

Direction Interdépartementale des Routes du Nord Note d'étude de faisabilité pour le vélinage

Pont PI2(A34/la Meuse)



Indice	Date	Modifications
0	02/07/2025	-
1	10/02/2026	Suite retour CEREMA
2	25/02/2026	Suite retour CEREMA

Affaire n° :	A25/DIRNORD/070
Créer le	23/06/2025
Auteur :	BS
Vérificateur :	FL



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
I Introduction.....	5
II Présentation de l'ouvrage.....	6
II.1 Description générale de l'ouvrage	6
II.2 Identification de l'ouvrage	6
II.3 Caractéristiques générales de l'ouvrage.....	7
II.4 Conception de l'ouvrage.....	7
II.5 Vie de l'ouvrage	8
II.6 Repérage général – Orientations.....	9
II.6.1 Plan de situation	9
II.6.2 Plan d'orientation.....	10
III Documents de référence	11
III.1 Documents disponibles en notre possession.....	11
III.1.1 Dossier d'étude	11
III.1.2 Dossier de gestion.....	12
III.1.3 Dossier de photos.....	13
III.1.4 Dossier de récolement	13
III.1 Commentaires sur les documents.....	18
III.1.1 Dossier d'étude	18
III.1.2 Dossier de gestion.....	19
III.1.3 Dossier photographique.....	19
III.1.4 Dossier de récolement	20
III.2 Synthèse de l'analyse des documents	21
IV Etats des lieux et diagnostic.....	23
IV.1 Résultats des inspections précédentes.....	23
IV.2 Désordres observés sur les appuis et zones d'appui.....	24
IV.3 Accessibilité aux zones de vérinage	24
V Contraintes spécifiques.....	25
V.1 Trafic	25
V.2 Emplacement des vérins.....	25
V.3 Blocage du tablier	26
V.4 Fondations.....	26
VI Solution de vérinage.....	26
VII Opération préliminaire.....	27
VIII Principes de justification des calculs	28
VIII.1 Dénivellation du tablier	28

VIII.1	Stabilité des piles et culées	28
VIII.2	Vérification des frettages.....	28
IX	Descente de charge.....	28
IX.1	Vue en plan, élévations, coupes et détails.....	29
IX.1.1	Vue en plan, élévation et coupe.....	29
IX.1.2	Elévation et vue d'une pile tablier aval	30
IX.1.3	Coupe et ferrailage d'une pile tablier aval.....	31
IX.1.4	Coupe et ferrailage d'un voussoir tablier aval.....	32
IX.1.5	Coupe transversale et ferrailage d'un voussoir tablier amont.....	33
IX.1.6	Vues et ferrailage d'une pile tablier amont	34
IX.1.7	Ferrailage d'une culée tablier amont	35
IX.1.8	Plan et ferrailage des pieux des culées tablier amont.....	36
IX.2	Caractéristiques des éléments.....	37
IX.2.1	Caractéristiques du tablier	37
IX.2.2	Caractéristique des entretoises.....	37
IX.2.3	Caractéristiques des appuis.....	37
IX.2.4	Caractéristiques des superstructures.....	37
IX.3	Caractéristiques des matériaux.....	38
IX.3.1	Béton armé.....	38
IX.4	Charges et surcharges	38
IX.4.1	Charges permanentes.....	38
IX.4.2	Charges d'exploitation	39
IX.4.3	Dénivellation d'appui	39
IX.5	Comportement mécanique de l'ouvrage	39
IX.5.1	Modèle.....	39
IX.5.2	Appuis.....	40
IX.5.3	Effets de température	40
IX.6	Modélisation	40
IX.6.1	Généralités.....	40
IX.6.2	Modélisation de la structure.....	40
IX.6.3	Modélisation des charges.....	43
IX.7	Efforts.....	44
IX.7.1	Descentes de charges sous poids propre + superstructure	44
IX.7.2	Caractéristiques des vérins	45
IX.7.3	Vérification des sollicitations dans le tablier en présence d'une dénivellation des appuis.....	46
X	Vérification de la stabilité des culées et des piles.....	55
X.1	Stabilité des culées et piles du tablier amont	56

X.1.1	Descente de charges en phase d'exploitation.....	56
X.1.2	Descente de charges en phase de vérinage.....	57
X.1.3	Calcul des contraintes sous les semelles des piles.....	57
X.1.4	Conclusion	58
X.2	Stabilité des culées et piles du tablier aval.....	58
X.2.1	Descente de charges en phase d'exploitation.....	58
X.2.2	Descente de charges en phase de vérinage.....	59
X.2.3	Calcul des contraintes sous les semelles des piles.....	59
X.2.4	Conclusion	60
X.3	Vérification des frettages.....	60
X.3.1	Pile	60
X.3.1	Culée.....	61
XI	Conclusion	63
XII	Annexe : Plan d'installation des vérins.....	64

I Introduction

À la demande de la Direction Interdépartementale des Routes du Nord, la société ADISS a été mandatée pour réaliser une étude de faisabilité portant sur le remplacement des appareils d'appui du pont PI2, situé sur la commune de Lumes.

L'ouvrage permet le franchissement de la Meuse par l'autoroute A34.

Les investigations menées ont permis de relever les caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage, en vue d'évaluer la faisabilité d'une opération de vérinage.

Ce document présente la note d'étude de faisabilité de vérinage, avec pour objectif de présenter une analyse technique des solutions de vérinage envisageables, accompagnée d'une descente de charges afin de déterminer les caractéristiques du vérin à utiliser.

II Présentation de l'ouvrage

II.1 Description générale de l'ouvrage

L'ouvrage PI2, situé au PR 28+0149 de l'autoroute A34 sur la commune de Lumes, permet le franchissement de la Meuse ainsi que de la route départementale RD34 et d'un chemin local. Mis en service en 1973, il est composé de deux tabliers indépendants, chacun portant un sens de circulation de l'autoroute entre Charleville-Mézières et Sedan.

Chaque tablier est une structure en caisson précontraint en béton, constituée de trois travées continues selon la répartition 36 m - 48 m - 36 m. L'ouvrage est droit (biais de 100 grades) et repose sur deux piles implantées dans le lit du fleuve ainsi que sur des culées en extrémités, via des appareils d'appui en élastomère fretté.

Le tablier amont, supportant le sens Charleville - Sedan, présente une particularité, il porte également la RD34, dont la circulation se fait à contre-sens de l'autoroute. Ce tablier est donc plus large que celui du sens inverse, et se compose d'un double caisson, tandis que le tablier aval est un caisson simple à trois âmes.

La précontrainte longitudinale est intérieure au béton et le hourdis supérieur est précontraint transversalement.

II.2 Identification de l'ouvrage

MAITRE D'OUVRAGE..... DIRNORD

SERVICE GESTIONNAIRE..... DIRNORD

COMMUNE..... LUMES

VOIE(S) PORTEE(S)..... A34 ET RD34

VOIE(S) FRANCHIE(S) LA MEUSE ET RD34

NUMEROTATION DE L'OUVRAGE PI2

DENOMINATION DE L'OUVRAGE

AUTRE CODIFICATION DE L'OUVRAGE..... NON RENSEIGNE

AUTRE DENOMINATION DE L'OUVRAGE..... NON RENSEIGNE

II.3 Caractéristiques générales de l'ouvrage

TYPE DE STRUCTURE	CAISSON DE HAUTEUR CONSTANTE
NATURE DES MATERIAUX.....	BETON ARME ET PRECONTRAIT
NOMBRE DE TABLIERS.....	2
NOMBRE DE TRAVEE(S).....	3
PORTEES	36M – 48M – 36M
OUVERTURES	NON RENSEIGNE
LARGEUR TABLIER.....	TABLIER AMONT : 15M
.....	TABLIER AVAL : 11,78M
LARGEUR UTILE	TABLIER AMONT : 10M + 2,5M (RD)
.....	TABLIER AVAL : 10M
LARGEUR DE CHAUSSEE	TABLIER AMONT : 10M + 2,5 M (RD)
.....	TABLIER AVAL : 10M
TIRANT D'AIR	NON MESURE
TIRANT D'EAU	NON MESURE
TYPE DE JOINTS DE CHAUSSEE	JOINT A HIATUS COTE SEDAN POUR LES DEUX TABLIERS
DISPOSITIFS DE RETENUE.....	GLISSIERES DE SECURITE ET GARDE-CORPS
LIGNES D'APPUI (NOMBRE).....	2x4
PARTICULARITES GEOMETRIQUES (BIAIS, COURBURE, ETC.) ...	AUCUNE

II.4 Conception de l'ouvrage

ENTREPRISES CONSTRUCTRICES.....	TRUCHETET ET TANSINI
SOUS-TRAITANT(S) GROS ŒUVRE	NON RENSEIGNE
SOUS-TRAITANT(S) EQUIPEMENTS.....	NON RENSEIGNE
DATE (OU EPOQUE) DE CONSTRUCTION.....	1971-1973
MODE DE CONSTRUCTION	NON RENSEIGNE
REGLEMENT DE CHARGES	NON RENSEIGNE
PRISE EN COMPTE DE CHARGES EXCEPTIONNELLES	NON RENSEIGNEE
DATE (OU EPOQUE) DE MISE EN SERVICE	1973

II.5 Vie de l'ouvrage

DATE DE LA DERNIERE VISITE (IQA, VSC, AUTRES)..... 07/2021

DATE DE LA DERNIERE INSPECTION DETAILLEE 2020/2021

TRAVAUX D'ENTRETIEN ET DE REPARATIONS REALISES..... NON RENSEIGNES

TRAVAUX D'AMENAGEMENT REALISES..... NON RENSEIGNES

INVESTIGATIONS OU SURVEILLANCES SPECIFIQUES MISES EN ŒUVRE

..... MESURE DE GRADIENT THERMIQUE 2017-2019

..... MESURE DE TENSION A L'ARBALETE 2021

MESURES DE SECURITE PARTICULIERES..... AUCUNE

PARTICULARITES..... AUCUNES

II.6 Repérage général – Orientations

II.6.1 Plan de situation

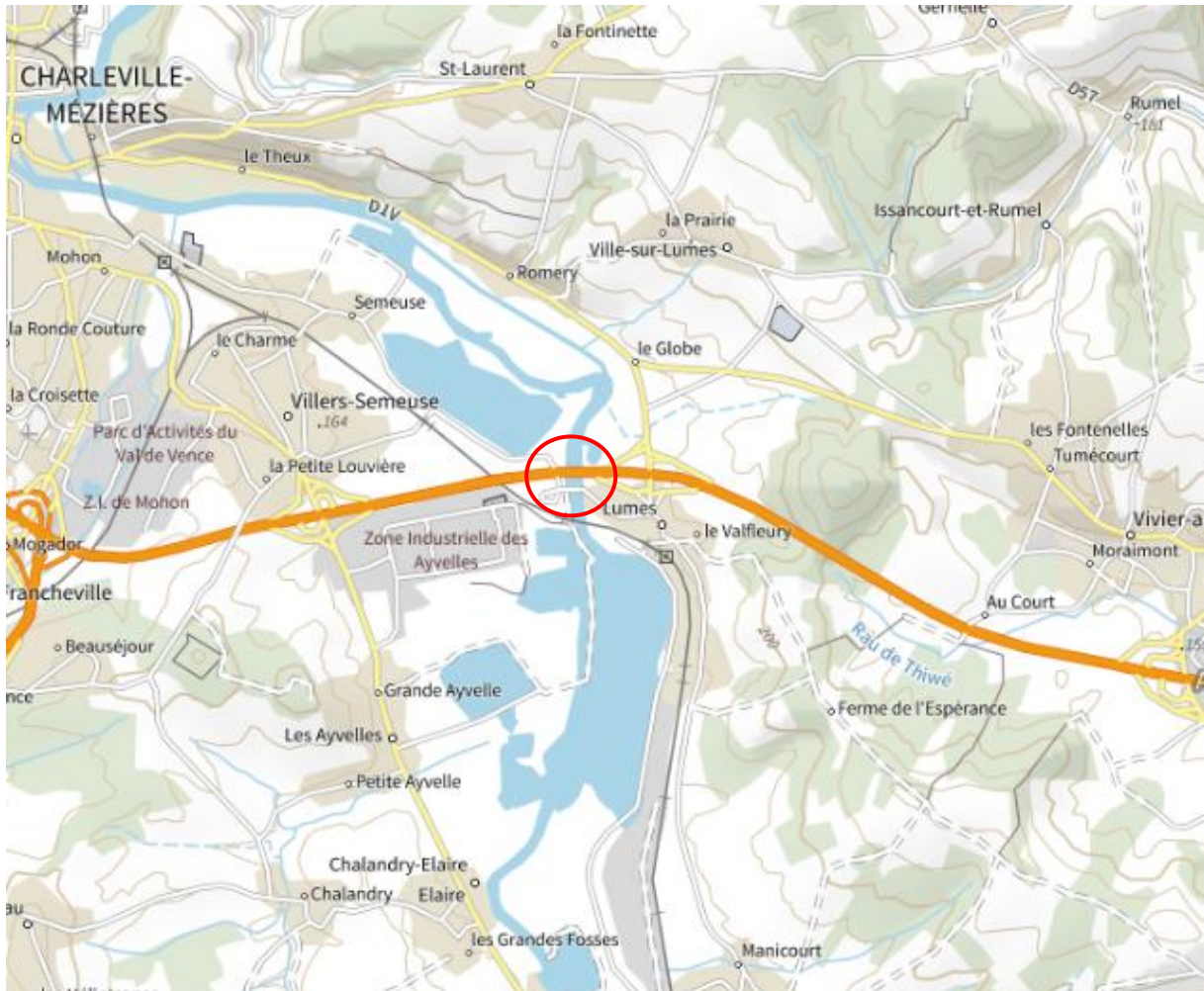


Figure 1 : Plan de situation de l'ouvrage (Source : www.geoportail.gouv.fr)

II.6.2 Plan d'orientation

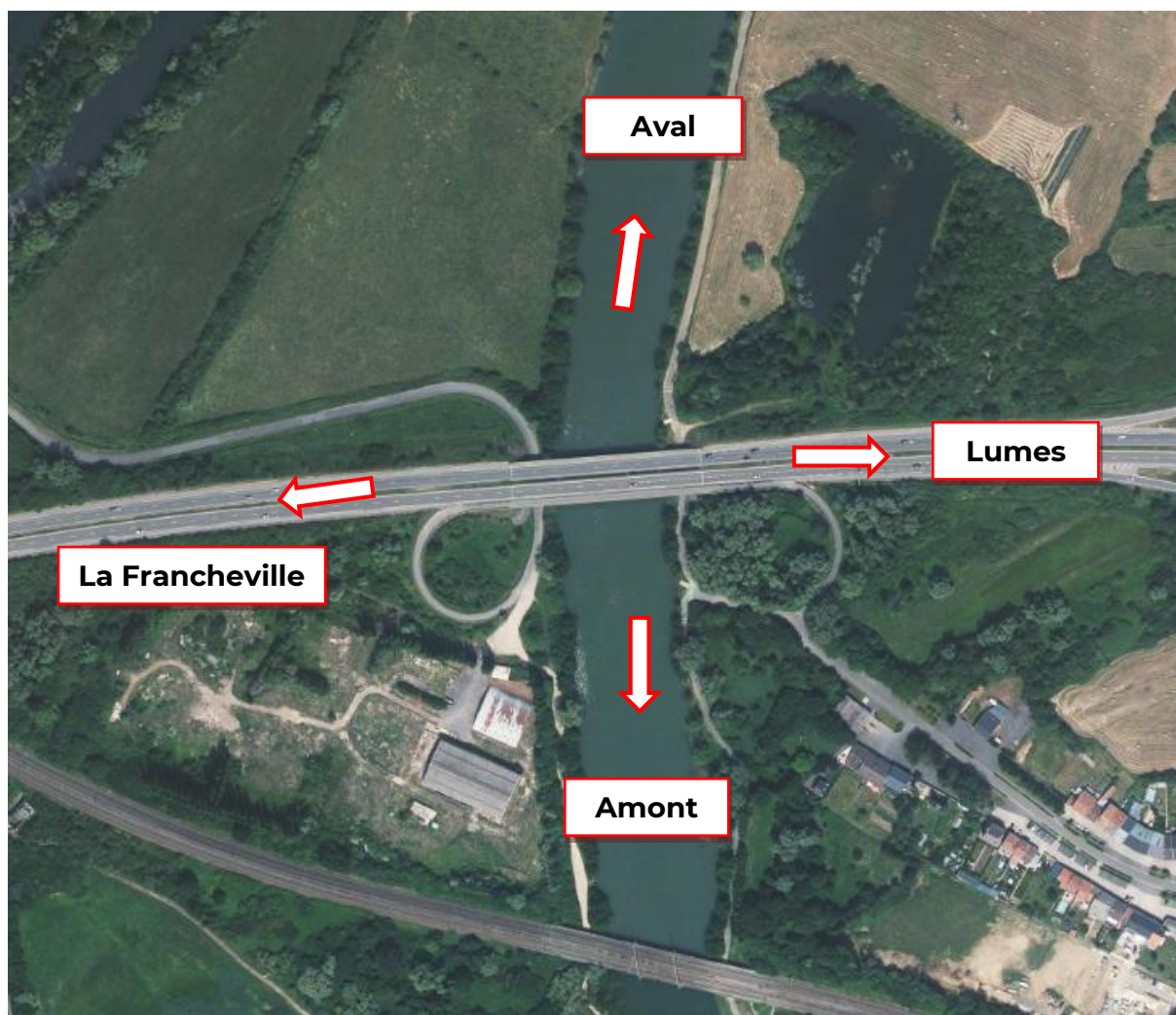


Figure 2 : Plan d'orientation de l'ouvrage (Source : www.geoportail.gouv.fr)

III Documents de référence

III.1 Documents disponibles en notre possession

De nombreux documents sont disponibles, fournis par la Maîtrise d'Ouvrage.

On les regroupera en plusieurs Dossiers :

1. Dossier d'étude : comprenant les rapports d'analyse amiante, le rapport des essais arbalètes ainsi que les documents d'investigation ;
2. Dossier de gestion : rassemblant les rapports d'inspection et les fiches IQOA ;
3. Dossier photographique : contenant une collection de photos prises entre 2005 et 2020 ;
4. Dossier de recellement : regroupant les plans d'archives relatifs à la construction

A noter, certains documents fournis, n'entrant pas dans le périmètre de l'étude ou clairement inexploitable, ont été retirés des listes ci-dessous.

III.1.1 Dossier d'étude

III.1.1.a Amiante

N°	Document	Auteur	Date	Nom du fichier
[1.1.1]	Diagnostic amiante et HAP du tablier droit	Atemac diagnostic et contrôle routier	07/2019	2019-A34 (08)-PR 26+000 à 32+000-D
[1.1.2]	Diagnostic amiante et HAP du tablier gauche	Atemac diagnostic et contrôle routier	07/2019	2019-A34 (08)-PR 26+000 à 32+000-G

III.1.1.b Investigation

N°	Document	Auteur	Date	Nom du fichier
[1.2.1]	Rapport de diagnostic béton	CEREMA	02/2022	Diagnostic béton
[1.2.2]	Rapport de mesures de tension à l'arbalète	CEREMA	03/2022	Rapport arbalète - PI2 A34 v2_signe_AD_JJB_CM

[1.2.3]	Rapport d'investigation enrobé et dalle de transition	Rincent investigations	07/2022	R.22A.010 - Investigations - PI0, PI1 et PI2 à Villers-Semeuse et Lumes
[1.2.4]	Dossier d'étude de faisabilité de remplacement DBA	CETE Nord Picardie	03/2012	Etude de faisabilité remplacement DBA

III.1.2 Dossier de gestion

N°	Document	Auteur	Date	Nom du fichier
[2.1]	Synthèse de l'évolution des principaux défauts rencontrés 2006/2015 et 2015/2020	CEREMA	2020/2021	IDP2021R_A34-0400-TD_A34-0400-TG
[2.2]	Planche technique des désordres et bathymétrie	CEREMA		IDPsub2020P_A34-0400-TD_A34-0400-TG
[2.3]	Rapport d'inspection détaillée subaquatique du pont PI 2	CEREMA	11/2020	IDPsub2020R_A34-0400-TD_A34-0400-TG
[2.4]	Fiche de synthèse du tablier droit	IQOA ponts	07/2021	IQOA_A34-0400-TD
[2.5]	Fiche de synthèse du tablier gauche	IQOA ponts	07/2021	IQOA_A34-0400-TG

III.1.3 Dossier de photos

N°	Document	Auteur	Date	Nom du fichier
[3.1]	Photos des joints de chaussée		08/2005	20050829
[3.2]	Photos des piles et des culées		07/2008	20080707
[3.3]	Photos de l'intérieur des caissons, des appareils d'appuis et joints de chaussée		07/2008	20080708
[3.4]	Photos des dispositifs de retenue		09/2011	20110921
[3.5]	Photos des joints de chaussée et des dispositifs de retenue		09/2013	20130925
[3.6]	Photos des dispositifs de retenue		03/2020	20200304_ anti-reflet

III.1.4 Dossier de récolement

III.1.4.a Documents d'exécution tablier amont

N°	Document	Auteur	Date	Nom du fichier
[4.1.1]	Plan de ferrailage des piles	INFRA NORD-EST	03/06/1969	a065
[4.1.2]	Plan de ferrailage des pieux	INFRA NORD-EST	03/06/1969	a066
[4.1.3]	Joint de chaussée	INFRA NORD-EST	03/06/1969	a067
[4.1.4]	Plan des emplacements disponibles	INFRA NORD-EST	03/06/1969	a068
[4.1.5]	Plan de situation, vue en plan, élévation et coupe longitudinale	-	-	a070
[4.1.6]	Sondage géotechnique N°1	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a071

[4.1.7]	Sondage géotechnique N°2	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a072
[4.1.8]	Sondage géotechnique N°3	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a073
[4.1.9]	Sondage géotechnique N°4	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a074
[4.1.10]	Plan de situation, vue en plan, élévation et coupe longitudinale	-	-	a075
[4.1.11]	Plan de situation, vue en plan, élévation et coupe longitudinale	-	-	a076
[4.1.12]	Plan de ferrailage d'un voussoir ½ coupe coté tablier aval	E Berthold	02/04/1971	a077
[4.1.13]	Plan de ferrailage d'un voussoir ½ coupe coté RD34	E Berthold	02/04/1971	a078
[4.1.14]	Plaque d'about	E Berthold	02/04/1971	a079
[4.1.15]	Détails glissières de sécurité et garde-corps	E Berthold	11/03/1972	a080
[4.1.16]	Plan de ferrailage de la pile rive gauche	E Berthold	06/12/1969	a081
[4.1.17]	Plan de ferrailage de la pile rive droite	E Berthold	06/12/1969	a082
[4.1.18]	Plan de ferrailage des pieux et de la semelle des culées	E Berthold	22/12/1969	a083
[4.1.19]	Plan de ferrailage du chevêtre et des poteaux des culées	E Berthold	26/12/1969	a084
[4.1.20]	Résultats d'essai des éprouvette béton	-	1973	a085
[4.1.21]	Résultats d'essai des éprouvette béton	-	1973	a086

[4.1.22]	Rapport d'étude géotechnique	Laboratoire régional des ponts et chaussées de St-Quentin	06/02/1969	Scan_to_SMB_7_2 0250418_084952
[4.1.23]	Rapport d'essai de chargement de cinq tabliers	Laboratoire régional des ponts et chaussées de St-Quentin	23/09/1974	Scan_to_SMB_10_2 0250418_085421
[4.1.24]	Essai de béton		1972/1973	Scan_to_SMB_13_2 0250418_085940
[4.1.25]	Essai de béton à la compression	Laboratoire départemental des Ardennes	1972/1973	Scan_to_SMB_15_2 0250418_090131
[4.1.26]	Essai de béton à la compression	Laboratoire départemental des Ardennes	1973	Scan_to_SMB_20_2 0250418_094517
[4.1.27]	Essai de béton à la compression	Laboratoire départemental des Ardennes	1972/1973	Scan_to_SMB_24_2 0250418_095035

III.1.4.b Documents d'exécution tablier aval

N°	Document	Auteur	Date	Nom du fichier
[4.2.1]	Bordereau	Direction départementale de l'équipement des Ardennes	1972/1973	a041
[4.2.2]	Plan de situation 1/50 000	Direction départementale de l'équipement	10/10/1968	a042

		ent des Ardennes		
[4.2.3]	Plan de situation 1/100 000	Direction départementale de l'équipement des Ardennes	-	a043
[4.2.4]	Plan d'élévation	Direction départementale de l'équipement des Ardennes	-	a044
[4.2.5]	Plan des lieux	Direction départementale de l'équipement des Ardennes	-	a045
[4.2.6]	Profil en long	Direction départementale de l'équipement des Ardennes	-	a046
[4.2.7]	Plan de coffrage des piles	Direction départementale de l'équipement des Ardennes	-	a047
[4.2.9]	Sondage géotechnique N°1	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a049
[4.2.10]	Sondage géotechnique N°2	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a050
[4.2.11]	Sondage géotechnique N°3	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a051

[4.2.12]	Sondage géotechnique N°4	Laboratoire régional de St-Quentin	-	a052
[4.2.13]	Batardeau des piles	TRUCHET ET TANSINI	23/10/1972	a053
[4.2.14]	Plan de coffrage des piles	TRUCHET ET TANSINI	12/04/1973	a054
[4.2.15]	Plan de ferrailage des piles	TRUCHET ET TANSINI	20/11/1972	a055
[4.2.16]	Plan de coffrage de la prédalle du tablier	TRUCHET ET TANSINI	15/02/1973	a056
[4.2.17]	Plans de câblage des poutres du bétonnage de la phase 1 travée RD	TRUCHET ET TANSINI	19/02/1973	a057
[4.2.18]	Plans de câblage des poutres du bétonnage de la phase 2 travée centrale	TRUCHET ET TANSINI	19/02/1973	a058
[4.2.19]	Plan de ferrailage du tablier	TRUCHET ET TANSINI	14/03/1973	a059
[4.2.20]	Plans de câblage des poutres du bétonnage de la phase 3 travée RG	TRUCHET ET TANSINI	29/02/1973	a060
[4.2.21]	Détails des armatures du tabliers	TRUCHET ET TANSINI	08/03/1973	a061
[4.2.22]	Détails des joints de chaussée	TRUCHET ET TANSINI	09/03/1973	a062
[4.2.23]	Nomenclature du plan du document « a055 »	TRUCHET ET TANSINI	27/10/1972	Scan_to_SMB_1_2 0250417_165925
[4.2.24]	Note de calcul flexion longitudinale du tablier	TRUCHET ET TANSINI	10/11/1972	Scan_to_SMB_4_2 0250417_170148

[4.2.25]	Annexe électronique de la flexion longitudinale du tablier	TRUCHET ET ET TANSINI	10/11/1972	Scan_to_SMB_5_2 0250417_170435
[4.2.26]	Note de calcul de la stabilité des appuis	TRUCHET ET ET TANSINI	15/11/1972	Scan_to_SMB_6_2 0250417_170939
[4.2.27]	Note de calcul de la flexion transversale du tablier	TRUCHET ET ET TANSINI	16/01/1973	Scan_to_SMB_7_2 0250417_171038
[4.2.28]	Nomenclature du plan du document « a056 »	TRUCHET ET ET TANSINI	17/07/1973	Scan_to_SMB_8_2 0250417_171108
[4.2.29]	Nomenclature du plan du document « a059 »	TRUCHET ET ET TANSINI	09/02/1973	Scan_to_SMB_11_2 0250417_171746
[4.2.30]	Bordereau	-	1972/1973	Scan_to_SMB_16_ 20250417_172304
[4.2.31]	Bordereau	-	1972/1973	Scan_to_SMB_17_ 20250417_172422

III.1 Commentaires sur les documents

III.1.1 Dossier d'étude

Les documents disponibles couvrent principalement les investigations techniques et diagnostics réalisés en phase d'étude.

On y retrouve notamment le diagnostic amiante et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) de 2019 sur l'enrobé, le diagnostic béton de 2022, les investigations sur l'enrobé réalisées en 2022, la mesure de tension à l'arbalète ainsi que le dossier d'étude de faisabilité de remplacement de la DBA.

On retiendra les points suivants :

- Aucun plan topographique (profils en long, en travers, vues en plan, élévations) n'est disponible pour les deux tabliers,
- Les diagnostics confirment l'absence d'amiante dans l'enrobé, mais mettent en évidence une contamination en HAP supérieure à 50 mg/kg MS, nécessitant la mise en place de mesures spécifiques lors des travaux [1.1.1] et [1.1.2]. En revanche, aucun diagnostic amiante n'a été réalisé sur les bétons du tablier ;
- Le diagnostic béton n'a révélé aucun risque de corrosion des armatures lié à la carbonatation. De même, les profils de pénétration des ions chlorures n'ont indiqué aucun risque de dépassement des armatures [1.2.1] ;
- Les mesures de tension résiduelle à l'arbalète réalisée indiquent une perte de tension de l'ordre de 20 à 35% par rapport à la tension initiale pour les armatures de type 30Φ7, 30 à 35% par rapport à la valeur de tension initiale

indiquée dans l'agrément ministériel du 27 décembre 1966 pour les armatures de type 12Φ8 et de 10 à 25% par rapport à la valeur de tension initiale indiquée dans l'agrément ministériel du 27 décembre 1966 pour les armatures de type 12T13 [1.2.2]

- L'épaisseur moyenne d'enrobé au droit des deux tabliers est de 8 cm pour le tablier Charleville/Sedan et de 13 cm pour le tablier Sedan/Charleville [1.2.3].

III.1.2 Dossier de gestion

Les documents de ce dossier dressent un suivi de l'évolution de l'ouvrage dans le temps entre 2006 et 2020, notamment via les inspections détaillées et les visites IQOA.

À retenir :

- Le document [2.1] retrace les évolutions principales des désordres entre 2006 et 2015 et entre 2015 et 2020. Il sert de base comparative entre les inspections anciennes et les pathologies actuelles.
- Les fiches IQOA [2.4] et [2.5] fournissent une classification des différentes parties et équipements de l'ouvrage. Elles classent notamment l'ouvrage en classe 3, notant des équipements (classe 2E) et le tablier (classe 3).
- Le document [2.2] fournit les planches techniques et la bathymétrie de l'ouvrage.
- Le rapport d'inspection détaillée subaquatique ne relève aucun désordre majeur [2.3].

III.1.3 Dossier photographique

Ce dossier comporte une série de photos prises entre 2005 et 2020. Elles montrent principalement les dégradations des joints de chaussée à différentes époques et celles des appareils d'appui avec des infiltrations d'eau.

À retenir :

- Les photos de 2005 [3.1] montrent déjà des désordres sur les joints de chaussée ;
- Les photos de 2008 montrent des dégradations des appareils d'appui et des infiltrations d'eau au droit des culées [3.3] ;
- Les photos de 2013 montrent des désordres sur les joints de chaussée et les caniveaux [3.5];
- Les photos de 2020 montrent les dégradations des dispositifs antireflets [3.6];

III.1.4 Dossier de récolement

Ce dossier regroupe les documents d'archives datant de la construction de l'ouvrage (1971-1973).

À retenir, tablier amont :

- Les documents [4.1.1] et [4.1.2] présentent le plan de ferrailage des piles et le plan de ferrailage des pieux des culées ;
- Les documents [4.1.6], [4.1.7], [4.1.8] et [4.1.9] montrent les caractéristiques des sols à travers 4 sondages géotechniques ;
- Les documents [4.1.5], [4.1.10] et [4.1.11] sont identiques et présentent le plan de situation, la vue en plan, l'élévation et la coupe longitudinale ;
- Les documents [4.1.12] et [4.1.13] présentent respectivement le plan de ferrailage d'un voussoir en $\frac{1}{2}$ coupe côté amont et côté aval ;
- Les documents [4.1.16] et [4.1.17] présentent respectivement le plan de ferrailage de la pile rive gauche et rive droite ;
- Le document [4.1.18] présente les plans de ferrailage des pieux et de la semelle des culées, tandis que le document [4.1.19] illustre le ferrailage du chevêtre et des poteaux de culées ;
- Les documents [4.1.20], [4.1.21], [4.1.24], [4.1.25], [4.1.26] et [4.1.27] présentent les résultats des essais réalisés sur les éprouvettes de béton ;
- Le document [4.1.23] présente le rapport d'essai de chargement réalisé à la réception des ouvrages.
- Il manque les plans de ferrailage et la disposition des pieux des piles ;
- Il existe 44 autres documents de projets regroupant, en grande partie les mêmes informations que les documents d'exécution.

À retenir, tablier aval :

- Les documents [4.2.2] et [4.2.3] montrent respectivement le plan de situation sur l'échelle de 1/50 000 et 1/100 000 ;
- Le document [4.2.6] montre le profil en long ;
- Les documents [4.2.9], [4.2.10], [4.2.11] et [4.2.12] montrent les caractéristiques des sols à travers 4 sondages géotechniques ;
- Le document [4.2.14] montre le plan de coffrage des piles tandis que le document [4.2.15] montre le plan de ferrailage ;
- Le document [4.2.16] présente le plan de coffrage de la prédalle du tablier tandis que le document [4.2.19] montre le plan de ferrailage du tablier ;
- Les documents [4.2.17], [4.2.18] et [4.2.20] présentent les plans de câblage des poutres correspondant respectivement aux phases 1, 2 et 3 de la construction du tablier, de la rive droite vers la rive gauche ;

- Les documents [4.2.24], [4.2.26] et [4.2.27] présentent respectivement les notes de calcul de la flexion longitudinale du tablier, de la stabilité des appuis et de la flexion transversale. Le document [4.2.25] présente l'annexe électronique de la flexion longitudinale ;
- Il manque les plans de ferrailage et la disposition des pieux des piles ;
- Il manque également les plans de ferrailage, les vues et élévations des culées du tablier aval ;
- Il existe d'autres documents dont la nature, plans d'exécution ou de projet, n'est pas clairement identifiée.

III.2 Synthèse de l'analyse des documents

La lecture des documents permet de faire les constats suivants :

- Le dossier d'étude compile les diagnostics et investigations techniques réalisés entre 2019 et 2022. Il contient notamment les diagnostics amiante et HAP de l'enrobé, une campagne d'investigations sur l'enrobé, un diagnostic béton, ainsi qu'une étude de faisabilité pour le remplacement des dispositifs d'appui. Les analyses ont confirmé l'absence d'amiante dans l'enrobé, mais une contamination en HAP supérieure au seuil réglementaire impose des précautions particulières. Aucun diagnostic amiante n'a cependant été effectué sur les bétons du tablier. Le diagnostic béton n'a révélé aucun risque de corrosion des armatures ni de dépassement liée aux chlorures. Les mesures de tension résiduelle montrent des pertes allant de 10 à 35 %, selon le type d'armature. Enfin, l'épaisseur moyenne de l'enrobé varie entre 8 et 13 cm selon le tablier.
- Le dossier de gestion assure le suivi de l'ouvrage entre 2006 et 2020. Il comprend des rapports d'inspections détaillées, des visites IQOA et des relevés bathymétriques. Le PV d'inspection détaillée permet de comparer l'évolution des désordres constatés au fil du temps. Les fiches IQOA classent globalement l'ouvrage en classe 3, avec une attention particulière sur les équipements (classe 2E) et le tablier (classe 3). L'inspection subaquatique n'a relevé aucun désordre significatif.
- Le dossier photo rassemble des images prises entre 2005 et 2020, illustrant l'évolution de certaines pathologies. Les photos montrent notamment une dégradation progressive des joints de chaussée, des infiltrations d'eau au droit des culées, des désordres sur les caniveaux ainsi que des dommages sur les dispositifs antireflets.
- Ce dossier regroupe les archives de la construction de l'ouvrage (1971-1973) et rassemble pour le tablier amont les plans de ferrailage des piles, culées, voussoirs et chevêtres, des sondages géotechniques, des plans généraux (situation, vue en plan, élévation, coupe), ainsi que des essais sur béton et un rapport d'essai de chargement, bien que les plans de ferrailage et la disposition des pieux de piles soient manquants. Pour le tablier aval, le dossier contient les plans de situation, de profil en long, de coffrage et de ferrailage des piles, de la prédalle et du tablier, ainsi que les plans de câblage des poutres et des notes de calcul de la flexion longitudinale et transversale du tablier et de la stabilité des appuis. Néanmoins, il manque les plans de ferrailage et la disposition des pieux de piles ainsi que les plans

de ferrailage et d'élévation des culées. Enfin, le dossier comprend également 44 documents supplémentaires de projet pour le tablier amont reprenant en grande partie les informations des documents d'exécution, ainsi que d'autres dont la nature (plans d'exécution ou de projet) n'est pas clairement identifiée pour le tablier aval.

IV Etats des lieux et diagnostic

IV.1 Résultats des inspections précédentes

Le rapport d'inspection détaillée de l'ouvrage, établi en 2022, fait état de nombreux désordres d'ordre structurel et fonctionnel. Depuis la précédente inspection de 2015, aucun entretien significatif n'a été réalisé, à l'exception de quelques interventions mineures sur la chaussée. L'inspection a mis en évidence une dégradation progressive de la structure et des équipements.

Les culées présentent une humidité persistante, responsable de la dégradation des appareils d'appui et de la formation d'éclats avec aciers corrodés. La mise en butée des tabliers contre les murs garde-grève reste toujours d'actualité. Des fissures et éclats ont également été relevés au niveau des piles, accompagnés d'une corrosion avancée sur les frettes.

À l'intérieur des caissons, la fissuration s'est accentuée et de nouveaux éclats avec aciers apparents ont été repérés. Un tuyau de gargouille cassé provoque une stagnation d'eau dans le caisson amont. À l'extérieur, la corrosion des aciers s'est intensifiée, certains éléments étant très altérés ou rompus.

Les entretoises, notamment celles d'about côté Sedan, montrent une dégradation marquée avec de nombreux éclats et ruptures d'aciers. Les équipements (garde-corps, glissières, trottoirs, joints) présentent de multiples défauts : corrosion, fissuration, désalignements, étanchéité défectueuse.

Une cotation IQOA 3S a été attribuée à l'ouvrage en raison de la gravité des désordres structurels et des équipements de sécurité défaillants. Des travaux de réparation et de remise en état sont indispensables, ainsi que des études complémentaires pour vérifier la conformité structurelle de l'ouvrage aux sollicitations actuelles.

IV.2 Désordres observés sur les appuis et zones d'appui

L'inspection a mis en évidence une dégradation avancée des appareils d'appui, notamment au niveau des culées. Les plaques d'élastomère présentent des gerçures généralisées, des phénomènes de désadhérisation et des distorsions importantes, traduisant une perte d'efficacité mécanique. Dans certains cas, une compression excessive a été observée, provoquant un défaut de contact avec le hourdis. Les frettes métalliques, qui assurent le confinement des élastomères, sont affectées par une corrosion importante, allant jusqu'à une oxydation avancée sur plusieurs appuis.

Les bossages supportant les appareils d'appui montrent également des signes préoccupants. Certains sont fissurés ou éclatés, révélant des aciers apparents corrodés. Cette situation est observée tant sur les culées que sur les piles. Sur les piles de l'ouvrage aval, l'inspection a été partiellement gênée par la présence de bois de coffrage laissé en place, ce qui empêche d'évaluer complètement l'état des appuis. Toutefois, des dés cassés avec aciers exposés et oxydés ont été signalés sur plusieurs points.

Les zones d'appui, notamment les sommiers, sont également affectées. Une stagnation d'eau persistante, liée à un mauvais fonctionnement des joints de chaussée et des dispositifs d'évacuation, favorise la corrosion des éléments métalliques. Les sommiers sont souvent encombrés de terre, de gravats ou de boues, ce qui complique l'entretien et aggrave les désordres. À cela s'ajoute un affouillement prononcé sous la dalle de transition côté Sedan, mettant en cause la stabilité locale des zones d'appui.

Un point particulièrement critique concerne la mise en butée des tabliers contre les murs garde-grève aux extrémités de l'ouvrage. Ce contact anormal génère des efforts parasites sur les appuis, entraînant des éclats de béton importants avec aciers corrodés, notamment sur les goussets et les corbeaux. Cette configuration limite les jeux nécessaires au bon fonctionnement des appuis et accentue les désordres déjà présents.

Dans l'ensemble, l'état des appuis et des zones d'appui est jugé préoccupant, avec une évolution défavorable depuis la dernière inspection. Ces désordres ont motivé l'attribution d'une cotation IQOA de niveau 3, traduisant un besoin de réparations lourdes ou de remplacement des appareils d'appui, après étude approfondie du comportement structurel de l'ouvrage.

IV.3 Accessibilité aux zones de vérinage

L'accessibilité aux zones de vérinage de l'ouvrage PI2 est contrainte par plusieurs facteurs, notamment sa configuration structurelle, la topographie du site, ainsi que la présence de la Meuse. Cet ouvrage, de type pont-caisson en béton précontraint à trois travées continues, présente des points de vérinage localisés au droit des culées et des piles intermédiaires.

L'accès aux appareils d'appui peut s'avérer difficile en raison de la faible hauteur disponible entre le tablier et les perrés de culées, ce qui limite l'espace de manœuvre pour intervenir au niveau des appuis. L'installation de vérins ou d'équipements temporaires peut être difficile sans aménagement préalable.

Concernant les piles intermédiaires, la traversée de la Meuse complique fortement l'accès aux zones de vérinage. Pour permettre une intervention en toute sécurité, la mise en place de plateformes de travail fixées par bridage sur les piles sera indispensable.

V Contraintes spécifiques

V.1 Trafic

Les opérations de vérinage seront réalisées tablier par tablier. Lors du vérinage du tablier assurant le sens Sedan vers Charleville-Mézières, le tablier du sens Charleville-Mézières vers Sedan sera neutralisé, et inversement lors de l'intervention sur le second tablier.

La route départementale RD34 sera, quant à elle, fermée pendant toute la durée des opérations.

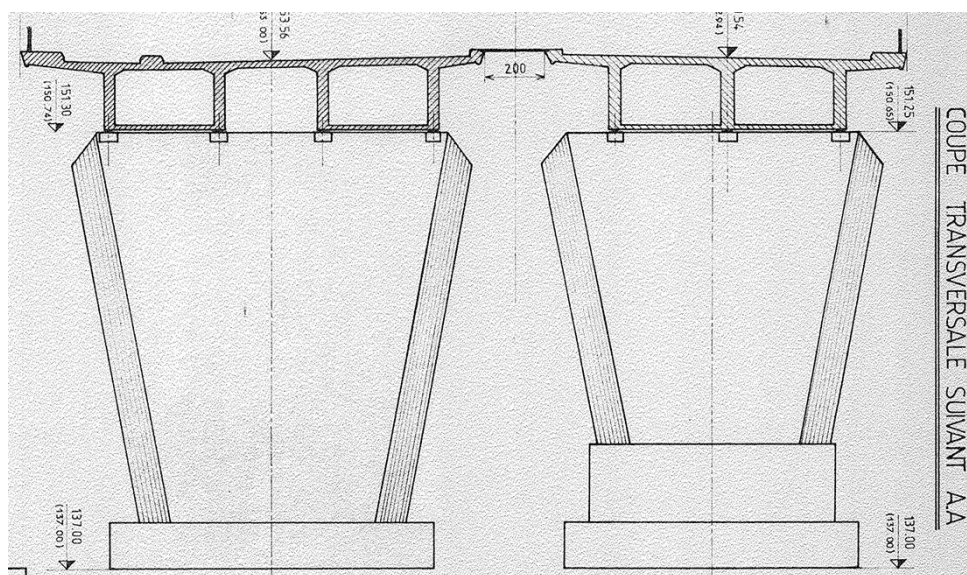
V.2 Emplacement des vérins

Les vérins seront installés sur les niches prévues à cet effet, situées au niveau des culées et au droit des piles, telles qu'elles ont été réalisées lors de la construction de l'ouvrage. Il conviendra de vérifier, à l'aide des plans de ferrailage, la présence effective des frettages aux emplacements concernés, ainsi que de s'assurer que les contraintes induites par le vérinage demeurent inférieures à la résistance admissible du béton.

Les appareils d'appuis mis en place sur ces ouvrages sont des appareils d'appuis en élastomère fretté.

Le tablier amont comporte 4 appareils d'appui par ligne d'appui, tandis que le tablier aval en comporte 3 par ligne. Chaque appareil d'appui est situé au droit d'une âme du tablier.

Le schéma ci-dessous précise la répartition des appareils d'appuis.



V.3 Blocage du tablier

Le tablier de l'ouvrage PI2 est actuellement en butée contre les goussets des murs garde-grève à ses deux extrémités, côté Charleville et Sedan. Ce contact anormal s'est établi progressivement au fil du temps, empêchant tout mouvement longitudinal normal du tablier, qui est pourtant indispensable au bon fonctionnement structurel de l'ouvrage.

Ce blocage a provoqué des désordres visibles : éclats de béton avec aciers apparents et corrodés au droit des goussets, fissuration localisée et dégradation des zones d'appui. Il entraîne également des efforts parasites sur les appareils d'appui, déjà fortement détériorés, accentuant leur usure et réduisant leur efficacité.

Plusieurs causes peuvent expliquer cette situation : les effets thermiques non pris en compte lors de la conception, ainsi qu'une absence ou insuffisance de jeux initiaux entre tablier et murs. Le vieillissement des matériaux et le mauvais état des dispositifs d'évacuation des eaux ont également aggravé le phénomène.

Avant toute intervention de vérinage ou de remplacement des appuis, ce blocage devra être levé par des travaux de sciage ou de démolition localisée des murs gardes grèves.

V.4 Fondations

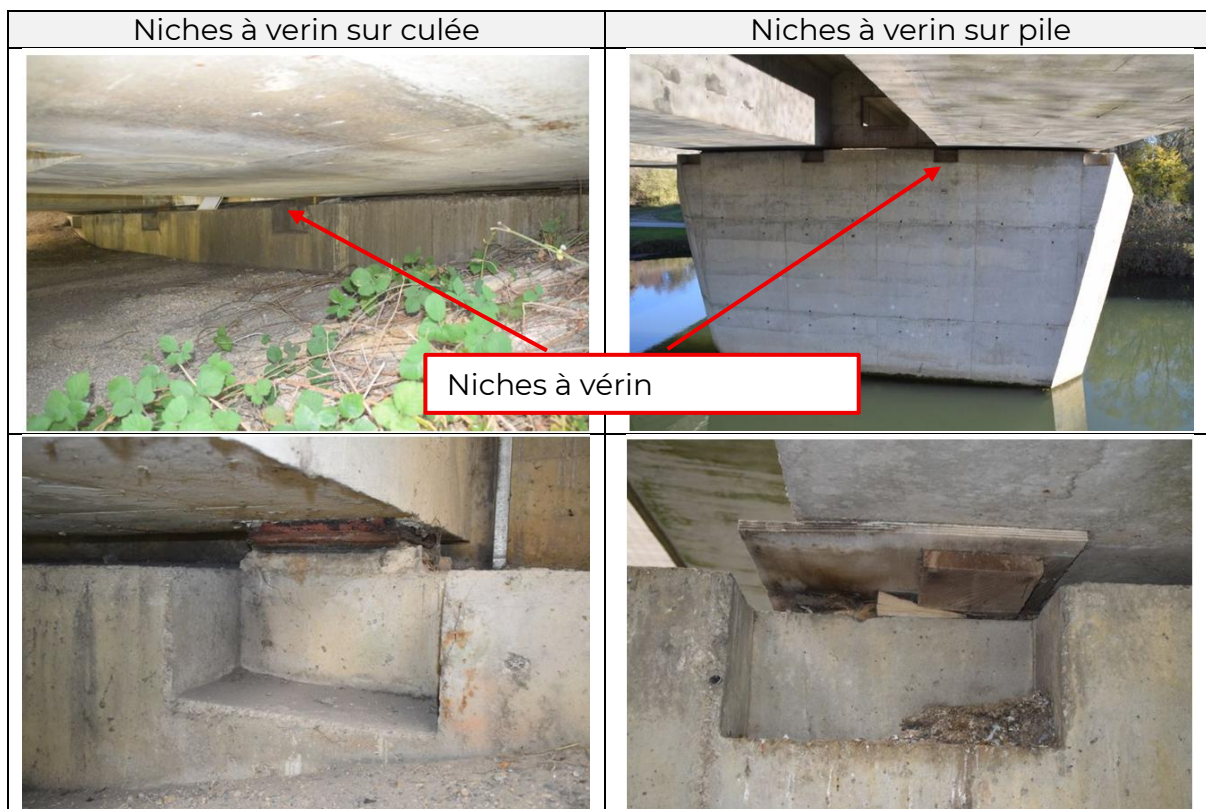
Le dossier de récolement comporte de nombreuses lacunes concernant les fondations (pieux, semelles) ainsi que le ferrailage des culées et des piles, ce qui rend toute vérification structurelle impossible. Néanmoins, si la mise en place des niches à vérins avait bien été prévue et justifiée lors de la construction de l'ouvrage, la configuration actuelle, avec un vérinage à vide, ne devrait pas poser de difficulté particulière.

VI Solution de vérinage

La présence de niches de vérinage intégrées aux chevêtres, tant au niveau des culées que de la pile, dès la construction de l'ouvrage, permet l'utilisation de vérins positionnés directement à l'aplomb des appuis. En conséquence, la solution retenue consiste à exploiter ces dispositifs existants pour réaliser le vérinage depuis les emplacements prévus.

Ces niches avaient été prévues et mises en œuvre lors de la construction initiale, ce qui autorise un dispositif de levage conforme à la conception d'origine. Par ailleurs, un allègement de la structure, notamment par le décapage de l'enrobé, permettra de rapprocher les conditions actuelles de celles qui prévalaient en phase de chantier.

Avant toute opération, une vérification de la contrainte admissible du béton et de l'état des aciers dans les niches à vérins devra être réalisée. Il conviendra également de s'assurer que le tablier est en mesure de reprendre les efforts induits par le dénivellement temporaire lié au vérinage.



VII Opération préliminaire

Les inspections détaillées ont révélé que le tablier est en butée contre le mur garde-grève, ce qui constitue un obstacle au soulèvement de l'ouvrage. Afin de permettre le vérinage, il sera indispensable de libérer les deux extrémités du tablier en procédant au sciage partiel du mur garde-grève. Cette opération constitue une étape préalable incontournable avant toute mise en œuvre des vérins.

Par ailleurs, des investigations complémentaires devront être réalisées pour identifier la présence éventuelle de réseaux incorporés ou fixés au tablier (gaz, eau, électricité, etc.). En fonction des résultats, des mesures devront être prises, soit pour les déconnecter temporairement, soit pour leur conférer une souplesse suffisante afin d'accompagner les mouvements du tablier sans dommages.

Les joints de chaussée devront être déposés avant le vérinage puis remplacés après l'opération. Cette précaution est d'autant plus nécessaire que le tablier Sud comporte deux joints de chaussée à revêtement amélioré, lesquels empêchent tout déplacement du tablier.

Les caillebotis comblant les 2 m séparant les deux tabliers doivent être retirés avant le vérinage..

VIII Principes de justification des calculs

La solution de vérinage retenue nécessite des justifications des tabliers, des piles et des culées.

VIII.1 Dénivellation du tablier

L'approche retenue consiste à comparer les sollicitations (moments sur appuis et en travée) générées par les charges du Fascicule 61, Titre 2, à celles induites par la dénivellation des appuis. L'objectif est de déterminer la dénivellation maximale admissible du tablier, au niveau des culées et des piles, sans dépasser les sollicitations de référence définies par le Fascicule 61.

VIII.1 Stabilité des piles et culées

L'axe des niches de vérins est excentré par rapport à l'axe des appareils d'appui, ce qui pourrait entraîner un risque de renversement des piles et des culées lors du vérinage si cet excentrement n'est pas justifié. Par conséquent, la stabilité des piles et des culées sera vérifiée en considérant un excentrement des vérins de 35 cm par rapport à l'axe des appareils d'appui des culées et de 85 cm par rapport à l'axe des appareils d'appui des piles.

VIII.2 Vérification des frettages

Il est nécessaire de vérifier le ferrailage des zones d'appui des vérins afin de garantir leur résistance et d'écarter tout risque de poinçonnement et de rupture.

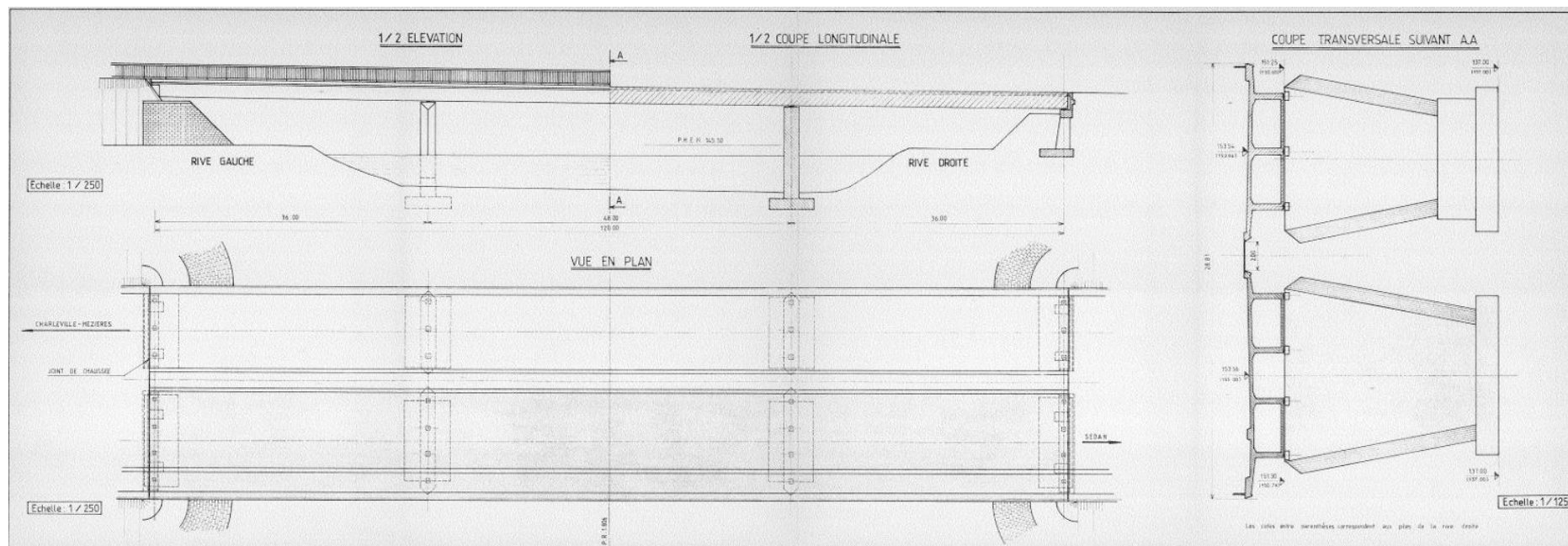
IX Descente de charge

La structure a été modélisée à l'aide du logiciel de calcul aux éléments finis SCIA Engineer. Les plans des archives suivantes ont été utilisée pour la modélisation de la structure.

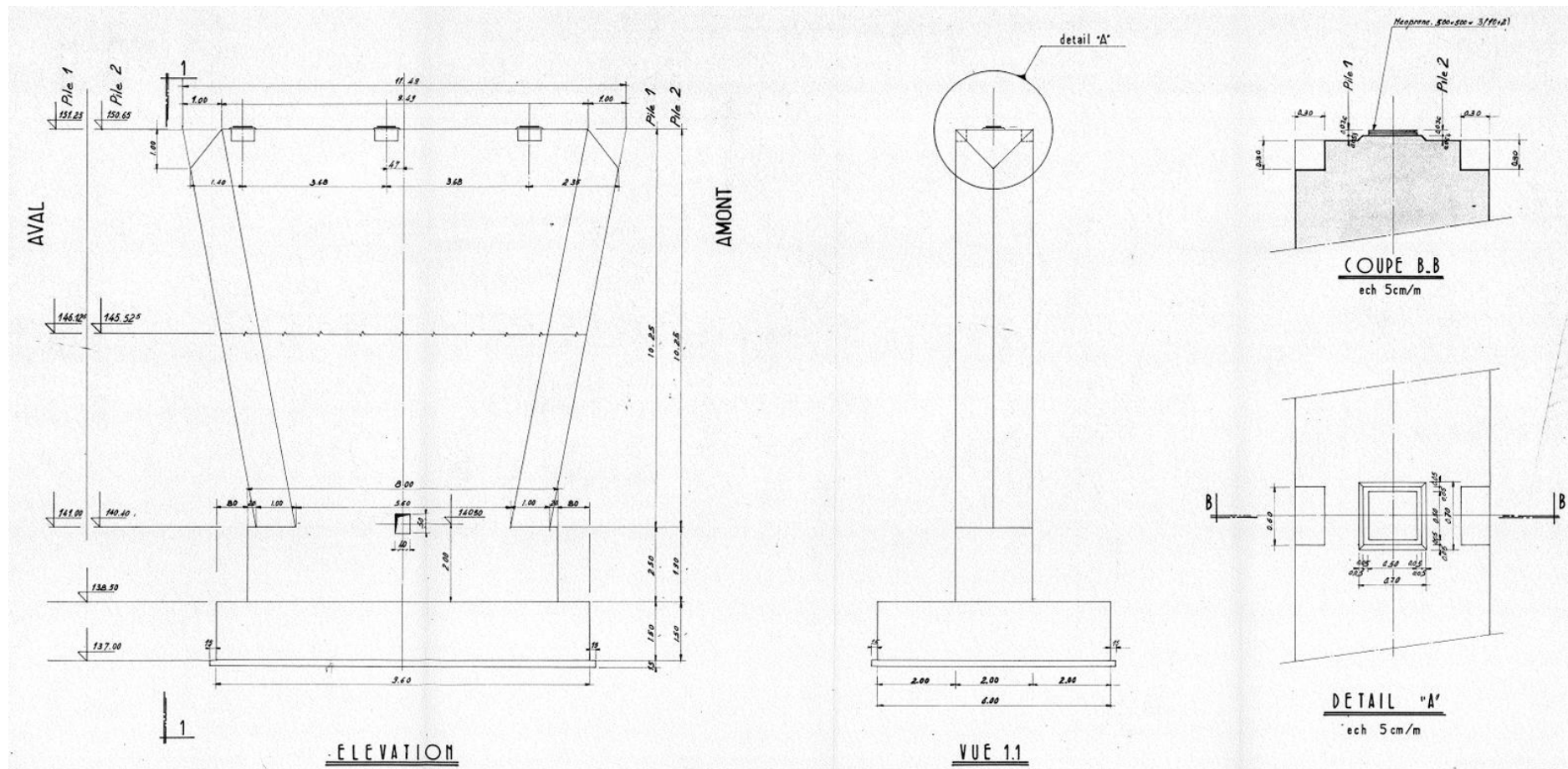
IX.1 Vue en plan, élévations, coupes et détails

Les documents graphiques présentés ci-dessous sont extraits des plans d'archive.

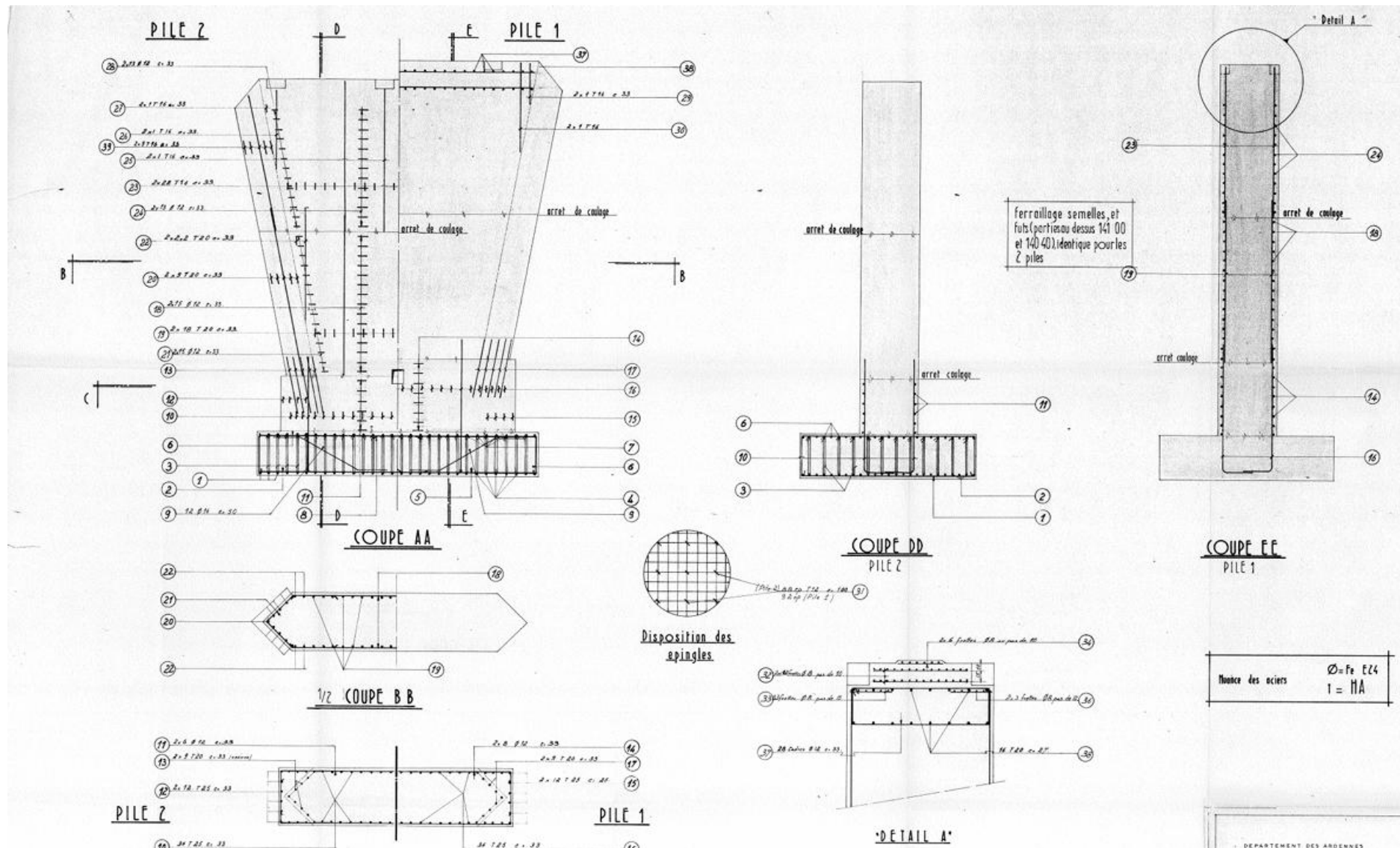
IX.1.1 Vue en plan, élévation et coupe



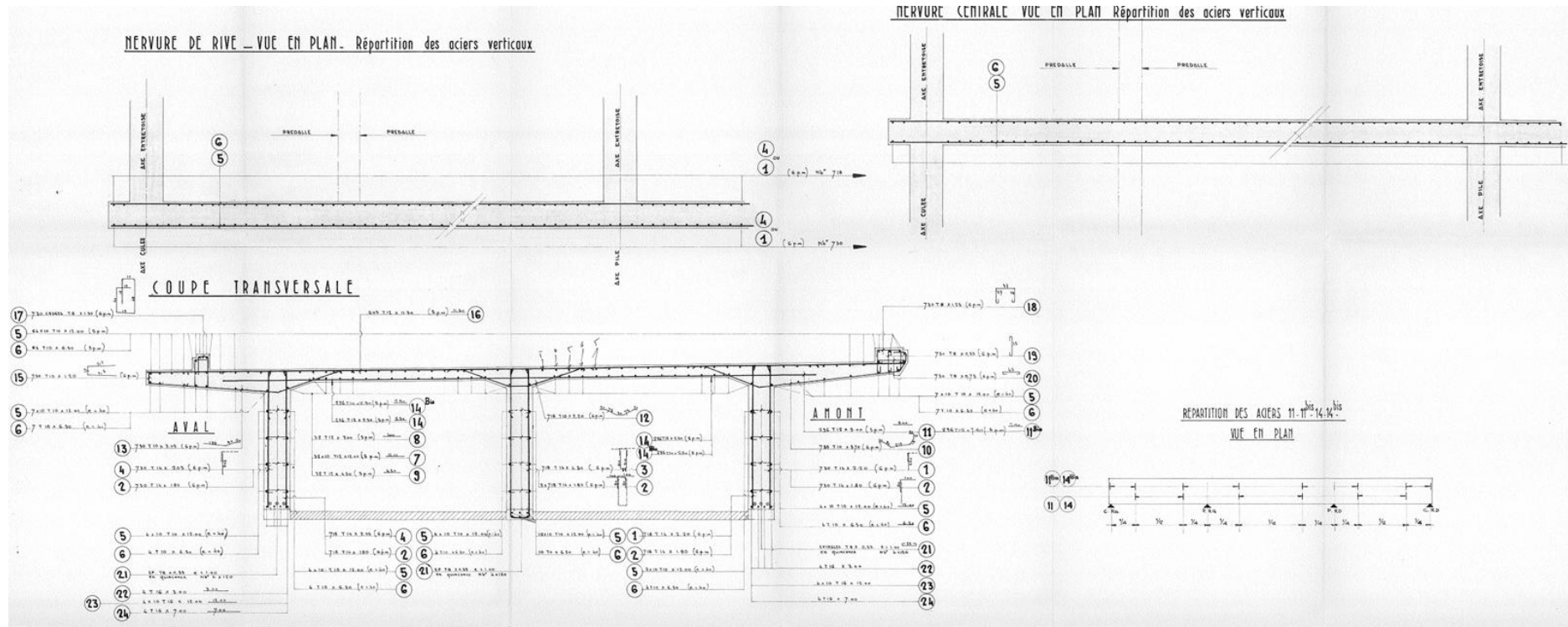
IX.1.2 Elévation et vue d'une pile tablier aval



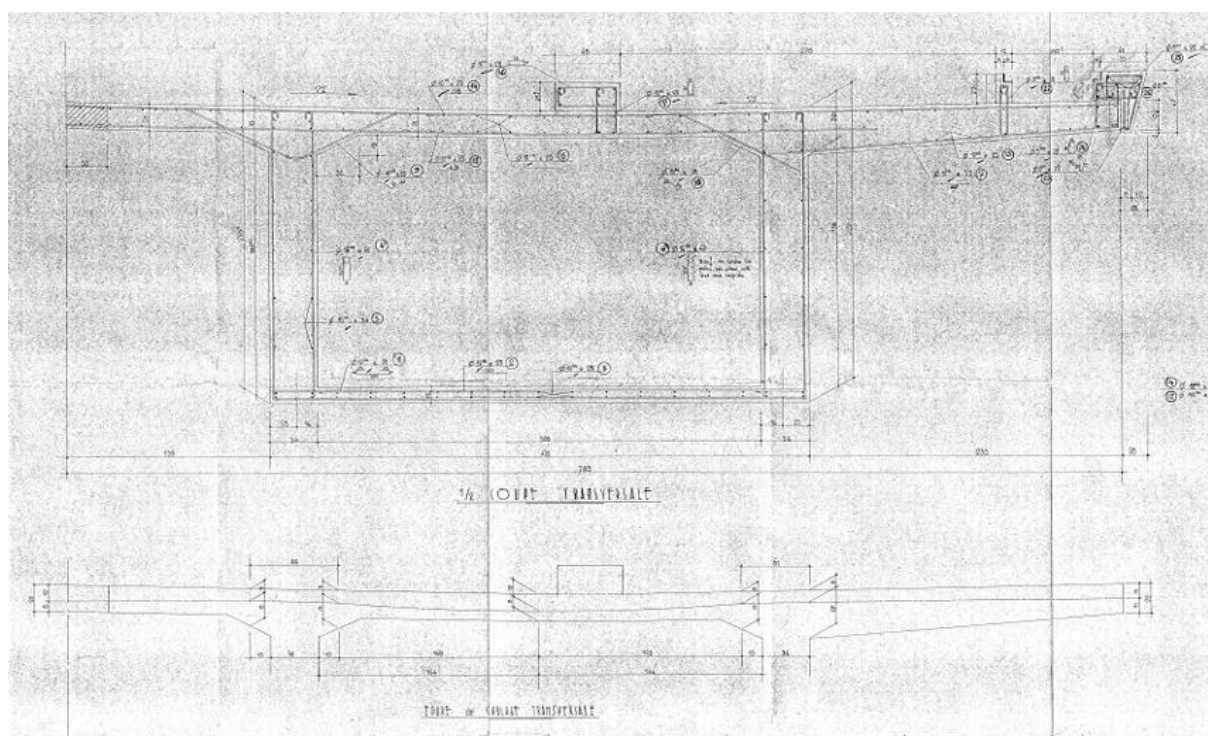
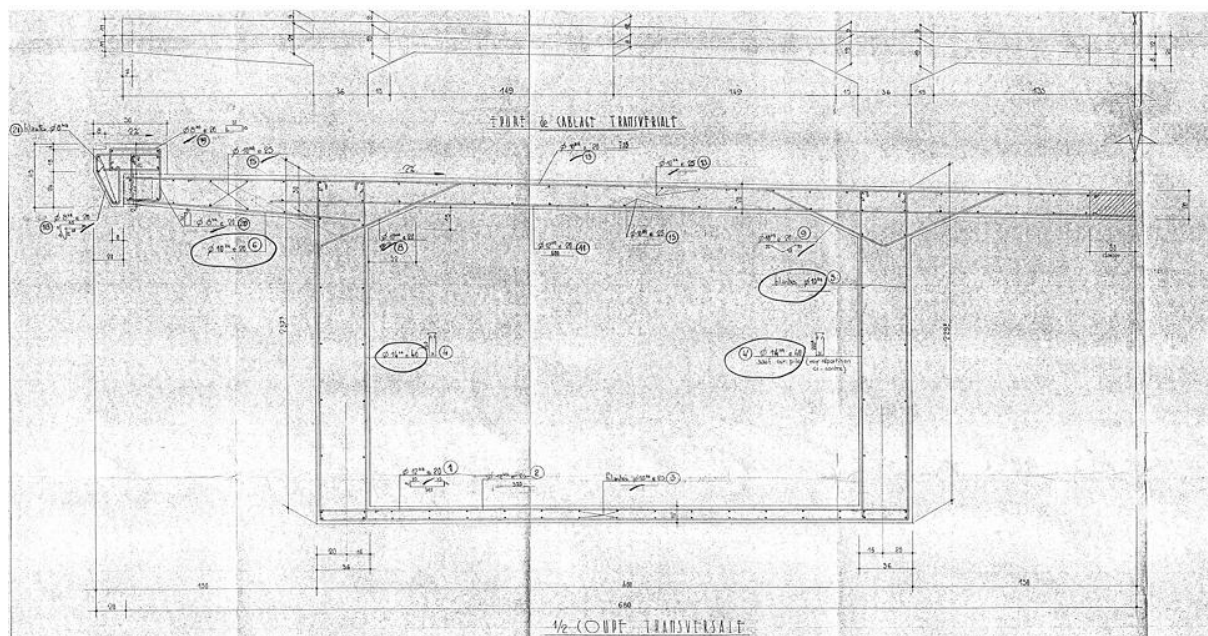
IX.1.3 Coupe et ferrailage d'une pile tablier aval



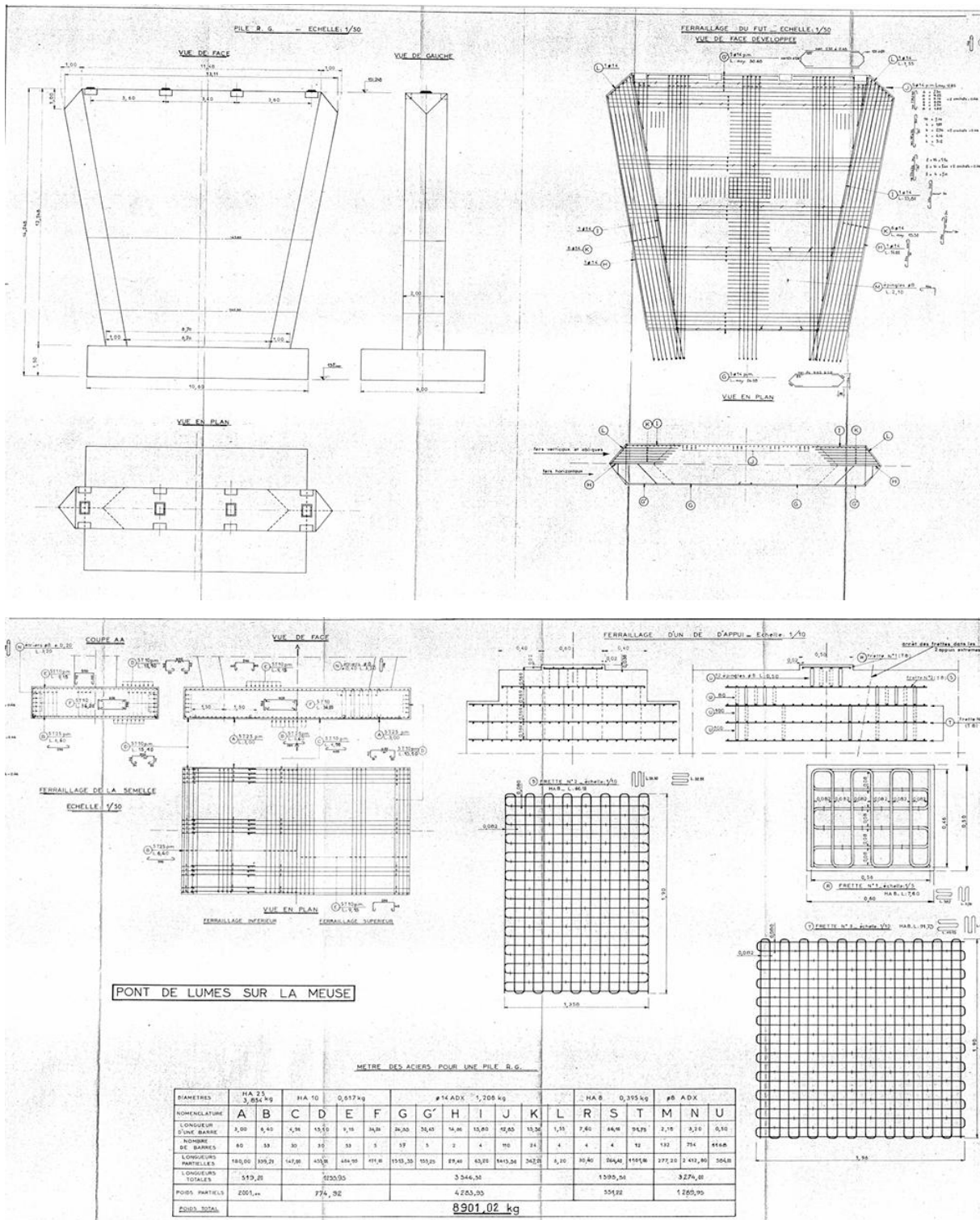
IX.1.4 Coupe et ferrailage d'un voussoir tablier aval



IX.1.5 Coupe transversale et ferrailage d'un voussoir tablier amont



IX.1.6 Vues et ferrailage d'une pile tablier amont



FERRAILLAGE DES POTEAUX DES CULEES Echelle 1/20

RIVE GAUCHE

SECTION AA Echelle 1/20

RIVE DROITE

SECTION BB Echelle 1/20

FERRAILLAGE DU MUR GARDE GREVE

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

FERRAILLAGE DU CHEVETRE — ECHELLE 1/20

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE GAUCHE

VUE DE DROITE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

VUE EN PLAN

VUE DE FACE

METRE DES ACIERS POUR LES 2 CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

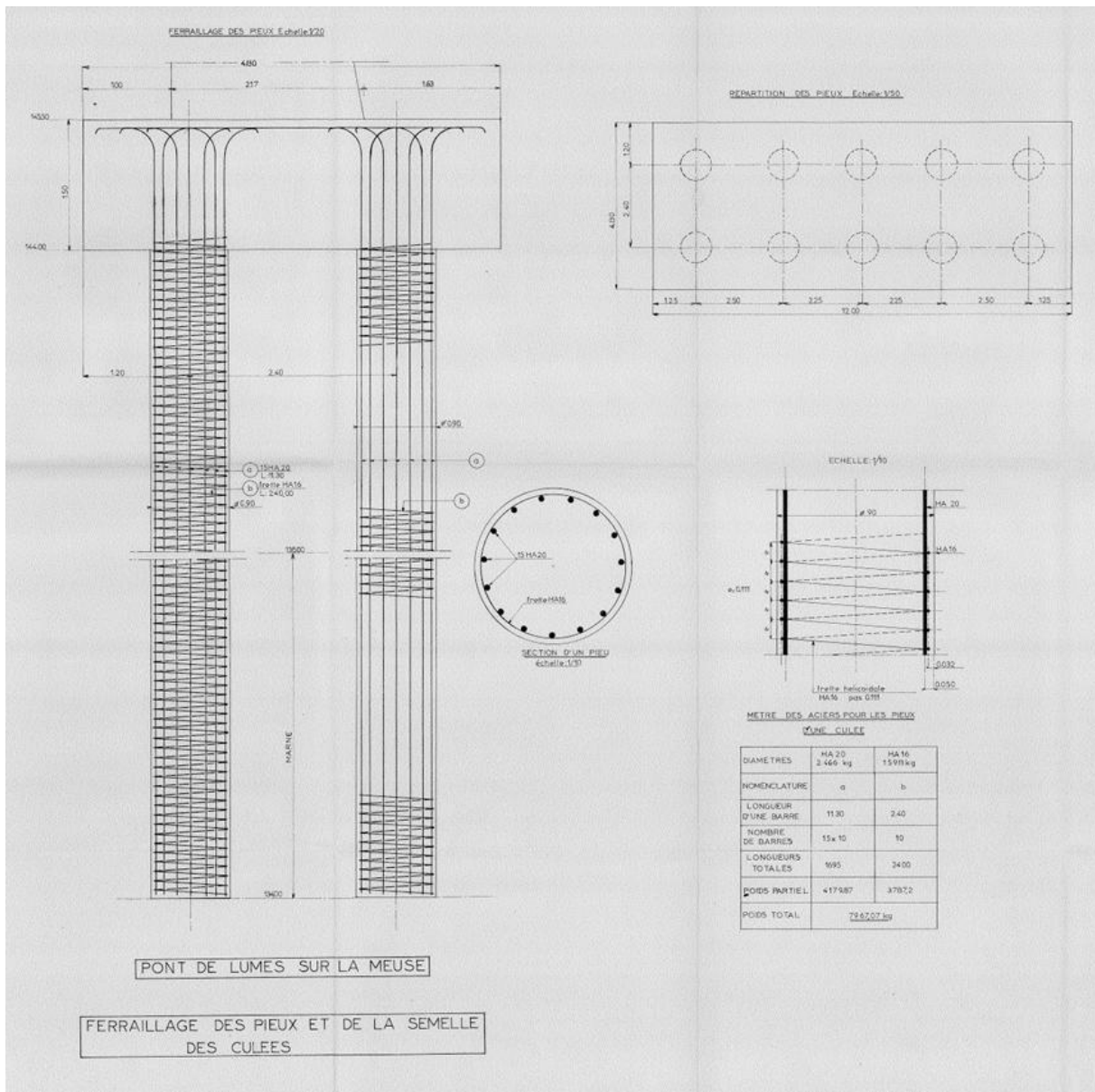
ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

ACIERS SEMBLES ET LES CULEES

IX.1.8 Plan et ferrailage des pieux des culées tablier amont



IX.2 Caractéristiques des éléments

IX.2.1 Caractéristiques du tablier

Le tablier amont est constitué d'un double caisson, tandis que le tablier aval est formé d'un simple caisson à trois âmes en béton armé. Dans les deux cas, la structure comprend une dalle supérieure de 20 cm d'épaisseur et une dalle inférieure de 12 cm, reliées entre elles par des âmes de 40 cm d'épaisseur.

Le tablier amont comporte un encorbellement de 2,33 m du côté amont, destiné à supporter une partie de la RD34, et de 1,50 m du côté aval, pour une largeur totale de 14,63 m.

Le tablier aval, quant à lui, présente des encorbellements symétriques de 1,81 m de part et d'autre, avec une largeur totale de 11,38 m.

Chacun des deux tabliers est doté d'une pente transversale de 2 %, orientée vers la rive.

La masse volumique du béton retenue pour les tabliers est de 25 kN/m^3 .

IX.2.2 Caractéristique des entretoises

Les entretoises du tablier amont présentent une hauteur moyenne de 1,96 m, une largeur totale de 10,30 m et une épaisseur de 0,30 m. Les entretoises situées sur piles comportent une ouverture de $2 \times 2 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$.

Les entretoises du tablier aval ont également une hauteur moyenne de 1,96 m, pour une largeur totale de 6,96 m et une épaisseur de 0,30 m. Les entretoises sur piles possèdent une ouverture de $2 \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$.

IX.2.3 Caractéristiques des appuis

Le tablier est supporté par des appareils d'appui en néoprène.

- Pour le tablier amont : les dimensions sont de $400 \times 400 \times 80 \text{ mm}$ au niveau des culées et de $500 \times 400 \times 80 \text{ mm}$ au niveau des piles.
- Pour le tablier aval : les dimensions sont de $400 \times 400 \times 80 \text{ mm}$ aux culées et de $500 \times 500 \times 80 \text{ mm}$ aux piles.

IX.2.4 Caractéristiques des superstructures

IX.2.4.a Etanchéité + chaussée

Pour les calculs, l'épaisseur moyenne de l'étanchéité et de l'enrobé est considérée comme suit :

- Tablier amont : 6 cm sur une largeur de 10 m pour les voies rapides et 11 cm sur une largeur de 2,78 m pour la RD34.
- Tablier aval : 13 cm sur une largeur de 10 m.

La masse volumique adoptée pour l'enrobé bitumineux est de 24 kN/m^3 .

IX.2.4.b Corniche + caniveaux

Le poids des corniches et des caniveaux a été évalué à 12,56 kN/m (9,10 + 3,465) pour chacun des deux tabliers. En complément, le poids des bordures séparant les voies rapides de la RD34 sur le tablier amont est pris égal à 3,75 kN/m.

IX.3 Caractéristiques des matériaux

Aucun essai n'ayant été réalisé, les caractéristiques des matériaux structuraux sont résumées ci-après. Elles reposent principalement sur des données des plans d'archives.

IX.3.1 Béton armé

IX.3.1.a Tablier, piles et culées

Le béton de ces éléments sera assimilable à un béton avec les caractéristiques suivantes :

- Classe de résistance : C30/37
- Résistance en compression du béton : $f_{ck} = 30$ MPa
- Résistance en traction du béton : $f_{ctm} = 2,9$ MPa
- Poids volumique du béton : 25 kN/m³

IX.4 Charges et surcharges

IX.4.1 Charges permanentes

IX.4.1.a Tablier

Le poids propre des éléments du tablier béton sera calculé automatiquement par le logiciel de calcul SCIA Engineer.

IX.4.1.b Entretoise

Le poids propre des entretoises est de :

- Tablier amont
 - Volume sur culées : $17,36 \times 0,3 = 6,25$ m³
 - Volume sur piles : $14,16 \times 0,3 = 3,05$ m³
 - Poids sur culées : 130,2 kN
 - Poids sur piles : 106,25 kN
- Tablier aval
 - Volume sur culées : $11,52 \times 0,3 = 3,46$ m³
 - Volume sur piles : $9,52 \times 0,3 = 2,86$ m³
 - Poids sur culées : 86,4 kN
 - Poids sur piles : 71,5 kN

IX.4.1.c Superstructure

Le poids propre des superstructures est la somme de tous les poids propres ci-dessous :

- Poids propre chaussée + étanchéité :
 - 21,74 kN/m pour le tablier amont
 - 31,2 kN/m pour le tablier aval
- Poids corniches + caniveaux :
 - 15,75 kN/m pour le tablier amont
 - 12 kN/m pour le tablier aval

IX.4.2 Charges d'exploitation

Conformément à la note de calcul d'origine, les surcharges de type A(L), prépondérantes dans l'étude de la flexion longitudinale, sont retenues pour la comparaison des sollicitations dans les tabliers.

Les deux tabliers sont classés en classe 1 de trafic.

	Tablier amont	Tablier aval
Largeur des voies [m]	13,4	10
a1	0,75	0,9
a2	0,784	1,05
L*a1*a2 [m]	7,879	9,45
Al travée 1 ou 3 [kN/m]	77,2	92,61
Al travée 2 [kN/m]	65,4	78,44
Al travées 1 et 2 [kN/m]	47,7	57,17
Al travées 1 et 3 [kN/m]	51,8	62,18
Al travées 1, 2 et 3 [kN/m]	39,6	47,53

IX.4.3 Dénivellation d'appui

Des dénivellations d'appui seront appliquées au droit des culées et des piles afin de déterminer la valeur maximale de dénivellation susceptible de générer des sollicitations comparables à celles induites par les convois Bc du fascicule 61.

IX.5 Comportement mécanique de l'ouvrage

Ce chapitre décrit les hypothèses prises vis-à-vis du comportement mécanique de l'ouvrage nécessaires à la modélisation et aux calculs.

IX.5.1 Modèle

Un modèle 1D avec des barres est réalisé pour l'évaluation des sollicitations longitudinales en tenant compte des caractéristiques géométriques des sections du tablier.

IX.5.2 Appuis

Des appuis simples, assimilables à des appareils d'appui en néoprène, ont été retenus.

IX.5.3 Effets de température

Compte tenu de ce qui précède, les effets de la température ne seront pas pris en compte.

IX.6 Modélisation

IX.6.1 Généralités

La structure est modélisée à l'aide du logiciel de calcul aux éléments finis SCIA Engineer. L'objectif de cette modélisation est d'évaluer les réactions d'appui ainsi que les sollicitations induites par le dénivellement lors du vérinage.

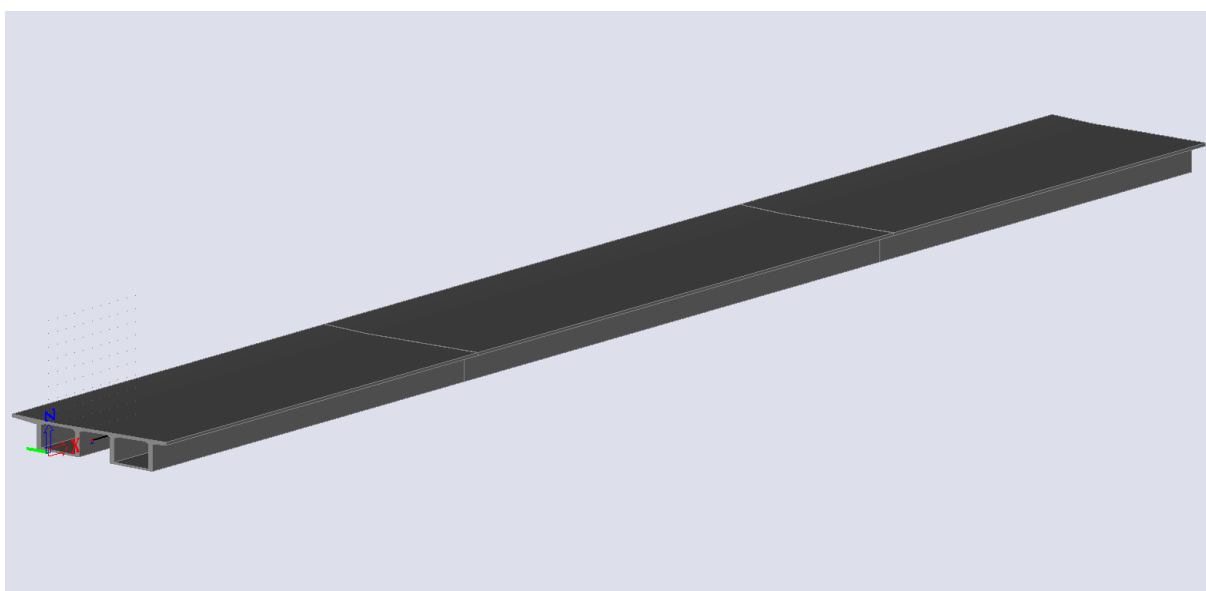
L'ouvrage est modélisé au moyen d'éléments barres, intégrant les caractéristiques géométriques et mécaniques du tablier.

IX.6.2 Modélisation de la structure

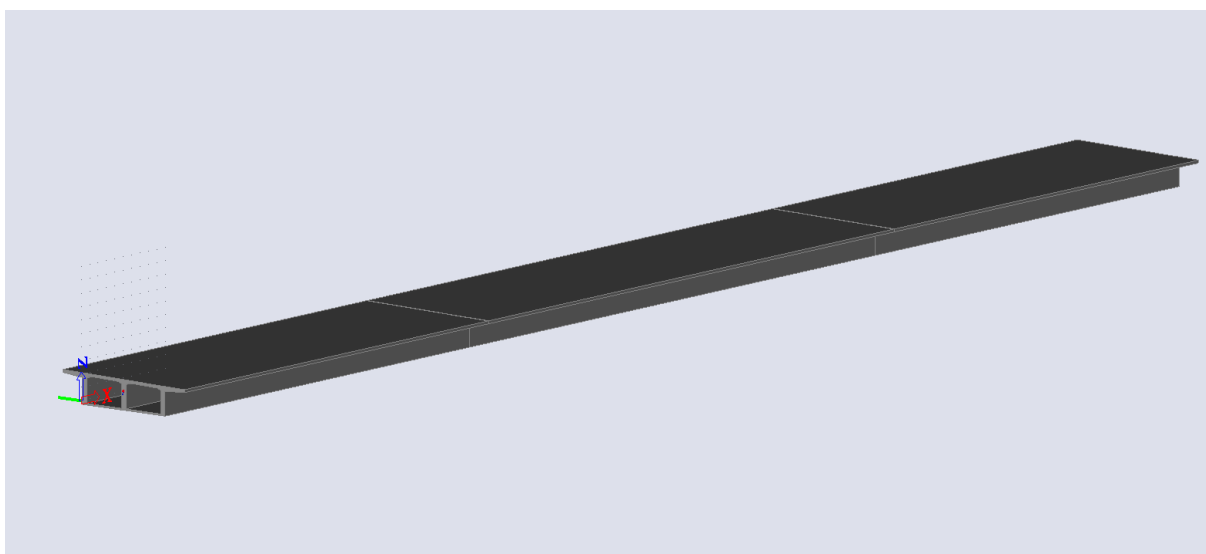
Les dimensions géométriques retenues pour la modélisation et les caractéristiques des sections sont données sur les plans.

IX.6.2.a Vues générales de la modélisation

IX.6.2.a.i Tablier amont

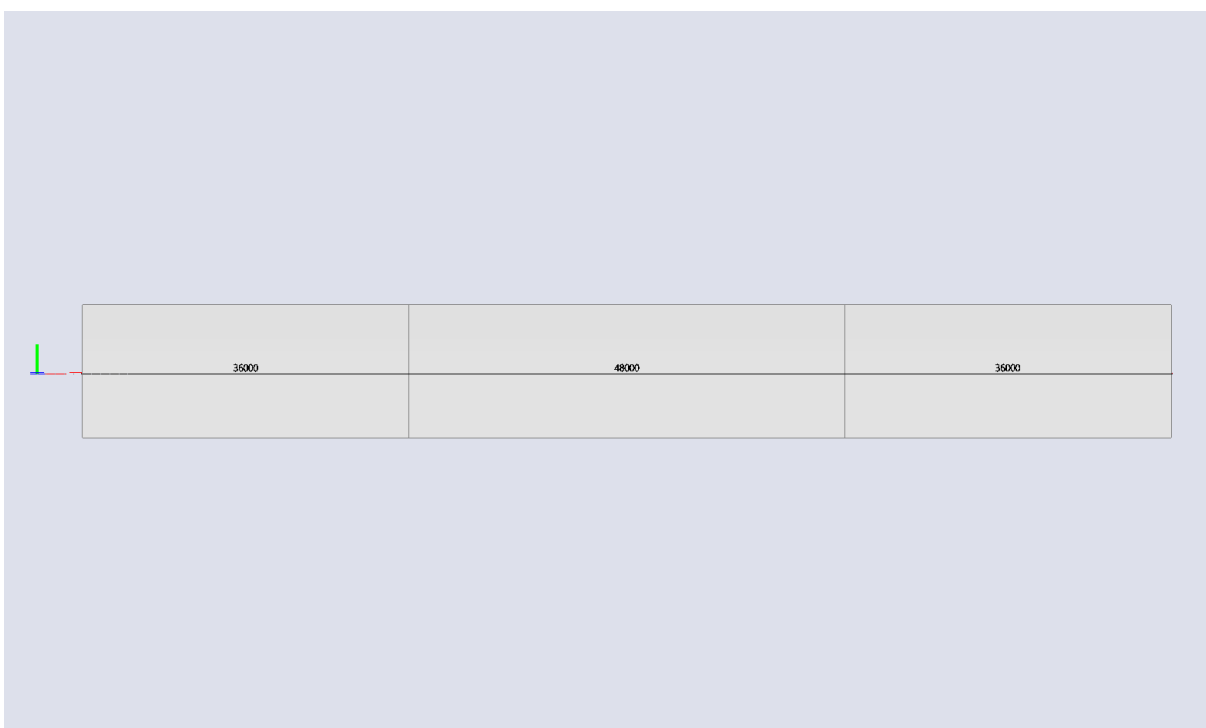


IX.6.2.a.i Tablier aval

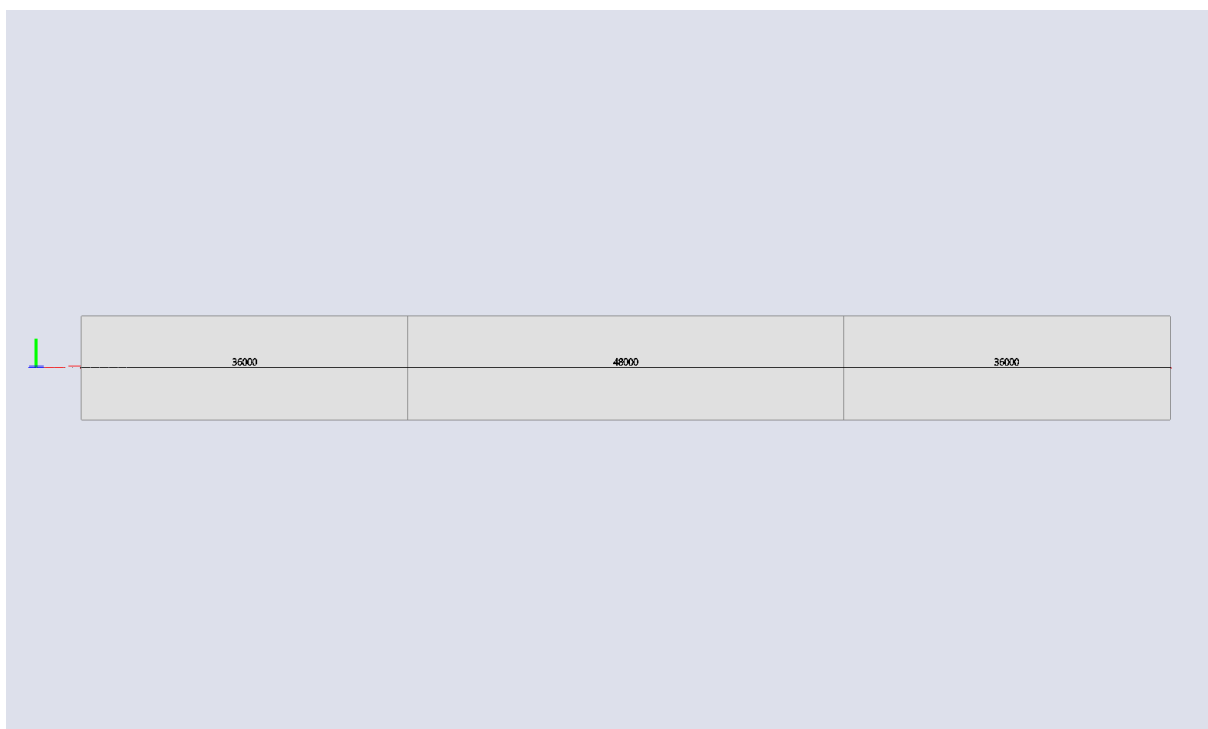


IX.6.2.b Vue extrados et dimensions géométriques

IX.6.2.b.i Tablier amont

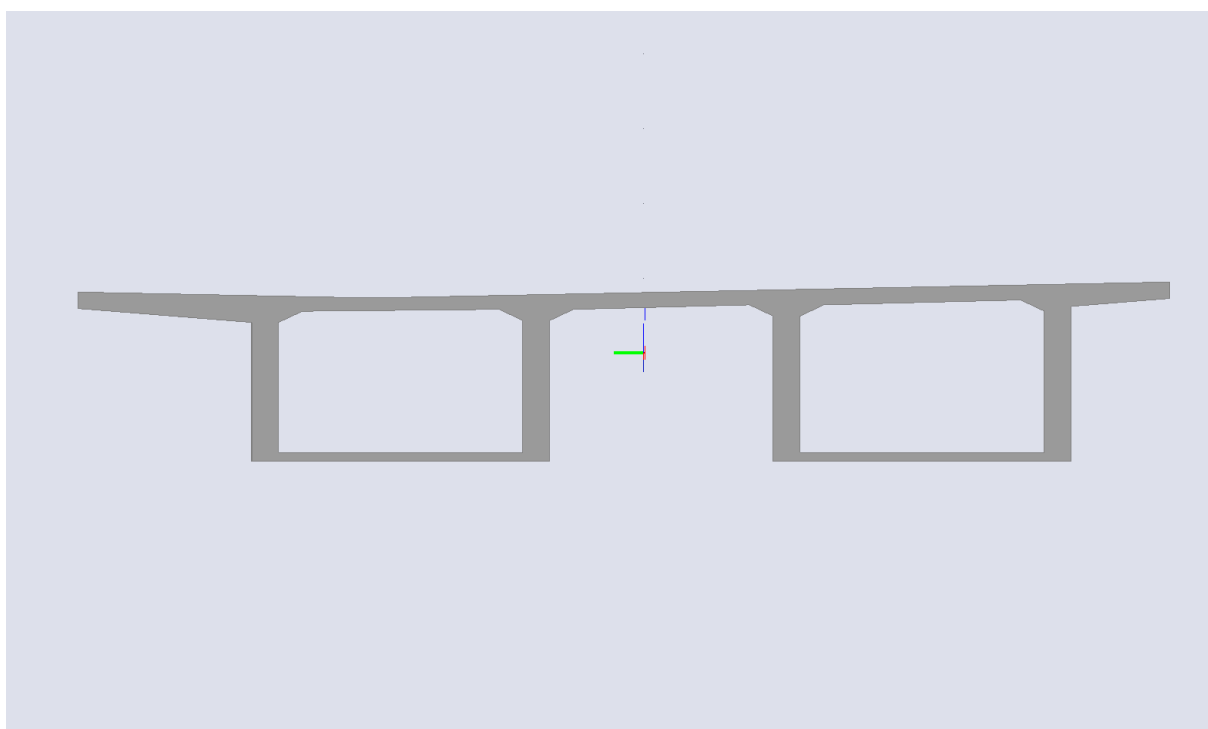


IX.6.2.b.ii Tablier aval

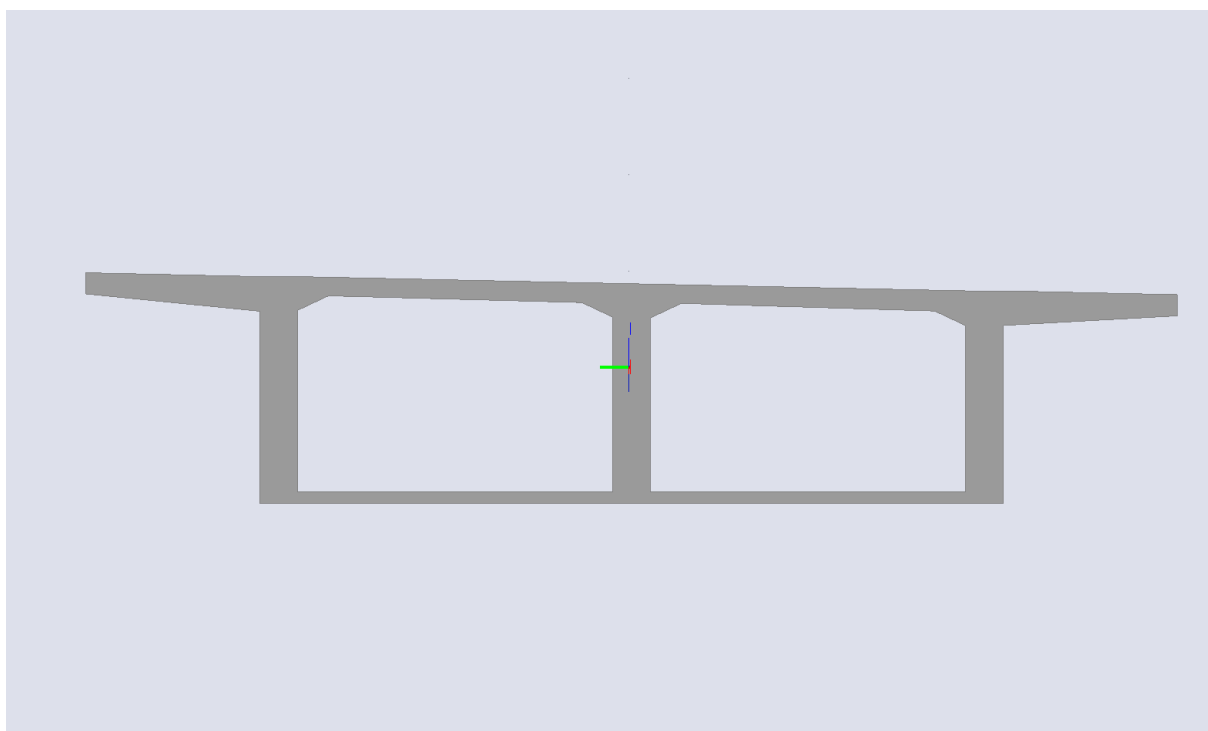


IX.6.2.c Section transversale

IX.6.2.c.i Tablier amont



IX.6.2.c.ii Tablier aval



IX.6.3 Modélisation des charges

Les charges retenues pour la modélisation sont présentées ci-dessous.

- **Charge permanente** :
 - Poids du tablier : directement calculé par SCIA.
 - Entretoises tablier amont : 130,2 kN sur culées et 106,25 kN sur piles
 - Entretoises tablier aval : 86,4 kN sur culées et 71,5 kN sur piles
 - Superstructure : 37,49 kN/m pour le tablier amont et 43,2 kN/m pour le tablier aval.
- **Cas 2 : Charge d'exploitation** :

A(L)	T1 ou 3	T2	T1 et T2 ou T2 et T3	T1 et T3	T1, T2 et T3
Tablier amont[kN/m]	77,2	65,4	47,7	51,8	39,6
Tablier aval[kN/m]	92,61	78,44	57,17	62,18	47,53

- **Cas 3 : Dénivellation des appuis de la culée C0 :**

Une dénivellation de 1 cm sera appliquée sur les appuis de la culée C0.

- **Cas 4 : Dénivellation des appuis de la pile P1 :**

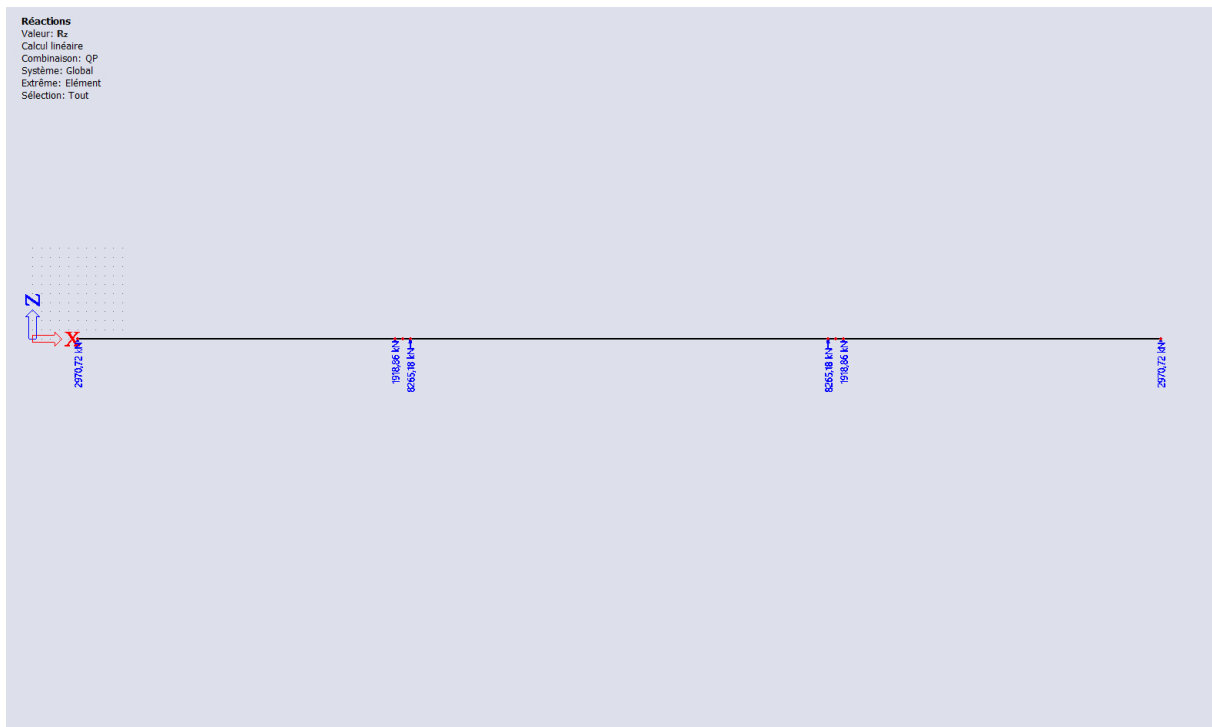
Une dénivellation de 1 cm sera appliquée sur les appuis de la pile P1.

IX.7 Efforts

IX.7.1 Descentes de charges sous poids propre + superstructure

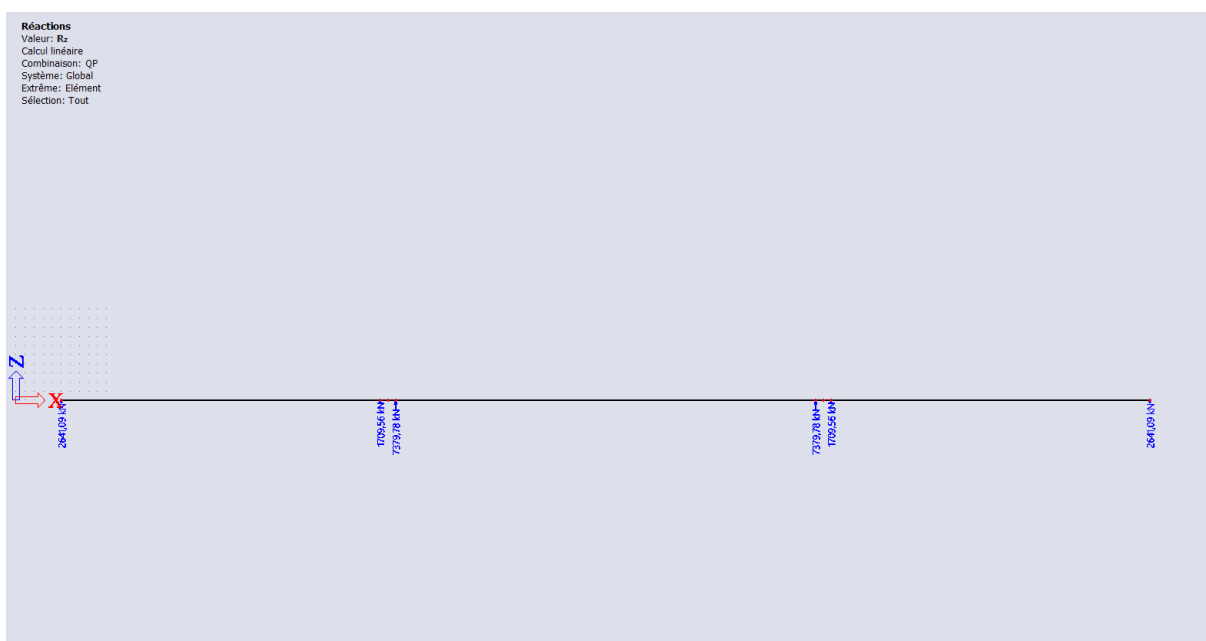
La descente de charges a été effectuée en considérant deux lignes d'appui par pile, espacées d'un entraxe de 1,70 m, conformément à la disposition prévue des vérins lors du vérinage.

IX.7.1.a Tablier amont



Le poids propre total de la structure est de : 26309,51 kN soit 2631 tonnes.

IX.7.1.b Tablier aval



Le poids propre total de la structure est de : 23460,87 kN soit 2346,1 tonnes.

IX.7.2 Caractéristiques des vérins

D'après les descentes de charges sous l'ELS quasi-permanent, les efforts maximaux transmis sur une ligne d'appareil d'appui sont de :

- Tablier amont
 - o Culées : 2970,72 kN
 - o Piles coté travée de rive : 1918,86 kN
 - o Piles coté travée centrale : 8265,2 kN
- Tablier aval
 - o Culées : 2641,1 kN
 - o Piles coté travée de rive : 1709,56 kN
 - o Piles coté travée centrale : 7379,78 kN

En appliquant un coefficient de sécurité de 1,5 et en disposant un vérin devant chaque appareil d'appui sur culées ainsi que deux vérins devant chaque appareil d'appui sur piles, les caractéristiques de dimensionnement retenues pour les vérins sont les suivantes :

Pour le tablier amont :

	Culée	Pile coté travée de rive	Pile coté travée centrale
Charge totale(kN)	2970,72	1918,86	8265,18
Charge/appareil d'appui(kN)	742,7	479,7	2066,3
1,5xcharge ou 2xcharge [kN]	2x743= 1486	1,5x480= 720	1,5x2066= 3099
Capacité vérin	>150 tonnes	>80 tonnes	> 310 tonnes

Pour le tablier aval :

	Culée	Pile coté travée de rive	Pile coté travée centrale
Charge totale(kN)	2641,1	1709,6	7379,78
Charge/appareil d'appui(kN)	880,4	569,8	2459,9
1,5xcharge ou 2xcharge [kN]	2x880,4= 1761	1,5x569,8= 855	1,5x2460= 3690
Capacité vérin	>180 tonnes	>90 tonnes	> 370 tonnes

Attention : Par mesure de sécurité, les vérins placés sur les piles, qu'ils soient du côté de la travée de rive ou de la travée centrale, doivent présenter une capacité identique, supérieure à 370 tonnes.

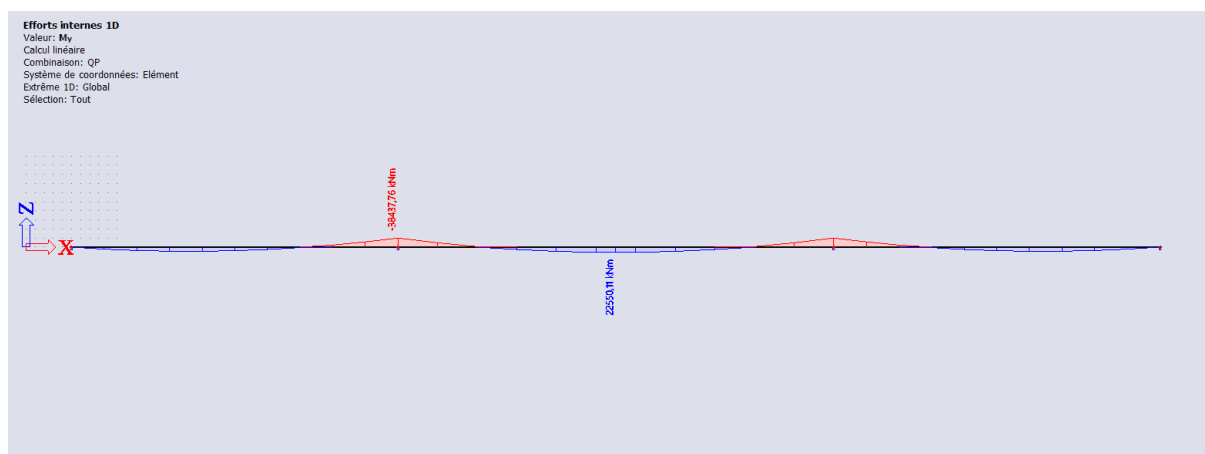
NB : La descente de charges sur les culées a été doublée afin de prendre en compte à la fois le coefficient de sécurité et l'effet du fluage du béton, qui tend à reporter progressivement davantage d'efforts sur les culées au fil du temps.

IX.7.3 Vérification des sollicitations dans le tablier en présence d'une dénivellation des appuis

L'objectif est de comparer les sollicitations du tablier obtenues à l'ELS selon le Fascicule 61 avec celles induites par la dénivellation des appuis, afin de déterminer la levée maximale du tablier pouvant être réalisée sans risque d'endommagement.

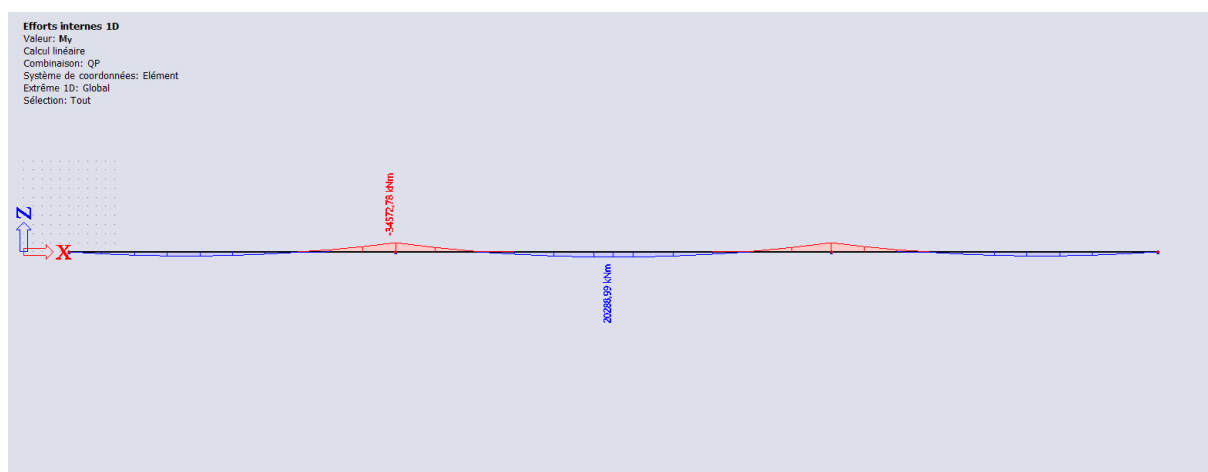
IX.7.3.a Moment M_{CP} sous les charges permanentes

IX.7.3.a.i Tablier amont



Le moment fléchissant maximal en travée atteint 22550 kN.m, tandis que le moment maximal sur appui est de -38438 kN.m.

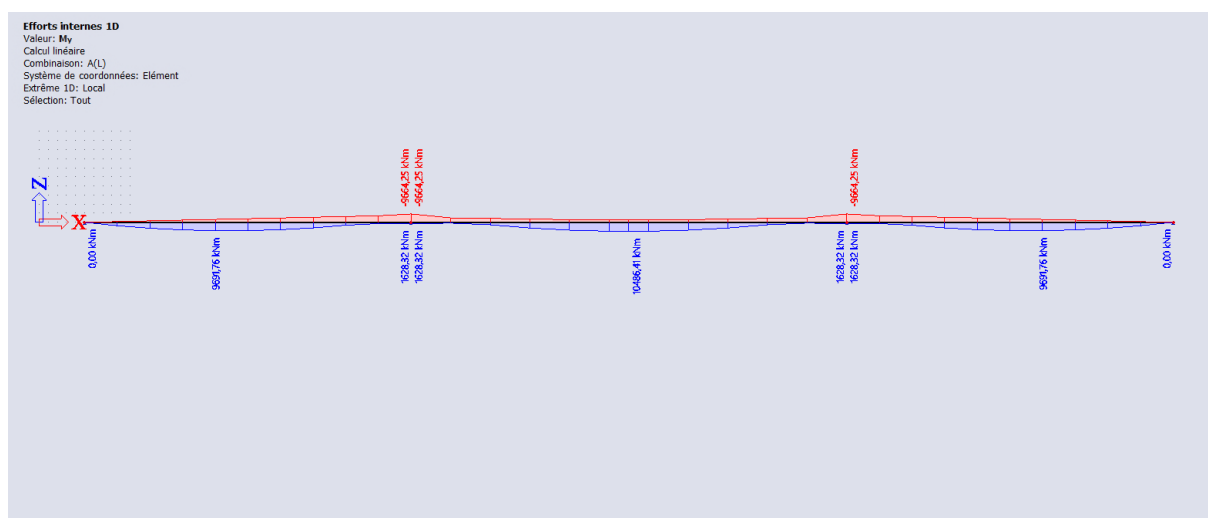
IX.7.3.a.i Tablier aval



Le moment fléchissant maximal en travée atteint 20289 kN.m, tandis que le moment maximal sur appui est de -34573 kN.m.

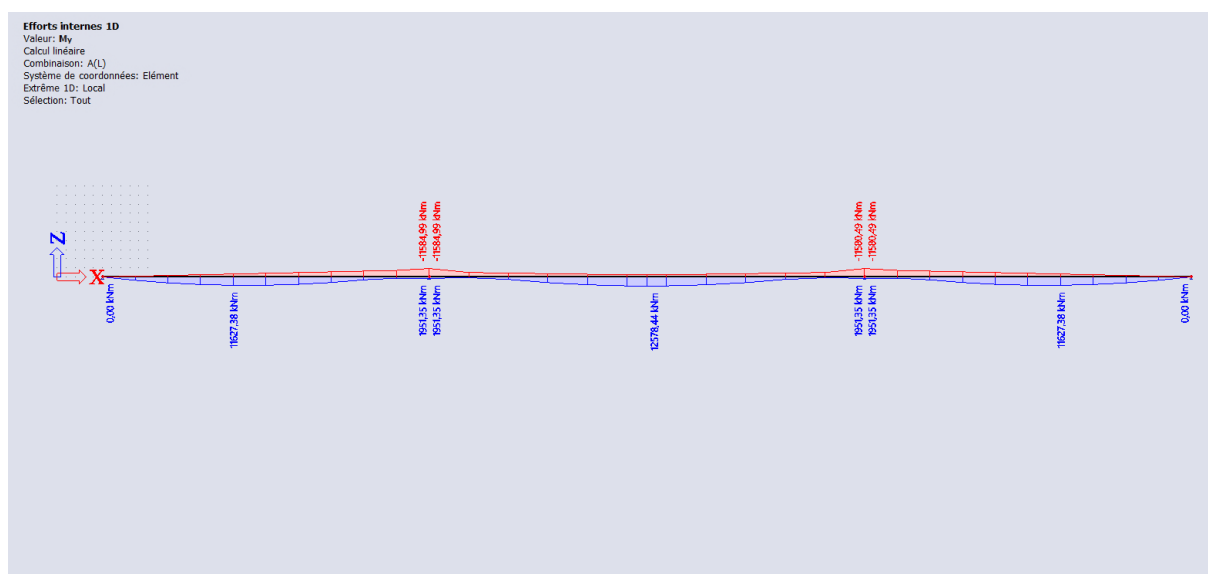
IX.7.3.b Moment $M_{A(L)}$ du aux charges A(L)

IX.7.3.b.i Tablier amont



Le moment fléchissant maximal en travée est de 10486 kN.m, tandis que le moment maximal sur appui atteint -9664 kN.m.

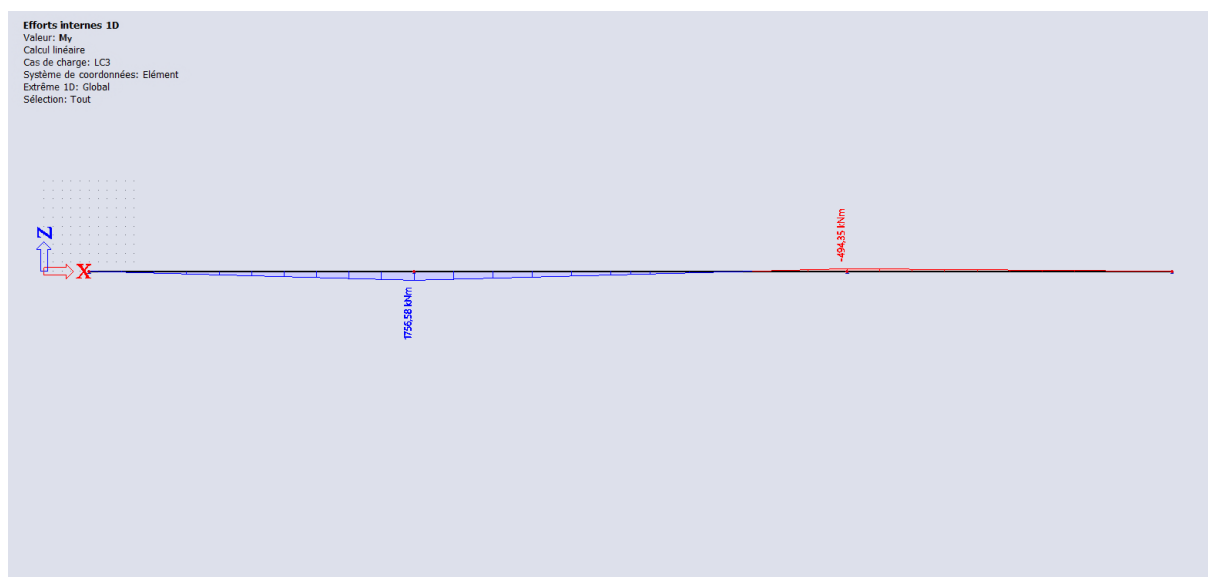
IX.7.3.b.i Tablier aval



Le moment fléchissant maximal en travée est de 12578 kN.m, tandis que le moment maximal sur appui atteint -11585 kN.m.

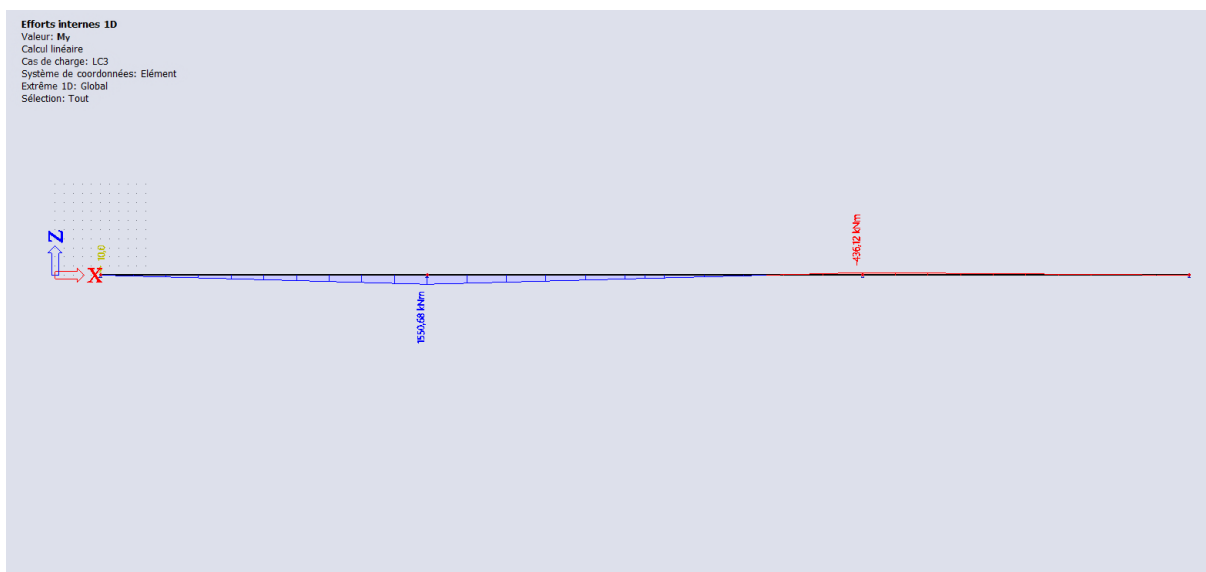
IX.7.3.c Moment M_{DenivC0} sous dénivellation de 1 cm de la culée C0

IX.7.3.c.i Tablier amont



Le moment fléchissant maximal sur la pile P1 est de 1756,6 kN.m, tandis que celui relevé sur la pile P2 est de $-494,35$ kN.m.

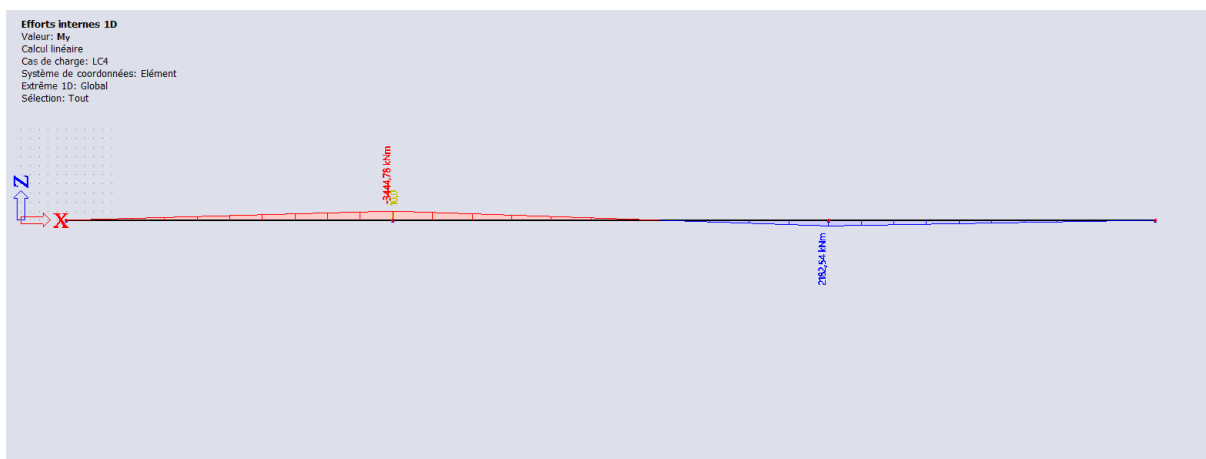
IX.7.3.c.i Tablier aval



Le moment fléchissant maximal sur la pile P1 est de 1551 kN·m, tandis que celui relevé sur la pile P2 est de -436 kN·m.

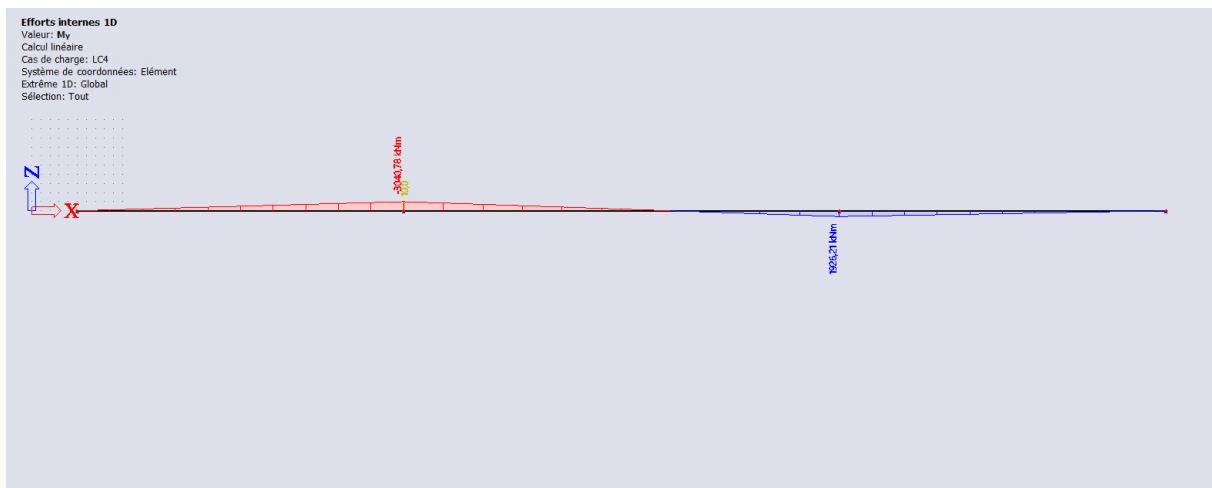
IX.7.3.d Moment $M_{\text{DénivP1}}$ sous dénivellation de 1 cm de la pile P1

IX.7.3.d.i Tablier amont



Le moment fléchissant maximal sur la pile P1 est de -3445 kN·m, tandis que celui relevé sur la pile P2 est de 2183 kN·m.

IX.7.3.d.i Tablier aval



Le moment fléchissant maximal sur la pile P1 est de -3041 kN·m, tandis que celui relevé sur la pile P2 est de 1926 kN·m.

IX.7.3.e Conclusion

Le calcul des moments induits par les charges A(L) et par une dénivellation de 1 cm des appuis conduit aux résultats suivants :

IX.7.3.e.i Tablier amont

Dénivellation de l'appui	Travée 1	P1	Travée 2	P2	Travée 3
Moment CP [kN.m]	17558	-38438	22550	-38438	17558
Moment A(L) [kN.m]	9692/ -3340	1628/ -9664	10486/ -2790	1628/ -9664	9692/ -3340
Moment déniv 1 cm C0 [kN.m]	703	1757	631,12	-494	-198
Moment déniv 1 cm P1 [kN.m]	-1378	-3445	-631	2183	873
Rapport M[A(L)]/M[déniv 1 cm] C0	13,8	0,93	16,6	19,5	16,8
Rapport M[A(L)]/M[déniv 1 cm] P1	2,4	2,8	4,4	0,75	11,1
Appuis	C0	P1	P2	C3	
H max dénivellation	0,93 cm	0,75 cm	0,75 cm	0,93 cm	

L'objectif étant de vérifier que les sollicitations générées par les dénivellations d'appui restent inférieures à celles obtenues sous les charges A(L), il en résulte qu'une dénivellation maximale admissible de 0,93 cm est tolérée au niveau des culées et de 0,75 cm au niveau des piles.

Ces valeurs peuvent être arrondies à 1 cm et une séquence de vérinage progressive comme suivante peut être appliquée pour les deux tabliers :

- 1 cm sur la culée C0 ;
- 1 cm sur la pile P1 ;
- 1 cm sur la pile P2 ;
- 1 cm sur la culée C3 ;
- Puis recommencer le même cycle jusqu'à atteindre la hauteur souhaitée ;

IX.7.3.e.ii Tablier aval

Dénivellation de l'appui	Travée 1	P1	Travée 2	P2	Travée 3
Moment CP [kN.m]	15796	-34573	20289	-34573	15796
Moment A(L) [kN.m]	11627/ - 4005	1951/ - 11585	12578/ - 3348	1951/ - 11585	11627/ - 4005
Moment déniv 1 cm C0[kN.m]	620	1551	557	-436	-174
Moment déniv 1 cm P1 [kN.m]	-1216	-3041	-557	1926	770
Rapport M[A(L)]/M[déniv 1 cm] C0	18,7	1,3	22,6	26,6	23
Rapport M[A(L)]/M[déniv 1 cm] P1	3,3	3,8	6	1,0	15,1
Appuis	C0	P1	P2	C3	
H max dénivellation	1,3 cm	1 cm	1 cm	1,3 cm	

L'objectif étant de vérifier que les sollicitations générées par les dénivellations d'appui restent inférieures à celles obtenues sous les charges A(L), il en résulte qu'une dénivellation maximale admissible de 1,3 cm est tolérée au niveau des culées et de 1 cm au niveau des piles.

Ainsi, nous proposons la séquence de vérinage progressive suivante :

- 1 cm sur la culée C0 ;
- 1 cm sur la pile P1 ;
- 1 cm sur la pile P2 ;
- 1 cm sur la culée C3 ;
- Puis recommencer le même cycle jusqu'à atteindre la hauteur souhaitée ;

IX.7.3.e.iii Vérification de la section au point du moment nul

La vérification vise à s'assurer que la contrainte générée par la dénivellation lors du vérinage demeure inférieure à la contrainte de compression due à la précontrainte en fibre inférieure en ce point.

1. Tablier amont

Données initiales :

- Câblage : 28 câbles de 12T13 de procédé Freyssinet
- Section d'un câble de 12T13 : 1130 mm² selon le circulaire n°81 de 1966
- Force sous ancrage à la mise en tension : 1640 kN selon le circulaire n°81 de 1966
- Perte totale sur la précontrainte : 30%
- Résistance du béton à la mise en tension : 25 MPa
- Section totale du béton : $A_b = 7,11 \text{ m}^2$
- Inertie totale du béton : $I_b = 4,81 \text{ m}^4$
- Position de la fibre supérieure par rapport au CDG : $V = 0,945 \text{ m}$
- Position de la fibre inférieure par rapport au CDG : $V' = 1,455 \text{ m}$
- Point de moment nul : 28 m de la culée C0

Au point de moment nul sous les charges permanentes, nous prendrons comme hypothèse que les câbles passent par le centre de gravité, de sorte que la précontrainte ne génère aucun moment à cet endroit. Pour éviter toute traction en fibre inférieure lors du vérinage, la contrainte due au moment de dénivellation doit rester inférieure à la contrainte de compression fournie par la précontrainte : $\sigma_{\text{Déniv}} < \sigma_{\text{Préc}}$ avec $\sigma_{\text{Déniv}} = M_{\text{Déniv}} \cdot V' / I$ et $\sigma_{\text{Préc}} = P / A_b$.

Nombre de fil	28*12	336Φ13
Section totale de précontrainte	28*11,3	316,4 cm ²
Force de précontrainte initiale	28*1,64	45,92 MN
Force après pertes de 30%	45,92*0,7	32,144 MN
Contrainte due à précontrainte	$P/(A_b) = 32,144/(7,11)$	4,52 MPa
Contrainte due à la dénivellation	$M_{\text{Déniv}} \cdot V' / I$	$0,302 \cdot M_{\text{Déniv}}$
Condition de non-traction en fibre inf	$\sigma_{\text{Déniv}} < \sigma_{\text{Préc}}$	$0,302 \cdot M_{\text{Déniv}} < 4,52$
Moment dénivellation au point x= 28 m	$M_{\text{Déniv}} < 4,52/0,302$	14,967 MN.m
Moment de 1 cm de dénivellation	1,405 MN.m	1,405 MN.m
Dénivellation maximale autorisée	14,967/1,405	10,65 cm

La dénivellation maximale autorisée lors du vérinage selon ce critère est de 10,65 cm sur les culées.

2. Tablier aval

Données initiales :

- Câblage : 24 câbles de $30\Phi 7$ de procédé CIPEC
- Section d'un câble de $30\Phi 7$: 1154 mm^2
- Force sous ancrage à la mise en tension : 1450 kN
- Perte totale sur la précontrainte : 30%
- Résistance du béton à la mise en tension : 25 MPa
- Section totale du béton : $A_b = 6 \text{ m}^2$
- Inertie totale du béton : $I_b = 4,248 \text{ m}^4$
- Position de la fibre supérieure par rapport au CDG : $V = 0,87 \text{ m}$
- Position de la fibre inférieure par rapport au CDG : $V' = 1,42 \text{ m}$
- Point de moment nul : 28 m de la culée C0

Au point de moment nul sous les charges permanentes, les câbles passent par le centre de gravité, de sorte que la précontrainte ne génère aucun moment à cet endroit. Pour éviter toute traction en fibre inférieure lors du vérinage, la contrainte due au moment de dénivellation doit rester inférieure à la contrainte de compression fournie par la précontrainte : $\sigma_{\text{Déniv}} < \sigma_{\text{Préc}}$ avec $\sigma_{\text{Déniv}} = M_{\text{Déniv}} \cdot V' / I$ et $\sigma_{\text{Préc}} = P / A_b$.

Nombre de fil	24*30	720 $\Phi 7$
Section totale de précontrainte	24*11,54	276,96 cm ²
Force de précontrainte initiale	24*1,45	34,8 MN
Force après pertes de 30%	34,8*0,7	24,36 MN
Contrainte due à précontrainte	$P/(A_b) = 24,36/(6)$	4,06 MPa
Contrainte due à la dénivellation	$M_{\text{Déniv}} \cdot V' / I$	0,334 * $M_{\text{Déniv}}$
Condition de non-traction en fibre inf	$\sigma_{\text{Déniv}} < \sigma_{\text{Préc}}$	0,334 * $M_{\text{Déniv}} < 4,06$
Moment dénivellation au point x= 28 m	$M_{\text{Déniv}} < 4,06/0,334$	12,15 MN.m
Moment de 1 cm de dénivellation	1,24 MN.m	1,24 MN.m
Dénivellation maximale autorisée	12,15/1,24	9,8 cm

La dénivellation maximale autorisée lors du vérinage selon ce critère est de 9,8 cm.

X Vérification de la stabilité des culées et des piles

Dans ces calculs, il sera question de vérifier la stabilité des culées et des piles au basculement qui sera causé par l'excentrement des charges permanentes lors des opérations de vérinage du tablier pour le changement des appareils d'appuis.

Le principe de la justification repose sur les points suivants :

- Pour les culées, il s'agit d'évaluer la descente de charges appliquée à la ligne avant de pieux dans la configuration actuelle, sous l'effet des charges d'exploitation A(L), puis de la comparer à celle obtenue dans la configuration de soulèvement du tablier avec excentrement lors du vérinage, afin de vérifier que l'écart entre les deux situations demeure acceptable.
- Pour les piles fondées sur semelles, l'objectif est de déterminer les états de contrainte sous la semelle dans la configuration actuelle, sous l'effet des charges A(L), et de s'assurer qu'ils ne présentent pas d'écart significatif par rapport aux états de contrainte correspondant à la configuration dans laquelle le tablier est calé avec un excentrement lors du vérinage.

Pour cela, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Masse volumique du béton : $\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Masse volumique du sol : $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ avec un coefficient de poussée $K_a = 1/3$;
- Les piles sont fondées sur des semelles reposant sur un terrain de marne compacte, conformément aux dispositions retenues dans la note de calcul d'origine « NDC03 » du tablier aval ;
- La répartition des efforts de freinage entre les piles et les culées est reprise des calculs de la note de calcul d'origine « NDC03 », soit 37% pour chaque culée, 12% pour la pile 1 et 14% pour la pile 2 ;
- La force totale de freinage sera de 300 kN (un camion Bc) pour chaque tablier ;
- Les dimensions des culées du tablier aval n'étant pas disponibles, leur poids a été estimé par règle de trois à partir de celui du tablier amont, en fonction de la longueur des semelles de piles.
- Pour tenir compte de l'effet de fluage, la descente de charge sur les culées sera majorée de 40%.
- Les poussées des terres ne seront pas prises en compte, à cause de la présence d'un perré suffisant assurant le rôle de contre-butée.

Les dimensions des autres éléments sont, quant à elles, renseignées dans les plans d'archives.

X.1 Stabilité des culées et piles du tablier amont

Les vérins seront positionnés devant chaque appareil d'appui, avec un décalage de 35 cm par rapport à l'axe des appareils d'appui des culées et de 85 cm par rapport à l'axe des appareils d'appui des piles.

Descente de charges sur vérins	Excentricité [m]	Poids [kN]	Moment [kN.m]
Culée	0,35	2971x1,4	1455,8
Pile coté travée de rive	-0,85	1919	-1631
Pile coté travée centrale	0,85	8265	7025

X.1.1 Descente de charges en phase d'exploitation

Appui [Charges en kN]	Culée	Pile
Charge permanente		
Poids Tablier + superstructure	2971x1,4= 4159,4	10184
Poids de la culée + semelle	2046	-
Poids de la pile + semelle	-	9326
Sol sur la semelle	6074	-
Total CP	12279,4	19510
Charge d'exploitation de A(L)		
Poids A(L)	1229	2367
Force de freinage de Bc	37%x300= 111	12%x300= 36
Moment dû au freinage Bc	111x7,7= 855	36x13,95=502,2
Evaluation de la charge reprise par la ligne de pieux avant due au moment de renversement de freinage		
Moment renversant [kN.m]	855	502,2
Entraxe des pieux	2,4	
Poids dû au moment	855/2,4= 356	
Total poids exploitation sur la ligne de pieux avant	1229/2+356= 970,5	
Total Permanent sur la ligne de pieux avant	12279,4/2= 6139,7	
Total pour la ligne de pieux avant	970,5 + 6139,7= 7110	

X.1.2 Descente de charges en phase de vérinage

Appui [Charges en kN]	Culée	Pile
Poids Tablier + superstructure	2971x1,4= 4159,4	10184
Poids de la culée + semelle	2046	-
Poids de la pile + semelle	-	9326
Sol sur la semelle	6074	-
Total	12279,4	19510
Total pour chaque ligne de pieux	12279,4/2=6139,7	
Evaluation de la charge reprise par la ligne de pieux avant due au moment de renversement d'excentrement		
Moment renversant [kN.m]	1455,8	5394
Entraxe des pieux	2,4	
Poids dû au moment	1455,8/2,4=606,58	
Total pour ligne de pieux avant	6139,7+606,58=6746,3	

L'analyse met en évidence que la descente de charges dans les pieux avant des culées est de 711 tonnes en exploitation contre 675 tonnes lors du vérinage, soit un taux de 95%, ce qui reste conforme.

X.1.3 Calcul des contraintes sous les semelles des piles

L'excentrement $e = M/N$; si $e < B/6$ alors toute la semelle est comprimée et

Ainsi, $\sigma_{\max} = N/Bx(1+6xe/B)$, $\sigma_{\min} = N/Bx(1-6xe/B)$ et $\sigma_{\text{ref}} = (3 \cdot \sigma_{\max} + \sigma_{\min})/4$

Les semelles ont une longueur de 10,6 m et une largeur est de 6 m.

X.1.3.a Synthèses des efforts

	Poids propre	CP+CE	CP/calage
N[kN]	19510	19510+2367= 21877	19510
M[kN.m]	-	502	5394

X.1.3.b Configuration actuelle

	M [kN.m/m]	N[kN/m]	e[m]	B/6[m]	$\sigma_{\max}$ [kPa]	$\sigma_{\min}$ [kPa]	σ_{ref} [kPa]
Application	502/10,6	21877/10,6	47,4/2178	6/6	-	-	-
Valeur	47,4	2064	0,0229	1	352	336	344

Toute la semelle reste comprimée et la contrainte de référence vaut 344 kPa

X.1.3.c Configuration du calage

	M [kN.m/m]	N[kN/m]	e[m]	B/6[m]	$\sigma_{\max}$ [kPa]	$\sigma_{\min}$ [kPa]	σ_{ref} [kPa]
Application	5394/10,6	19510/10,6	509/1841	6/6	-	-	-
Valeur	509	1841	0,276	1	392	222	307

Toute la semelle reste comprimée et la contrainte de référence vaut 307 kPa

X.1.4 Conclusion

La configuration en service selon le Fascicule 61 et celle correspondant à la phase de vérinage présentent un taux de travail de 95% dans les pieux des culées et 89% dans les semelles des piles. Par conséquent, la stabilité des culées et des piles est assurée durant l'opération de vérinage.

X.2 Stabilité des culées et piles du tablier aval

Les vérins seront positionnés devant chaque appareil d'appui, avec un décalage de 35 cm par rapport à l'axe des appareils d'appui des culées et de 85 cm par rapport à l'axe des appareils d'appui des piles.

Descente de charges sur vérins	Excentricité [m]	Poids [kN]	Moment [kN.m]
Culée	0,35	2641x1,4	1294,1
Pile coté travée de rive	-0,85	1710	-1454
Pile coté travée centrale	0,85	7380	6273

X.2.1 Descente de charges en phase d'exploitation

Appui [Charges en kN]	Culée	Pile
Poids Tablier + superstructure	2641x1,4=3697,4	9090
Poids de la culée + semelle	1853	-
Poids de la pile + semelle	-	7852
Sol sur la semelle	5501	-
Total CP	11051,4	16942
Charge d'exploitation de A(L)		
Poids A(L)	1474	2838,5
Force de freinage de Bc	37% x 300 = 111	12% x 300 = 36
Moment dû au freinage Bc	111 x 7,7 = 855	36 x 14,25 = 513
Evaluation de la charge reprise par la ligne de pieux avant due au moment de renversement de freinage		
Moment renversant [kN.m]	855	513
Entraxe des pieux	2,4	
Poids dû au moment	855/2,4 = 356	
Total poids exploitation sur la ligne de pieux avant	1474/2 + 356 = 1093	
Total Permanent sur la ligne de pieux avant	11051,4/2 = 5525,7	
Total pour la ligne de pieux avant	1093 + 5525,7 = 6619	

X.2.2 Descente de charges en phase de vérinage

Appui [Charge en kN]	Culée	Pile
Poids Tablier + superstructure	2641x1,4=3697,4	9090
Poids de la culée + semelle	1853	-
Poids de la pile + semelle	-	7852
Sol sur la semelle	5501	-
Total	11051,4	16942
Total pour chaque ligne de pieux	11051,4/2=5525,7	
Evaluation de la charge reprise par la ligne de pieux avant due au moment de renversement d'excentrement		
Moment renversant [kN.m]	1294,1	4819
Entraxe des pieux	2,4	
Poids dû au moment	1294,1/2,4=539,2	
Total pour ligne de pieux avant	5525,7+539,2=6065	

L'analyse met en évidence que la descente de charges dans les pieux avant des culées est de 662 tonnes en exploitation contre 606,5 tonnes lors du vérinage, soit un taux de 92%, ce qui reste conforme.

X.2.3 Calcul des contraintes sous les semelles des piles

L'excentrement $e = M/N$; si $e < B/6$ alors toute la semelle est comprimée et

Ainsi, $\sigma_{\max} = N/Bx(1+6xe/B)$, $\sigma_{\min} = N/Bx(1-6xe/B)$ et $\sigma_{\text{ref}} = (3 \cdot \sigma_{\max} + \sigma_{\min})/4$

Les semelles ont une longueur de 9,6 m et une largeur est de 6 m.

X.2.3.a Synthèses des efforts

	Poids propre	CP+CE	CP/calage
N[kN]	16942	16942+2838,5= 19780,5	16942
M[kN.m]	-	513	4819

X.2.3.b Configuration actuelle

	M [kN.m/m]	N[kN/m]	e[m]	B/6[m]	$\sigma_{\max}$ [kPa]	$\sigma_{\min}$ [kPa]	σ_{ref} [kPa]
Application	513/9,6	19780,5/9,6	53,44/2060,5	6/6	-	-	-
Valeur	53,44	2060,5	0,0259	1	352	334,5	343

Toute la semelle reste comprimée et la contrainte de référence vaut 343 kPa

X.2.3.c Configuration du calage

	M [kN.m/m]	N[kN/m]	e[m]	B/6[m]	$\sigma_{\max}$ [kPa]	$\sigma_{\min}$ [kPa]	σ_{ref} [kPa]
Application	4819/9,6	16942/9,6	502/1765	6/6	-	-	-
Valeur	502	1765	0,284	1	378	210,5	294

Toute la semelle reste comprimée et la contrainte de référence vaut 294 kPa

$$A_s = \frac{0,04 R}{f_{yd}}$$

Pour les niches situées côté travée centrale, la descente de charges à l'ELU est :

$$R = 1,35 * 2066 = 2789 \text{ kN}$$

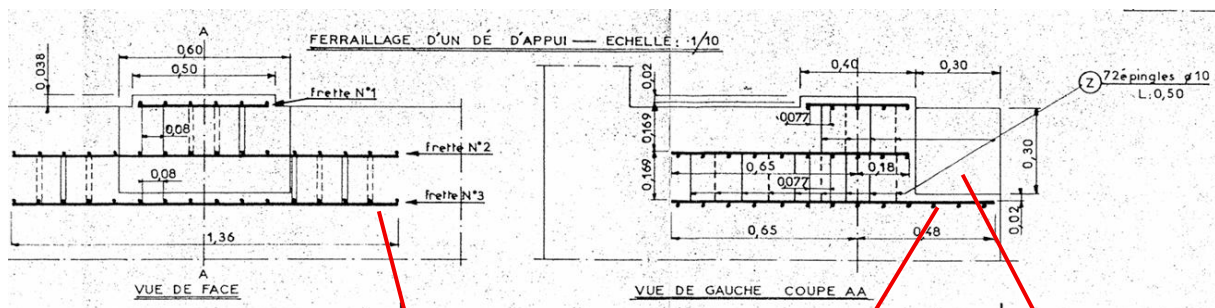
La section d'armatures requise dans chaque direction est donc :

$$A_s = \frac{0,04 * 2,789}{235/1,15} = 5,46 \text{ cm}^2$$

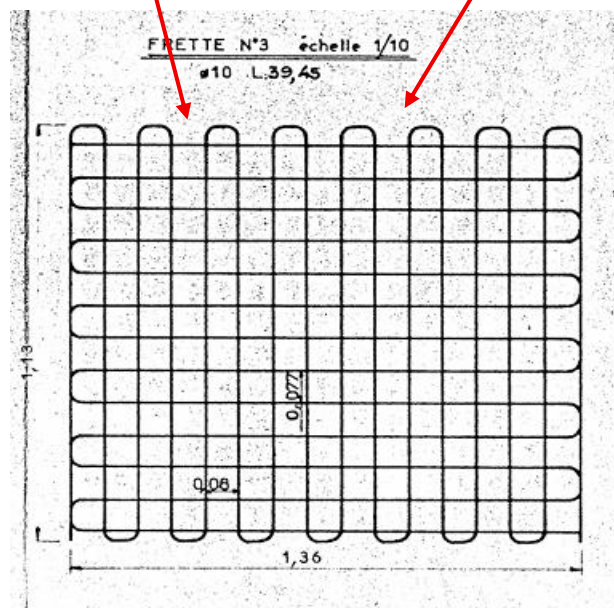
Ainsi, la section nécessaire est de 5,46 cm² par direction. Or, le ferrailage en place est constitué de 3x22HA8, soit une section totale de : 33 cm² dans chaque direction.

Le taux d'armatures mis en œuvre est donc très largement supérieur au minimum requis.

X.3.1 Culée



Niches de vérin



Source : plan d'archive a084

D'après le document « Environnement des appareils d'appui en élastomère fretté », la section d'armatures de frettage à prévoir dans chaque direction est donnée par :

$$A_s = \frac{0,04 R}{f_{yd}}$$

Pour les niches situées côté travée centrale, la descente de charges à l'ELU est :

$$R = 1,35 * 743 = 1003 \text{ kN}$$

La section d'armatures requise dans chaque direction est donc :

$$A_s = \frac{0,04 * 1}{235/1,15} = 1,96 \text{ cm}^2$$

Ainsi, la section nécessaire est de 1,96 cm² par direction. Or, le ferrailage en place est constitué de 13Φ10, soit une section totale de : 10,27 cm² dans chaque direction.

Le taux d'armatures mis en œuvre est donc très largement supérieur au minimum requis.

XI Conclusion

La comparaison entre les sollicitations prévues par le fascicule 61, Titre 2, et celles induites par la dénivellation des appuis montre qu'il est possible de soulever de 1 cm au niveau des culées et des piles pour les deux tabliers, sans compromettre la structure. Cependant, cette élévation reste insuffisante pour le remplacement des appareils d'appui. Nous proposons donc de soulever l'ensemble du tablier en procédant par levées alternées et successives de chaque ligne d'appui, par pas de 1 cm, jusqu'à atteindre l'élévation totale souhaitée.

Les niches de vérin présentent des dimensions de 30 cm de hauteur, 60 cm de largeur et 30 cm de profondeur. Une plaque de répartition des efforts, de dimensions 60x30 cm, doit être disposée au fond de chaque niche. Il conviendra en outre de vérifier la présence des frettes.

Les vérins seront installés devant chaque appareil d'appui au niveau des culées, et de part et d'autre de chaque appareil d'appui au niveau des piles (dans le sens longitudinal).

La capacité de levage des vérins devra être supérieure à 180 tonnes au droit des culées et à 370 tonnes au droit des piles. Par mesure de sécurité, chacun des deux vérins placés de part et d'autre de chaque appareil d'appui sur les piles devra présenter une capacité de levage supérieure à 370 tonnes. Tous les vérins doivent être équipés d'une bague de sécurité afin d'assurer le blocage mécanique et le maintien prolongé des charges pendant l'ensemble des travaux.

En vue du vérinage, les recommandations suivantes sont à prendre en compte :

- Mettre en double sens le tablier aval lors du vérinage du tablier amont, et inversement lors du vérinage du tablier aval ;
- Déposer les joints de chaussée, les murs garde-grève ainsi que les caillebotis comblant l'espace entre les deux tabliers ;
- Attendre pour s'assurer de la stabilisation du mouvement des terres derrière les culées
- Déposer les glissières et les garde-corps aux deux extrémités de l'ouvrage ;
- Si possible, procéder au rabotage de la couche de roulement afin d'alléger la structure ;
- Débrancher les éventuels réseaux, ou veiller à leur conférer suffisamment de souplesse ;
- Mettre en place des plaques de répartition sous les vérins pour assurer une diffusion homogène des charges dans le chevêtre des culées et dans les piles ;
- Réaliser le vérinage de manière progressive, avec un suivi en temps réel des descentes de charges.
- Mise sur camarteaux.

Fait à Sequedin, le 25/02/2026

Le rédacteur,
SQUARE Bakary

Le vérificateur,
LENOIR François

XII Annexe : Plan d'installation des vérins

RIVE GAUCHE



RIVE DROITE



AVAL

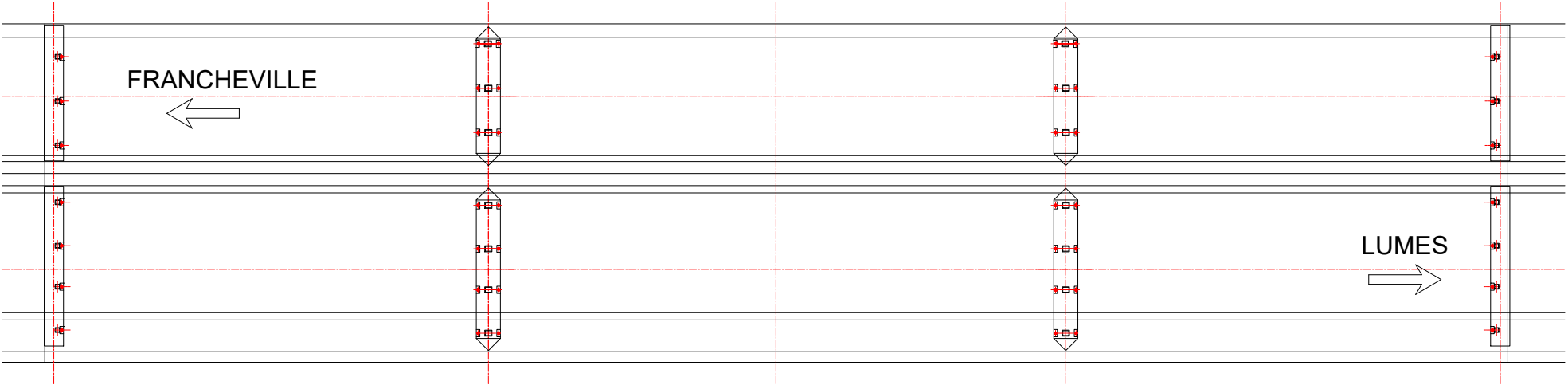
FRANCHEVILLE



LUMES



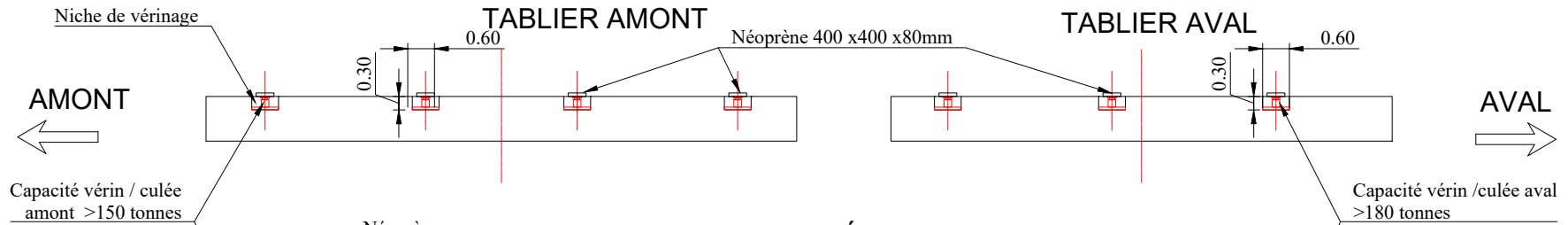
AMONT



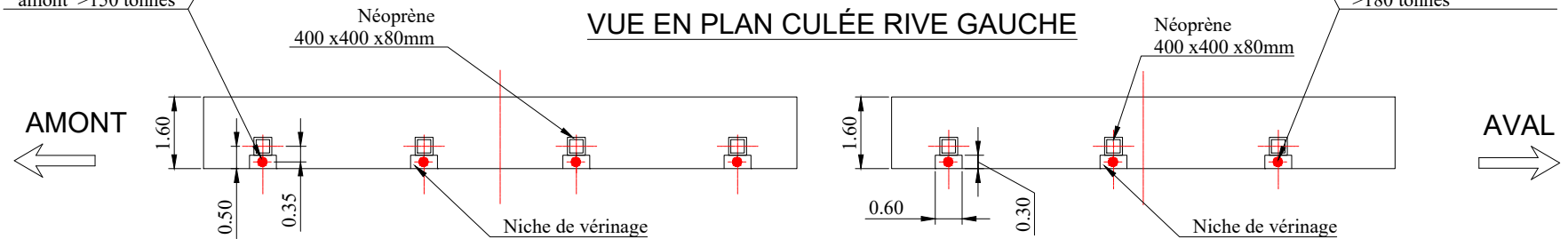
VUE DE FACE CULÉE RIVE GAUCHE

LUMES

FRANCHEVILLE



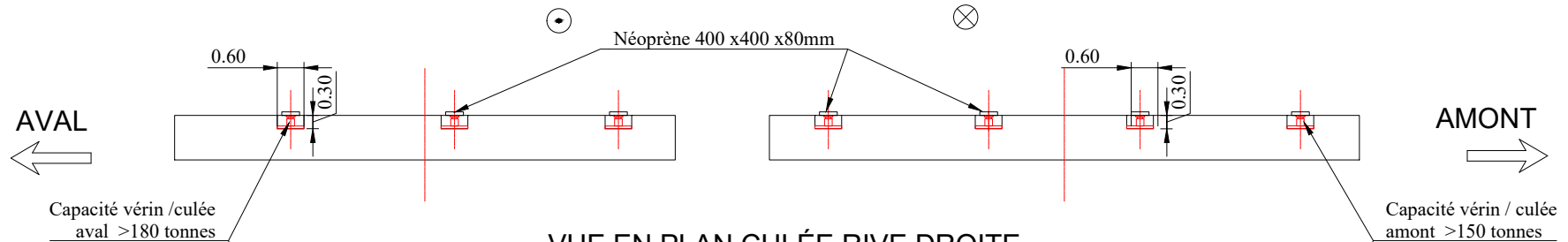
VUE EN PLAN CULÉE RIVE GAUCHE



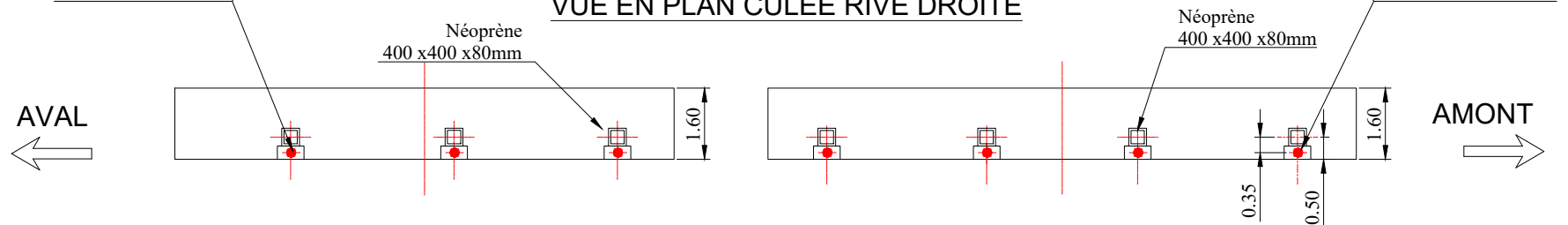
VUE DE FACE CULÉE RIVE DROITE

FRANCHEVILLE

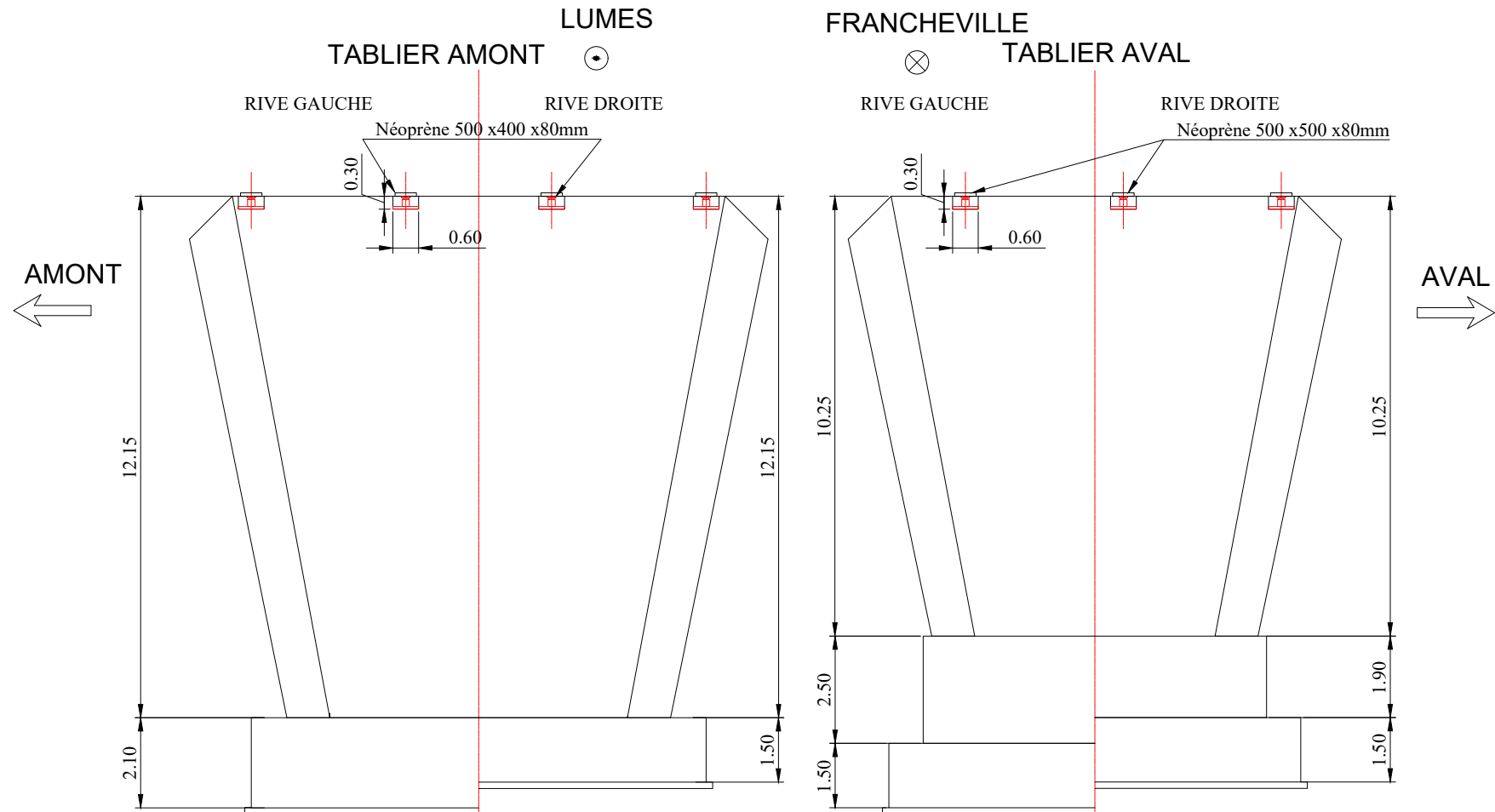
LUMES



VUE EN PLAN CULÉE RIVE DROITE



VUE DE FACE CULÉE RIVE GAUCHE



VUE EN PLAN PILES

