	Moy.	Nbre	E.T.
1	S1 - Voie d'entre.	Axe	9.5	15.5	11.6	16068	1.16
2	Sens 1 - VL	Axe	10.5	16.5	13.2	16077	1.06
3	Sens 1 - VM	Axe	11.0	19.0	14.4	16079	1.11
4	Sens 1 - VR	Axe	10.5	17.5	13.4	16067	1.04
Statistiques Générales			9.5	19.0	13.2	64291	1.48

Figure 47 : Synthèse des mesures d'épaisseur du revêtement de chaussée - extrait du rapport d'inspection Sixense 2022

Ceci donne notamment en poids linéique (pour une masse volumique d'enrobé/étanchéité de 2.4 t/m3 et une largeur de chaussée de 14 m) :

G max conception	$(0.011+0.03)*2.4*9.81*14*1.2= 55.4 \text{ kN/m}$
G réel min	$0.095*2.4*9.81*14= 31.3 \text{ kN/m}$
G réel moyen	$0.132*2.4*9.81*14= 43.5 \text{ kN/m}$
G réel max	$0.190*2.4*9.81*14= 62.6 \text{ kN/m}$

D'après les mesures, l'épaisseur max est localisée sur quelques mètres au droit de la voie médiane à la clé de la travée P5-P6, ainsi la valeur de 19.0cm d'épaisseur de chaussée est très peu représentative de la distribution des épaisseurs sur l'ouvrage. Hormis cette valeur localisée, la moyenne des valeurs maximale sur les 4 voies est égale à $(15.5+16.5+17.8 \text{ (valeur max sur voie médiane, hors mesure de 19.0cm)} +17.5)/4= 16.8\text{cm}$, soit une charge réelle maximale de $0.168*2.4*9.81*14= 55.4 \text{ kN/m}$, ce qui correspond à la valeur de Gmax retenue à la conception.



Figure 48 : Relevé des épaisseurs de chaussée - rapport d'inspection Sixense 2022

Nous proposons de conserver la charge permanente de chaussée maximale G_{max} de la note de conception qui est égale à la moyenne des valeurs maximale pour les 4 voies, hors valeur pic à la clé de P5-P6 de la voie médiane.

5.1.2 Charges permanentes passerelle

Poids propre de la structure et des superstructures (G) ainsi que leur pondération :

		Cmin	Cmax	Source
Charpente	78.5 kN/m3	1.1		Hypothèse

Platelage BFUP	25.5 kN/m3	1.1		Hypothèse
Béton armé	25.0 kN/m3	1.1		Hypothèse
Revêtement (enrobé bitumineux ép. 4cm)	24.0 kN/m3	0.8	1.4	EC1-1-1, §5.2.3
Revêtement (S.E.L. type B ép. 0.5cm)	env. 10 kg/m2	0.8	1.4	EC1-1-1, §5.2.3
Garde-corps	0.50 kN/ml/rive	1.2		Hypothèse
Caillebotis	1.2 kN/m2	1.1		Hypothèse

Les charges de belvédères sont réparties sur les consoles de type 3 et 5 comme suit :

- 2/3 des charges sont appliquées à la console de type 3
- 1/6 des charge sont appliquées aux consoles de type 5.

Cette disposition vaut pour l'application des charges permanentes et pour les charges d'exploitations.

5.1.3 Application des charges permanentes de la passerelle à l'ouvrage existant

L'ensemble des charges permanentes de la passerelle est appliqué ponctuellement au droit des consoles sur les voussoirs concernés, à l'axe de la nervure et avec un excentrement propre à chaque type de console. Ci-dessous, sont présentés pour chaque type de console, l'effort vertical ainsi que l'excentrement associé par rapport à l'axe de l'ouvrage existant :

		Type										
	unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Total	kN	106	122	156	113	121	83	87	133	113	110	129
DX total	m	5.64	5.67	6.20	5.66	5.77	5.63	5.64	5.67	5.67	5.65	5.68

Figure 49 : Effort et excentrement associé à chaque type de console

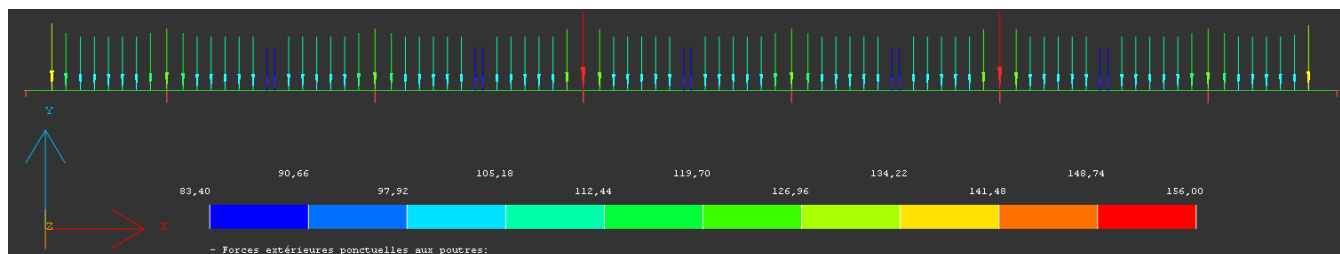


Figure 50 : Application des charges ponctuelles des charges permanentes tous les deux voussoirs

5.2 Charges d'exploitation

5.2.1 Charges d'exploitation ouvrage existant

La classe de pont est définie en fonction des caractéristiques de la chaussée :

- Largeur roulable : 14,00 m ;
- Largeur chargeable : 14,00 m ;
- Nombre de voie : 4 ;
- Largeur de voie : 3,50 m.

L'ouvrage a été retenu en première classe lors de la conception.

5.2.1.1 Système A(l)

$$A(l) = 230 + \frac{36\,000}{l + 12}$$

La valeur A(l) varie ainsi entre 7.1 kN/m² (l = 63.1 m) et 2.85 kN/m² (l = 644.1 m).

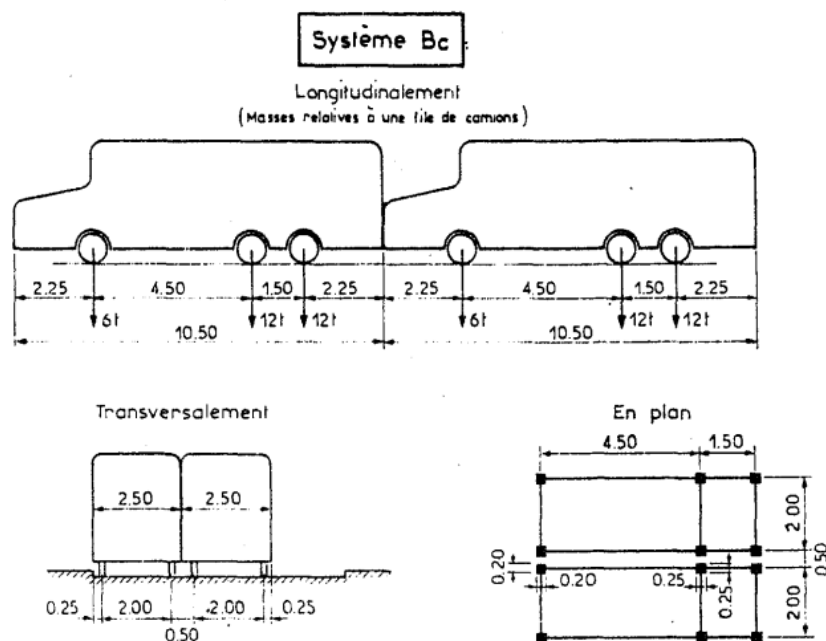
Cette valeur est à multiplier par les coefficients a1 et a2, définis en fonction de la classe de pont et du nombre de voies chargées.

Nombre de voies chargées		1	2	3	4	≥ 5
Classe du pont .	Première	1	1	0.9	0.75	0.7
	Deuxième	1	0.9	»	»	»
	Troisième	0.9	0.8	»	»	»

Les coefficients qui ont été retenus à la conception sont a1 = 0.75 (4 voies) et a2 = 1 (largeur de voie = 3.5 m) :

(6) Surcharge Arc) enveloppe avec largeur de chaussée = 14m,
4 voies de circulation, a1 = 0,75 ; a2 = 1 (RR)

5.2.1.2 Système Bc



La valeur de la charge du système Bc est à multiplier par le coefficient bc suivant :

Nombre de files considérées		1	2	3	4	> 5
Classe du pont .	Première*** . . .	1.20	1.10	0.95	0.8	0.7
	Deuxième	1.00	1.00	—	—	—
	Troisième	1.00	0.8	—	—	—

Figure 51: Système Bc (F61 Titre II)

Bc : 4 voies chargées $\Rightarrow bc = 0,8$
 $S = (12 \times 2 + 6) \times 4 \times 0,8 = 96t$
 $= 942 kN$

$\delta_{Bc} = 1,236$

5.2.1.3 Système Mc120

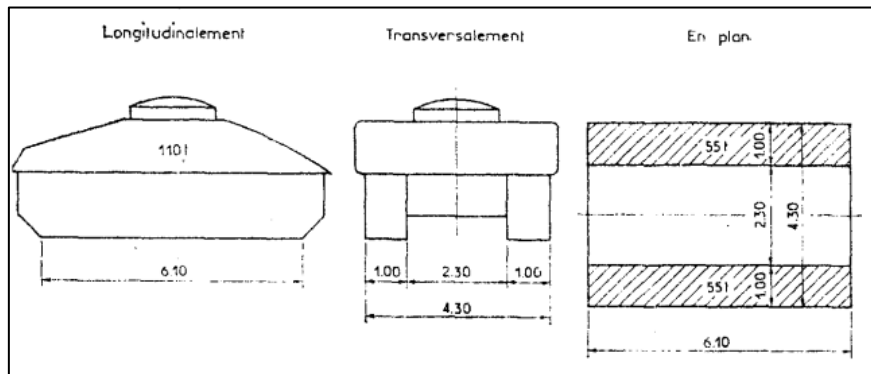


Figure 52: Convoi Mc120

Le coefficient de majoration dynamique est repris de la note N415 $\Rightarrow \delta = 1.0285$

5.2.1.4 Système Bt

Suivant la note de calcul de la conception N410 (flexion transversale), le système de charge Bt est le plus agressif pour la flexion transversale des voussoirs avec le convoi Mc120.

Ainsi il sera étudié dans notre analyse de flexion transversale.

Le système Bt se compose de groupes de deux essieux dénommés essieux-tandems, il s'applique uniquement au pont de 1^{ère} et 2^{ème} classe.

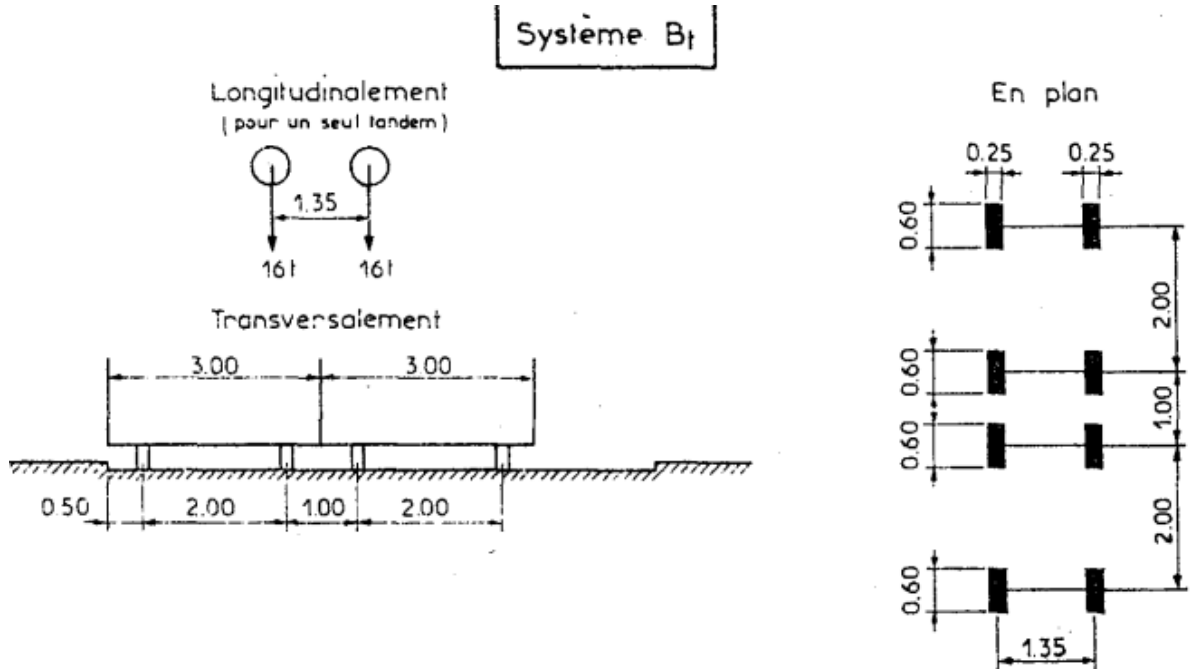


Figure 53: Système Bt (F61 Titre II)

La valeur de la charge du système Bt est à multiplier par le coefficient bt suivant :

Classe du pont	Première.	Deuxième.
Coefficient	1.0	0.9

La charge du système Bt est frappé de la majoration dynamique.

5.2.2 Charges d'exploitation passerelle

5.2.2.1 Charge piétons uniformément répartie

Charge piétons uniformément répartie q_{fk} selon NF EN 1991-2, 5.3.2.1(2) :

$$q_{fk} = \min \left(5 ; \max \left(2.5 ; \left(2 + \frac{120}{L + 30} \right) \right) \right) \text{ kN/m}^2 ; L \text{ étant la longueur chargée.}$$

- Cas de chargement sur une travée entière (L=102m) : $q_{fk} = 2.91 \text{ kN/m}^2$
- Cas de chargement sur deux travées entières (L=204m) : $q_{fk} = 2.51 \text{ kN/m}^2$
- Cas de chargement sur une demi-travée (L=51m) : $q_{fk} = 3.48 \text{ kN/m}^2$
- Cas de chargement sur deux platelages adjacents à une console sur pile (L=2*8= 16m) : $q_{fk} = 4.6 \text{ kN/m}^2$ arrondi à 5.0 kN/m^2
- Cas de chargement sur deux platelages courants (L=2*6.86= 16m) : $q_{fk} = 4.7 \text{ kN/m}^2$ arrondi à 5.0 kN/m^2

5.2.2.2 Application des charges d'exploitation de la passerelle à l'ouvrage existant

La charge q_{fk} est appliquée par chargement distribué et suivant les lignes d'influence de l'effort recherché.

La longueur chargée par configuration, étant la somme des longueurs d'influence (mêmes discontinues), varie entre 306 m et 375 m. Nous avons donc des chargements $q_{fk} < 2.50 \text{ kPa}$.

Nous retenons donc $q_{fk} = 2.50 \text{ kPa}$ pour tous les chargements.

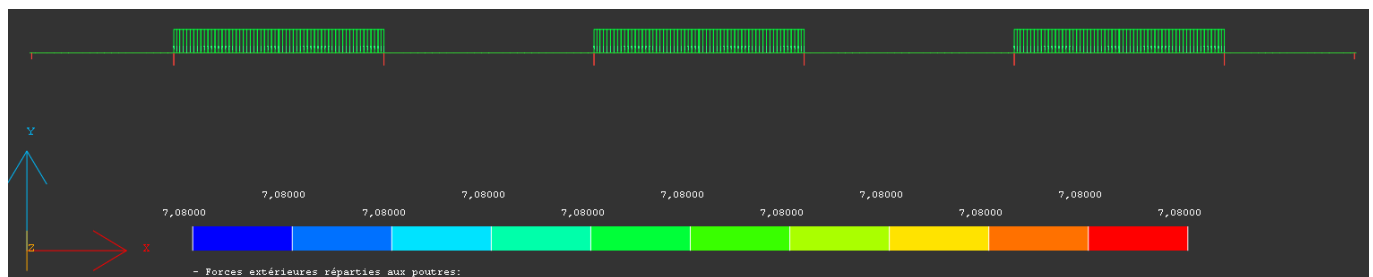


Figure 54 : Application de la charge piétonne q_{fk} par ligne d'influence - moment positif max

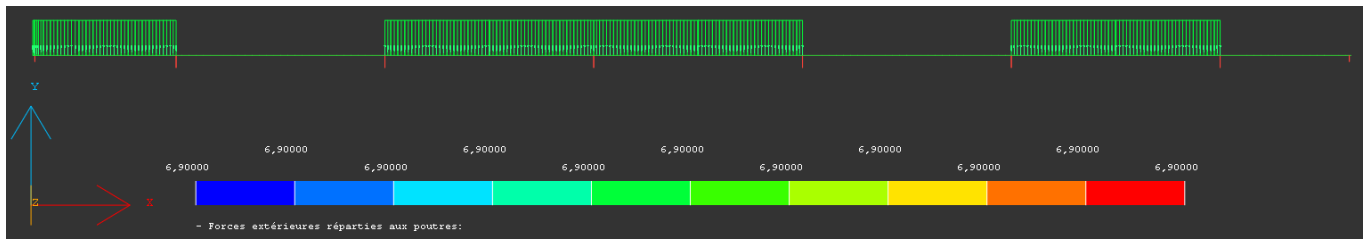


Figure 55 : Application de la charge piétonne q_{fk} par ligne d'influence - moment négatif max

5.2.2.3 Charge véhicule de service Q_{serv}

Véhicule de service avec un poids en charge de 45 kN, une charge sur l'essieu arrière de 35 kN et avant 10kN, une largeur de 1.23m et empattement 2.13m. Les roues du véhicules de service ont une empreinte de 20x20cm.

La charge de ce véhicule est non concomitante avec les charges de piétons.

Cette charge est dimensionnante pour les vérifications locales de platelage et de console, et ne sera pas appliquée à l'ouvrage existant.

5.2.2.4 Charge concentrée Q_{fwk}

La charge concentrée Q_{fwk} de 10kN sur un carré 10x10cm : remplacé par le véhicule de service (cf. NF EN 1991-2, 5.3.2.2(3)).

5.2.2.5 Actions horizontales sur la passerelle

La norme NF EN1991-2 §5.4 recommande la prise en compte d'une charge horizontale longitudinale sur les passerelles avec pour intensité la valeur maximale entre :

- 10% de la charge uniformément répartie
- 60% du poids du véhicule de service

Cette charge est à appliquer de manière concomitante avec la charge verticale relative.

5.2.2.6 Charges transmises par les garde-corps

Conformément à la norme NF P 98-405 :

- l'action horizontale à appliquer aux garde-corps (GC) est égale à $q_{hk} = 0,5 (1,0 + b)$ kN/m avec $1,0 \text{ kN/m} \leq q_{hk} \leq 2,5 \text{ kN/m}$:
 - b = largeur de la passerelle
 - Pour les GC des platelages courants ($b=3.00\text{m}$) ; $q_{hk}= 2.0\text{kN/m}$
 - Pour les GC des platelages sur belvédère ($b_{\text{max}}=4.50\text{m}$) ; $q_{hk}= 2.5\text{kN/m}$
- L'action verticale sur les garde-corps q_{vk} est prise égale à 1,0 kN/m.
- Action accidentelle sur les garde-corps : aucune action de ce type n'est prévue dans le programme de l'opération (ex. choc de véhicule de service sur garde-corps)

- Les liaisons du garde-corps à la structure seront conçues de telle sorte qu'à son état limite ultime (ELU), les liaisons de celui-ci ne puissent endommager aucune partie de la structure porteuse. Ainsi, la résistance sous ELU accidentel de la structure porteuse (platelage BFUP ou métallique) au droit de chaque liaison du garde-corps devra être au moins égale à 1,25 fois la résistance ultime du montant du garde-corps.

5.3 Charges climatiques et thermiques

5.3.1 Action thermique ouvrage existant

L'action thermique retenue pour le calcul est le gradient thermique avec un écart de température de 12°C.

(5) gradient thermique de 12°C sur le tablier. (TR3)

5.3.2 Charges thermique sur la passerelle

La passerelle dispose d'un revêtement type résine.

Les valeurs de variation thermique sont données par la suite pour le platelage en BFUP :

PONT - TEMPERATURE UNIFORME Eurocode NF EN 1991-1-5 / Annexe Nationale Française				
Titre :	Passerelle François Mitterrand Platelage BFUP			
Département =	33	Gironde	EC1-1-5_NAF,6.1.3.2(1)	
T _{max} =	+40	°C		
T _{min} =	-15	°C		
T ₀ =	+10	°C	EC1-1-5_NAF,A.1(3)	
Type de tablier	France métropolitaine		Départements et Régions d'Outre-Mer	
3	ΔT _{e,min} [°C]	ΔT _{e,max} [°C]	ΔT _{e,min} [°C]	ΔT _{e,max} [°C]
Type 1 (métallique)	-3	+16	+0	+16
Type 2 (mixte)	+5	+4	+0	+4
Type 3 (béton)	+8	+2	+0	+2
EC1-1-5_NAF,6.1.3.1(4) $T_{e,min} = T_{min} + \Delta T_{e,min}$ $T_{e,max} = T_{max} + \Delta T_{e,max}$				
EC1-1-5,6.1.3.3(3)NOTE2			Température de pose maîtrisée ou joint réglable	
EC1-1-5,6.1.3.3(3)NOTE2			Oui	Non
			S [°C]	
Appareil d'appui :	non		+10	+20
Température de pose maîtrisée =				
Joint de chaussée :	non		+5	+15
Temp. pose maîtr. ou joint réglable =				
EC1-1-5,6.1.3.3	Tablier	Joint de chaussée	Appareil d'appui	
ΔT _{N,con} = T ₀ - T _{e,min} + S	+17 °C	+32 °C	+37 °C	Raccourcissement
ΔT _{N,exp} = T _{e,max} - T ₀ + S	+32 °C	+47 °C	+52 °C	Allongement
setec als	Cl-Temp_Pont.xlsx	TEMP	08/04/2025	v1.0

PONT - GRADIENT THERMIQUE				
Eurocode NF EN 1991-1-5 / Annexe Nationale Française				
Titre :	Passerelle François Mitterrand Platelage BFUP			
Type de tablier	Composante de gradient thermique			
3	$\Delta T_{M,heat}$ [°C]	$\Delta T_{M,cool}$ [°C]	Méthode gradient	
Type 1 (métallique)	18	13	1 : linéaire	
Type 2 (mixte)	10	10	2 : non linéaire	
Type 3 (béton)	dalle		1 : linéaire	
poutre caisson	12	6		
poutre	15	8		
dalle	12	6		
Tableau 6.1 NAF + Figure 6.2 b) Légende 7				
Tableau 6.2 NAF Méthode 1 linéaire	Ponts routiers et de chemin de fer et passerelles pour piétons			
	Type 1 (métallique)		Type 3 (béton)	
Revêtement	$T_{extrados} > T_{intrados}$	$T_{extrados} < T_{intrados}$	$T_{extrados} > T_{intrados}$	$T_{extrados} < T_{intrados}$
sans revêtement	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
sans revêtement	0.7	0.9	0.8	1.0
imperméabilisé ⁽¹⁾	1.6	0.6	1.5	1.0
50 mm	1.0	1.0	1.0	1.0
100 mm	0.7	1.2	0.8	1.0
150 mm	0.7	1.2	0.7	1.0
ballast (750 mm)	0.6	1.4	0.6	1.0
⁽¹⁾ Valeurs limites supérieures pour un revêtement sombre.				
$\Delta T_{M,heat}$ =	9.6	$\Delta T_{M,heat \text{ tab.6.2NAF}}$ (* k_{sur} si méthode 1)		
$\Delta T_{M,cool}$ =	6	$\Delta T_{M,cool \text{ tab.6.2NAF}}$ (* k_{sur} si méthode 1)		
setec als CI-Temp_Pont.xlsx GRAD 08/04/2025 v1.0				

Les valeurs de variation thermique sont données par la suite pour le platelage en acier :

PONT - TEMPERATURE UNIFORME				
Eurocode NF EN 1991-1-5 / Annexe Nationale Française				
Titre :		Passerelle François Mitterrand Platelage métallique		
Département =		33	Gironde	EC1-1-5_NAF,6.1.3.2(1)
T _{max} =		+40	°C	
T _{min} =		-15	°C	
T ₀ =		+10	°C	EC1-1-5_NAF,A.1(3)
Type de tablier	France métropolitaine		Départements et Régions d'Outre-Mer	
1	ΔT _{e,min} [°C]	ΔT _{e,max} [°C]	ΔT _{e,min} [°C]	ΔT _{e,max} [°C]
Type 1 (métallique)	-3	+16	+0	+16
Type 2 (mixte)	+5	+4	+0	+4
Type 3 (béton)	+8	+2	+0	+2
EC1-1-5_NAF,6.1.3.1(4) $T_{e,min} = T_{min} + \Delta T_{e,min}$ $T_{e,max} = T_{max} + \Delta T_{e,max}$				
EC1-1-5,6.1.3.3(3)NOTE2			Température de pose maîtrisée ou joint réglable	
EC1-1-5,6.1.3.3(3)NOTE2			Oui	Non
			S [°C]	
Appareil d'appui :		non	+10	+20
Température de pose maîtrisée =		non	+5	+15
Joint de chaussée :		non		
Temp. pose maîtr. ou joint réglable =		non		
EC1-1-5,6.1.3.3	Tablier	Joint de chaussée	Appareil d'appui	
ΔT _{N,con} = T ₀ - T _{e,min} + S	+28 °C	+43 °C	+48 °C	Raccourcissement
ΔT _{N,exp} = T _{e,max} - T ₀ + S	+46 °C	+61 °C	+66 °C	Allongement
setec als	CI-Temp_Pont.xlsx	TEMP	08/04/2025	v1.0

PONT - GRADIENT THERMIQUE				
Eurocode NF EN 1991-1-5 / Annexe Nationale Française				
Titre :	Passerelle François Mitterrand Platelage métallique			
Type de tablier	Composante de gradient thermique			
1	$\Delta T_{M,heat}$ [°C]	$\Delta T_{M,cool}$ [°C]	Méthode gradient	
Type 1 (métallique)	18	13	1 : linéaire	
Type 2 (mixte)	10	10	2 : non linéaire	
Type 3 (béton)	dalle		1 : linéaire	
poutre caisson	12	6		
poutre	15	8		
dalle	12	6		
Tableau 6.1 NAF + Figure 6.2 b) Légende 7				
Tableau 6.2 NAF Méthode 1 linéaire	Ponts routiers et de chemin de fer et passerelles pour piétons			
	Type 1 (métallique)		Type 3 (béton)	
Revêtement	$T_{extrados} > T_{intrados}$	$T_{extrados} < T_{intrados}$	$T_{extrados} > T_{intrados}$	$T_{extrados} < T_{intrados}$
sans revêtement	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
sans revêtement	0.7	0.9	0.8	1.0
imperméabilisé ⁽¹⁾	1.6	0.6	1.5	1.0
50 mm	1.0	1.0	1.0	1.0
100 mm	0.7	1.2	0.8	1.0
150 mm	0.7	1.2	0.7	1.0
ballast (750 mm)	0.6	1.4	0.6	1.0
⁽¹⁾ Valeurs limites supérieures pour un revêtement sombre.				
$\Delta T_{M,heat}$ =	12.6	$\Delta T_{M,heat}$ tab.6.2NAF (* k_{sur} si méthode 1)		
$\Delta T_{M,cool}$ =	11.7	$\Delta T_{M,cool}$ tab.6.2NAF (* k_{sur} si méthode 1)		
setec als	Cl-Temp Pont.xlsx	GRAD	08/04/2025	v1.0

5.3.3 Charges de vent sur la passerelle

Données générales (application de la norme NF EN 1991-1-4/NA) :

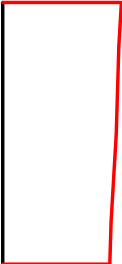
- Région 1 ($v_b = 22\text{m/s}$)
- Rugosité IIIa
- Hauteur maximale du platelage (11.5m NGF, bord supérieur du garde-corps) par rapport au terrain environnant (niveau Gironde 5.0m NGF) : $11.5 - 5 = 6.5\text{m}$

Vent horizontal : $b/d_{tot} : 3.00/0.25 = 12$; coefficient de force $c_{f,x} = 1.30$, pression horizontale arrondie à 0.60 kN/m^2 .

Vent vertical : coefficient de force $c_{f,z} = 0.9$, pression verticale arrondie à 0.50 kN/m^2 .

Conception/Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au PFM

CALCUL DE PRESSION DE VENT													
Selon les règles EC1-1-4 de Nov. 2005 + Annexe nationale de Mars 2008													
Titre :		Passerelle François Mitterrand Vent vertical sur platelage											
DONNEES		Niveau	Largeur	Cr(z)	Co(z)	Vm(z)	Iv (z)	qp (z)	Qp (z)				
		(m)	(m)			(m/s)		(daN/m²)	(daN/ml)				
1. Pour le calcul de qp(z)													
Région	1	6.40	1.00	0.726	1.000	15.96	0.280	46.20	41.6				
C dir * C season	1.00 (1 par défaut)												
Rugosité du sol	III a												
Coefficient orographique	co(z) = 1												
Base de la construction zb =	6.40 m												
Sommet zs =	6.60 m												
Incrément, tableau résultat	0.40 m												
Par défaut : définition manuelle, ou 1/10ème de la hauteur													
Majoration complémentaire													
(choisie librement par l'utilisateur, vaut 1 par défaut)													
2. Pour le calcul de Qp(z)													
Largeur étudiée B =	1.000 m												
Possibilité d'introduire une largeur variable dans le tableau													
Coefficient de trainée c =	0.900												
Majoration complémentaire	1.00	Profil de qp(z)				Hauteur totale =	0.20	m					
(choisie librement par l'utilisateur, vaut 1 par défaut)													
NOTA : le coefficient Cs.Cd est pris égal à 1													
RESULTATS													
Vitesse de référence du vent Vb,0 =	22 m/s												
Vb = Vb,0 * Cdir * Cseason =	22 m/s												
Longueur de rugosité zo =	0.2 m												
Pression constante sous z min =	5.00 m												
Facteur de terrain kr =	0.209												
Coefficient de turbulence kl =	0.970												
setec tpi		CL-Vent	EC1.xlsm	17/04/25	P-DYN1					v5			

CALCUL DE PRESSION DE VENT													
Selon les règles EC1-1-4 de Nov. 2005 + Annexe nationale de Mars 2008													
Titre :		Passerelle François Mitterrand Vent horizontal sur platelage											
DONNEES		Niveau	Largeur	Cr(z)	Co(z)	Vm(z)	Iv (z)	qp (z)	Qp (z)				
		(m)	(m)			(m/s)		(daN/m²)	(daN/ml)				
1. Pour le calcul de qp(z)													
Région	1	5.00	1.00	0.674	1.000	14.83	0.301	41.87	54.4				
C dir * C season	1.00 (1 par défaut)	5.25	1.00	0.684	1.000	15.05	0.297	42.71	55.5				
		5.50	1.00	0.694	1.000	15.27	0.293	43.52	56.6				
		5.75	1.00	0.703	1.000	15.47	0.289	44.30	57.6				
		6.00	1.00	0.712	1.000	15.67	0.285	45.05	58.6				
		6.25	1.00	0.721	1.000	15.85	0.282	45.77	59.5				
		6.50	1.00	0.729	1.000	16.03	0.279	46.47	60.4				
Base de la construction zb =	5.00 m												
Sommet zs =	6.50 m												
Incrément, tableau résultat	0.25 m												
Par défaut : définition manuelle, ou 1/10ème de la hauteur													
Majoration complémentaire													
(choisie librement par l'utilisateur, vaut 1 par défaut)													
2. Pour le calcul de Qp(z)													
Largeur étudiée B =	1.000 m												
Possibilité d'introduire une largeur variable dans le tableau													
Coefficient de trainée c =	1.300												
Majoration complémentaire	1.00	Profil de qp(z)				Hauteur totale =	1.50	m					
(choisie librement par l'utilisateur, vaut 1 par défaut)													
NOTA : le coefficient Cs.Cd est pris égal à 1													
RESULTATS													
Vitesse de référence du vent Vb,0 =	22 m/s												
Vb = Vb,0 * Cdir * Cseason =	22 m/s												
Longueur de rugosité zo =	0.2 m												
Pression constante sous z min =	5.00 m												
Facteur de terrain kr =	0.209												
Coefficient de turbulence kl =	0.970												
setec tpi		CL-Vent	EC1.xlsm	17/04/25	P-DYN1					v5			

5.4 Actions sismiques

Le programme de l'opération ne prévoit pas la justification sismique de l'ouvrage existant, conçu au début des années 90 sans prise en compte de l'aléas sismique (zonage sismique de 1991).

La passerelle, en tant qu'ouvrage neuf, devra être dimensionnée suivant les normes parasismiques en vigueur. De ce fait la résistance des éléments métalliques et organes d'assemblage et attache sera vérifiée sous actions sismiques. Aucune limitation particulière de déformation de la passerelle n'est requise sous action sismique. Également, le souffle des joints d'extrémité de la passerelle, gouverné par la déformation thermique du pont François Mitterrand et les charges routières horizontales sur ce dernier, ne nécessitera pas de justification sismique.

Selon le zonage sismique en France, la passerelle se situe dans une zone de sismicité 2 (faible) :

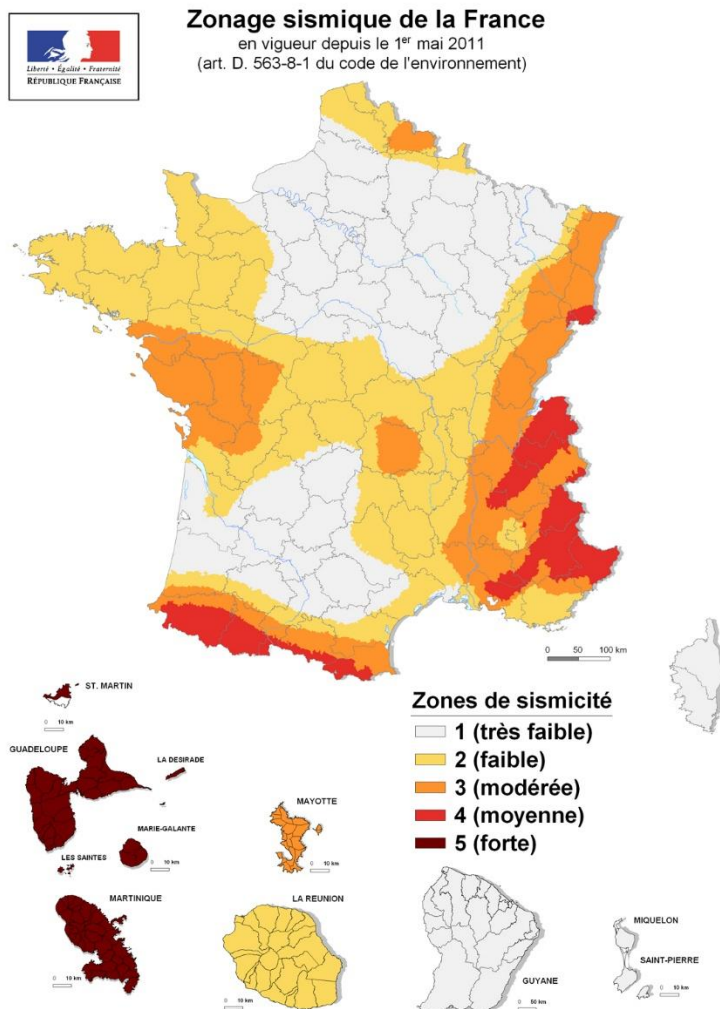


Figure 56 : carte de zonage sismique en France

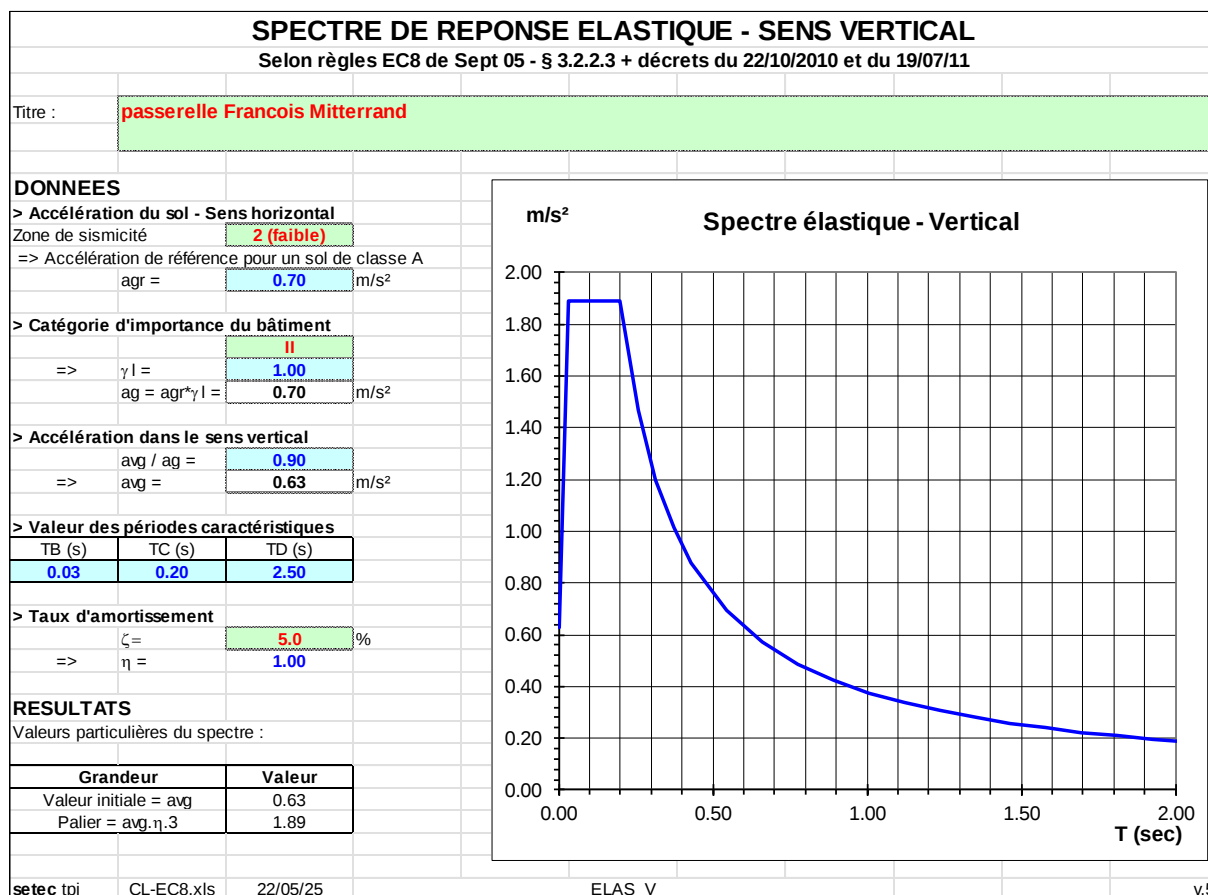
Catégorie d'importance : II

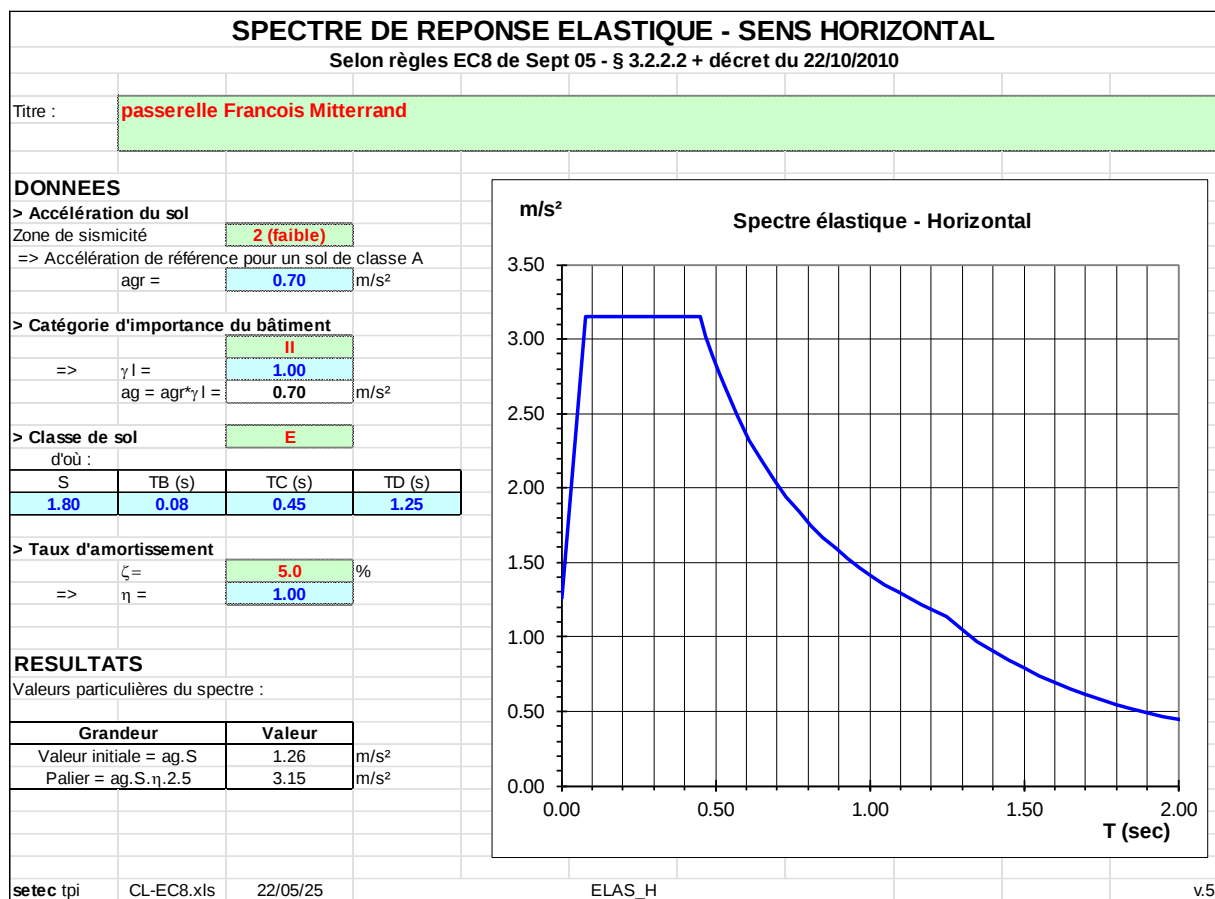
Coefficient d'importance : $\gamma_i = 1.0$

Accélération maximale de référence $a_{gr} = 0.7 \text{ m.s}^{-2}$

Classe de sol : E (choix le plus conservatif en absence d'étude géotechnique pour les fondations du pont François Mitterrand)

Dans l'étude sismique nous faisons l'hypothèse que l'ouvrage existant est suffisamment rigide pour ne pas amplifier l'accélération du sol au droit de la passerelle, cela revient à dire que les points d'appui de la passerelle sont accélérés suivant le PGA. Il s'agit d'une hypothèse inscrite au programme de l'opération.





6 Combinaisons d'actions

6.1 Combinaisons ouvrage existant

Les vérifications de l'ouvrage existant se font en suivant la méthodologie de la note de conception de 1990, suivant le BPEL 83.

Sous combinaisons à l'ELS rare :

- Pour le cas de l'ouvrage seul : $G_{\max} + P + 1.20 A(I) + [0 ; 0.50] \text{ gradT}(12^\circ)$ à $t = 135$ ans (la charge A(I) est dimensionnante pour les contraintes normales),
- Pour le cas de l'ajout de la passerelle : $G_{\max} + P + 1.20 A(I) + [0 ; 0.50] \text{ gradT}(12^\circ) + G_{\text{passerelle}} + Q_{\text{passerelle}}$ à $t = 135$ ans (âge de l'ouvrage existant à la construction de la passerelle + durée d'utilisation de la passerelle de 100 ans),
- Pour l'étude de la possibilité de mise en place de la passerelle avant la mise en tension des câbles additionnels : $G_{\max} + P + 1.20 A(I) + [0 ; 0.50] \text{ gradT}(12^\circ) + G_{\text{passerelle}}$ à $t = 35$ ans.

Nota : le terme $1.2 \cdot A(l)$ peut être remplacé par le système de charges B ($1.2 \cdot B_c$, $1.2 \cdot B_t$...) ou la valeur nominale de la charge militaire $Mc120$ ou de convoi exceptionnel.

Sous combinaison à l'ELU :

- Pour le cas de l'ouvrage seul : $1.35 \cdot G_{\max} + P + 1.5 \cdot 1.07 A(l) + 1.5 \cdot [0 ; 0.50] \text{ gradT}(12^\circ)$ à $t = 135$ ans
- Pour le cas de l'ajout de la passerelle : $1.35 \cdot G_{\max} + P + 1.5 \cdot 1.07 \cdot A(l) + 1.5 \cdot [0 ; 0.50] \text{ gradT}(12^\circ) + 1.35 \cdot G_{\text{passerelle}} + 1.50 \cdot Q_{\text{passerelle}}$ à $t = 135$ ans

Nota : le terme $1.07 \cdot A(l)$ peut être remplacé par le système de charges B ($1.07 \cdot B_c$, $1.07 \cdot B_t$...) ou la valeur nominale de la charge militaire $Mc120$ ou de convoi exceptionnel.

6.2 Combinaisons pour la passerelle

- ELU fondamental : $P + 1.35 \cdot G + 1.35 \cdot Q + 1.5 \cdot 0.3 \cdot F_w$
- ELS caractéristique :
 - $P + G + Q + 0.3 \cdot F_w$
 - $P + G + Q + 0.6 \cdot T_k$
- ELS fréquent : $P + G + 0.4 \cdot Q + 0.5 \cdot T_k$
- ELS quasi permanent : $P + G + 0.5 \cdot T_k$
- ELU sismique : $P + G + A_d$

Nota : le cas échéant, pour la justification des équipements à l'ELU sismique il convient de prendre en compte également l'action thermique pondérée par 0.5.

- ELU accidentel : sans objet.

7 Vérifications

7.1 Vérifications de l'ouvrage existant

7.1.1 Critères de vérification en contraintes normales de l'ouvrage existant

Pour rappel, les calculs sont menés avec les valeurs de la précontrainte probable P_m . Suivant le programme de la mission, de nous conformons au règlement utilisé dans la note d'origine, soit le BPEL 83.

Sous combinaison ELS rare, on doit vérifier conditions suivantes au droit de chaque joint de l'ouvrage :

- Contraintes minimales : **0 MPa** (non-décompression du béton) ;

- Contraintes maximales : $0,9 \cdot 0,6 \cdot f_{c28} = 18,9 \text{ MPa}$

6.1.21. — Exigences communes aux trois classes.

Quelle que soit la classe de vérification retenue, les contraintes de compression du béton sont, en règle générale, limitées aux valeurs suivantes* :

- $0,50 f_{c28}$ sous l'effet de la combinaison quasi-permanente**;
- $0,60 f_{c28}$ sous l'effet des combinaisons rares et des combinaisons fréquentes;
- $0,60 f_{cj}$ en cours d'exécution, ramenée à $0,55 f_{cj}$ si j est inférieur à trois jours***, sauf pour les pièces fabriquées industriellement faisant l'objet d'une procédure d'homologation avec contrôle; dans ce cas, la décision correspondante fixe la contrainte de compression limite qui ne doit pas dépasser $\frac{2}{3} f_{cj}$.

Lorsque le marché prescrit de prendre $P_d = P_m$, les différentes valeurs précédentes sont diminuées de 10 %.

6.1.22. — Classe I.

Aucune traction n'est admise sur l'ensemble de la section*.

Figure 57 : Conditions limites en contraintes normales - extrait du BPEL 83

7.1.2 Cumul du besoin en armatures de l'ouvrage existant

Dans la note N433 est détaillée la synthèse des armatures calculées pour l'effort tranchant et la torsion, pour la diffusion de la précontrainte des câbles intérieurs, pour la flexion transversale et la reprise de la poussée au vide.

La note rappelle la règle des cumuls, que nous reprenons dans nos calculs :

Nous rappelons la règle de cumul décrite dans le CCTP ci-dessous : -

- (i) Soit les armatures trouvées pour les efforts tangents et de diffusion seuls.
- (ii) Soit celles trouvées pour les efforts de flexion transversales seuls.
- (iii) Soit le cumul des armatures des efforts tangents, de diffusion et de flexion transversale dus aux seules actions quasi-permanentes.

Figure 58 : Règle des cumuls - extrait de la N433

Le terme (iii) n'est pas dimensionnant et n'est pas détaillé par la suite.

Pour la règle (i), les armatures sont dimensionnées à l'ELU : $P_m + 1.35 G + 1.5 A(I) + 1.5 \text{ grad}(6^\circ\text{C})$. Pour la reprise des efforts de la passerelle, la combinaison à considérer est l'ELU (passerelle) : $1.35 G_{\text{pass}} + 1.50 Q_{\text{pass}}$.

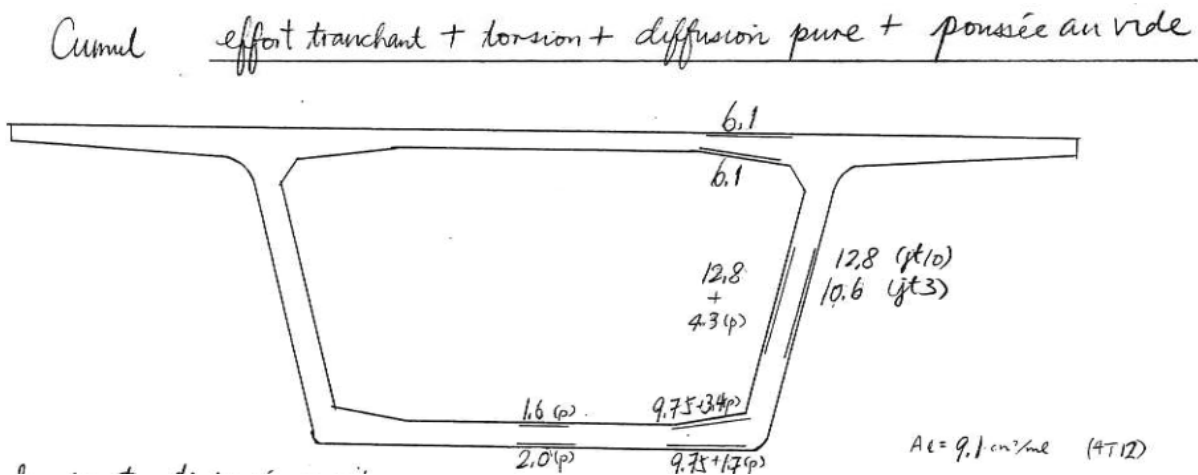


Figure 59 : Cumul (i)

Pour la règle (ii), les armatures sont dimensionnées à l'ELS rare. Pour la reprise des efforts de la passerelle, la combinaison à considérer est à l'ELS rare : $G_{\text{pass}} + Q_{\text{pass}}$.

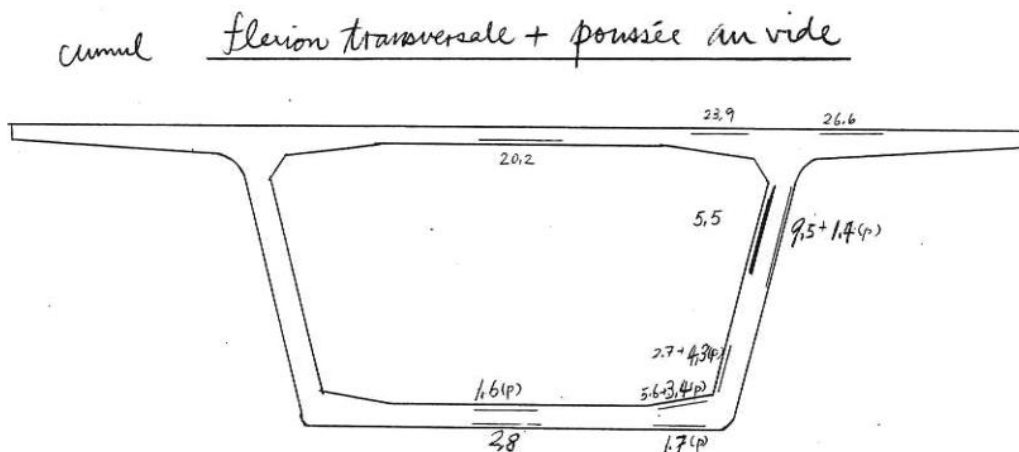


Figure 60 : Cumul (ii)

7.1.3 Vérification du ferrailage nécessaire et du besoin en renforcement en tissu carbone

Pour la vérification du ferrailage nécessaire pour la reprise des efforts dus à la passerelle :

- Vérification si la quantité d'armature disponible (plans de ferrailage DOE) est supérieure à la quantité d'armature nécessaire à la reprise des effets de l'ouvrage existant et de la passerelle (déterminée par les cumuls présentés plus haut + effets dus à l'ajout de la passerelle),
- En cas déficit de ferrailage, un renforcement du voussoir est nécessaire. Dans ce cas considérer, pour le dimensionnement du tissu carbone, la contrainte limite de 240 MPa pour les armatures passives à l'ELS rare.

7.2 Vérifications de la passerelle

7.2.1 Critère de flèche

Les Eurocode 3-2 et 2-2 pour les ouvrages d'art métalliques et en béton ne définissent aucune limitation de flèche applicable à la passerelle en projet.

Cependant, un critère de limitation de la flèche verticale w_3 sous seules charges d'exploitation sera néanmoins adopté pour le projet.



Légende

- w_c Contre-flèche dans l'élément structural non chargé
- w_1 Partie initiale de la flèche sous les charges permanentes de la combinaison d'actions correspondante selon les expressions (6.14a) à (6.16b).
- w_2 Partie à long terme de la flèche sous les charges permanentes.
- w_3 Partie additionnelle de la flèche due aux actions variables de la combinaison d'actions correspondante d'après les expressions (6.14a) à (6.16b).
- w_{tot} Flèche totale, soit somme de w_1 , w_2 , w_3 .
- w_{max} Flèche résiduelle totale compte tenu de la contre-flèche.

Figure A1.1 — Définitions des flèches verticales

Figure 61 : extrait NF EN 1990 – définition des flèches verticales

Le tableau suivant fournit la limitation de flèche pour l'Eurocode 3 dans le cas d'un bâtiment.

Conditions	Limites (voir Figure 1)	
	w_{max}	w_3
Toitures en général ^{a)}	$L / 200$	$L / 250$
Toitures supportant fréquemment du personnel autre que le personnel d'entretien	$L / 200$	$L / 300$
Planchers en général ^{b)}	$L / 200$	$L / 300$
Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou en autres matériaux fragiles ou rigides	$L / 250$	$L / 350$
Planchers supportant des poteaux (à moins que la flèche ait été incluse dans l'analyse globale de l'état limite ultime) ^{c)}	$L / 400$	$L / 500$
Cas où w_{max} peut nuire à l'aspect du bâtiment	$L / 250$	
Notes :		
a) On entend par toitures en général, les toitures non accessibles aux usagers. Ces toitures supportent, uniquement, le passage des personnes chargées de l'entretien.		
b) Pour les toitures à faible pente, il convient de considérer également l'alinéa ci-après relatif à l'accumulation d'eau de pluie.		
c) Les conditions d'utilisation de certaines machines peuvent nécessiter des flèches admissibles plus faibles que celles fixées par les règles générales ; ces limites sont alors à préciser dans les spécifications du marché.		
d) Cette limitation n'est à considérer que si la flèche de ces planchers a une influence sur le comportement de la structure supportée par ces poteaux. Dans le cas contraire, on se reportera aux limitations des deux cas précédents.		

Figure 62 : Extrait NF EN 1993-1-1/AN – Valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales (bâtiment)

Selon l'annexe nationale, « Pour les poutres en porte à faux, la longueur L à considérer est égale à deux fois la longueur du porte-à-faux. »

A titre informatif, l'Annexe Nationale à l'Eurocode 5-2 (ouvrage d'art en bois) fournit une limitation de flèche sous charge piétonnière de $l/200$.

Nous proposons de retenir la limitation de $l/250$ pour les structures neuves de la passerelle, avec prise en compte de la clause sur les porte-à-faux ($L_{calcul} = 2 * l_{réelle}$).

Pour les platelages cette limitation se décline ainsi :

- Platelage courante $l=6.86\text{m}$ (entraxe console) → flèche limite : 27mm
- Platelage clé $l=3.69\text{m}$ (entraxe console) → flèche limite : 15mm
- Platelage VSP $l=8.00\text{m}$ (entraxe console) → flèche limite : 32mm

Les dimensions du porte-à-faux ainsi que le critère correspondant à chaque type de console est récapitulé dans le tableau suivant :

Types consoles	Longueur porte à faux	Critère $L/250$
Type 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10	3 m	24 mm
Type 3	4.95 m	40 mm
Type 8	4.1 m	33 mm
Type 11	3.3 m	26 mm

Ce critère est considéré comme indicatif, car extra réglementaire : il permet de fixer un ordre de grandeur raisonnable de flèche à respecter.

7.2.2 Vibrations

Afin d'évaluer le comportement vibratoire de la passerelle sous l'action des piétons, on se référera au guide méthodologique du SETRA « Passerelle piétonnes – Évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons » édité en mars 2006 en considérant le Pont François Mitterrand infiniment raide.

La passerelle sera considérée de classe de trafic II (trafic dense : 0.8 piétons/m²) et le niveau de confort comme moyen.