

Dossier 2021 - Affaire n° 21-HF-0161

PI2 sur l'A34 à Lumes (08)

Mesures de tension à l'arbalète



Étude réalisée à la demande de la DIR NORD

Rapport rédigé par Alexis DELORY

le 18/03/2022



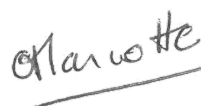
Rapport vérifié par Jean-Jacques BRIOIST

le 18/03/2022



Rapport validé par Claire MARCOTTE

le 18/03/2022



**Direction Territoriale Hauts de France
Département Infrastructures**

Site de Lille
2, rue de Bruxelles
CS 20275
59019 Lille CEDEX
Tél 03 20 49 60 00
Fax 03 20 53 15 25

Site de Sequedin
42 bis, rue Marais
Sequedin – BP 10099
59482 Haubourdin CEDEX
Tél 03 20 48 49 49
Fax 03 20 50 55 09

Site de Saint-Quentin
151, rue de Paris
02100 Saint-Quentin

Tél 03 23 06 18 00
Fax 03 23 64 11 22

Mél : DterNP@cerema.fr – Internet : www.cerema.fr

Objectif des mesures.....	4
Contexte et objectif.....	4
Présentation de l'ouvrage.....	4
Situation et type d'ouvrage.....	4
Armatures.....	7
Observations préalables aux mesures.....	9
Fenêtres de mesure.....	9
<i>Localisation des ouvertures.....</i>	<i>9</i>
Etat visuel des armatures.....	12
Mesures de tension.....	23
Calibration de l'instrumentation.....	23
Résultats des mesures.....	24
<i>Mesures réalisées sur la précontrainte longitudinale 30Ø7.....</i>	<i>25</i>
<i>Mesures réalisées sur la précontrainte transversale 12Ø8.....</i>	<i>25</i>
<i>Mesures réalisées sur la précontrainte longitudinale 12T13.....</i>	<i>25</i>
Pertes de précontrainte.....	26
Conclusion.....	28
Annexes.....	29
Photographies.....	29
Bibliographie.....	32

Objectif des mesures

Contexte et objectif

Le PI2 sur l'A34 doit faire l'objet de travaux de réparation dont le programme sera établi à l'issue d'une phase de diagnostic.

Dans ce cadre, le Cerema Hauts de France est intervenu sur l'ouvrage afin de réaliser des mesures de tension résiduelle à l'arbalète, dans les armatures de précontrainte de l'ouvrage.

L'objectif de l'intervention est de mesurer la tension résiduelle de quelques armatures de précontrainte de la structure, conformément au guide technique LCPC « Mesure de la tension des armatures de précontrainte à l'aide de l'arbalète ».

Pour ce faire, des ouvertures (appelées « fenêtres ») ont été pratiquées dans les gaines afin d'accéder aux armatures de précontrainte.

Les investigations permettent d'identifier le nombre de fils de précontrainte présents dans les gaines, d'estimer le diamètre moyen des fils et d'évaluer l'état de conservation des câbles de précontrainte.

Les mesures ont été réalisées en semaines 39 et 40 sur 13 fenêtres donnant chacune accès à une gaine de précontrainte.

Présentation de l'ouvrage

Situation et type d'ouvrage

Le PI2 permet le franchissement de la Meuse par l'autoroute A34 sur la commune de Lumes.

L'ouvrage, construit entre 1971 et 1973, se compose de deux ouvrages indépendants portant chacun un sens autoroutier.

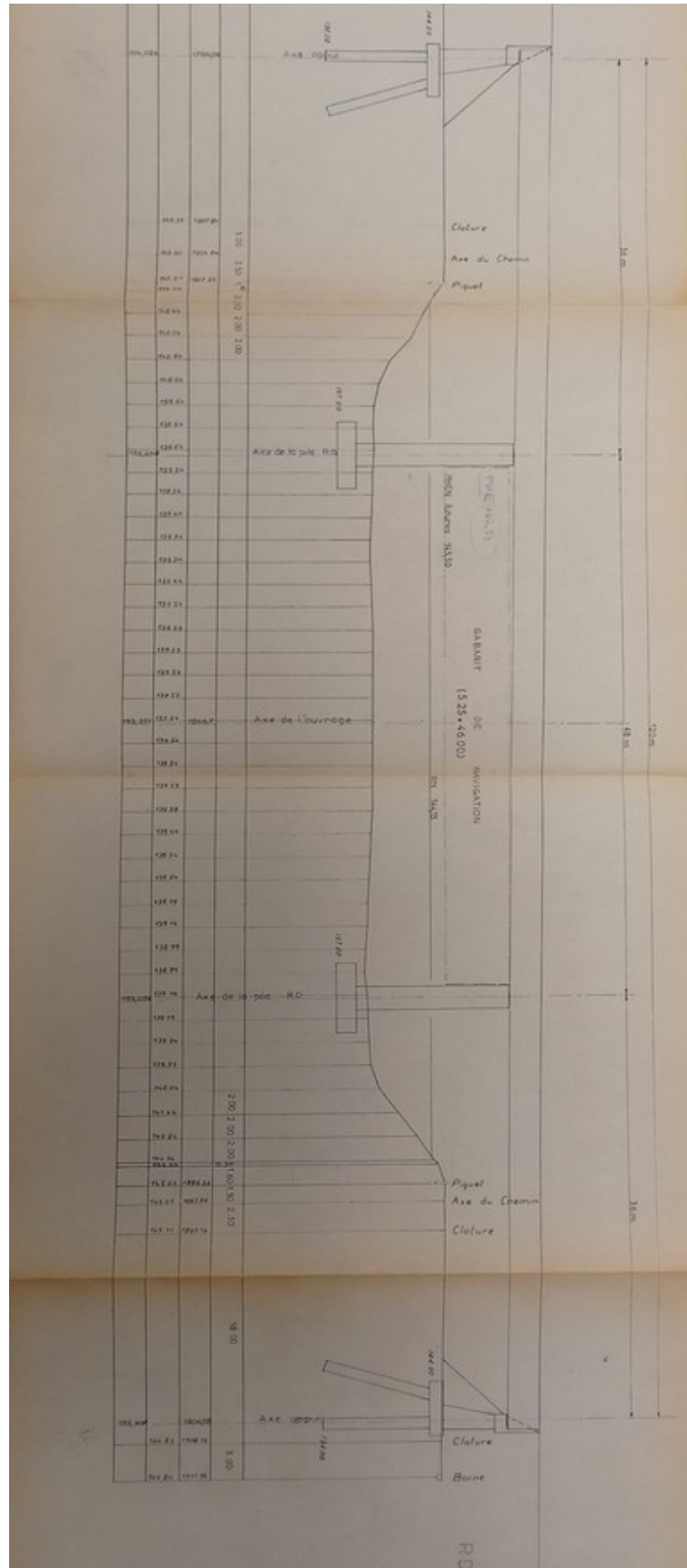
Les tabliers de ces 2 ouvrages sont de type caisson en béton précontraint.

Le tablier du pont amont (sens Charleville vers Sedan) est constitué de deux caissons ; le tablier du pont aval (sens Sedan vers Charleville) est un unique caisson bipartite, comportant une cloison médiane de forte épaisseur (0,4m).

Les deux ouvrages sont droits (biais de 100 grades), à inertie constante.

Chaque ouvrage est constitué de trois travées selon la répartition 36m - 48m - 36m. La travée centrale franchit la Meuse canalisée, la travée de rive côté Charleville franchit la RD34, et la travée de rive côté Sedan franchit un chemin bordant la Meuse.

Le tablier amont portant le sens autoroutier Charleville vers Sedan présente la particularité de porter en plus la RD34 dont la circulation se fait à contre-sens de celle de l'autoroute. Les flux de circulation sont séparés par une glissière métallique surmontée de pales anti-éblouissement. Ce tablier est donc plus large que le tablier aval, et se compose d'un double caisson.



Vue en élévation de l'ouvrage

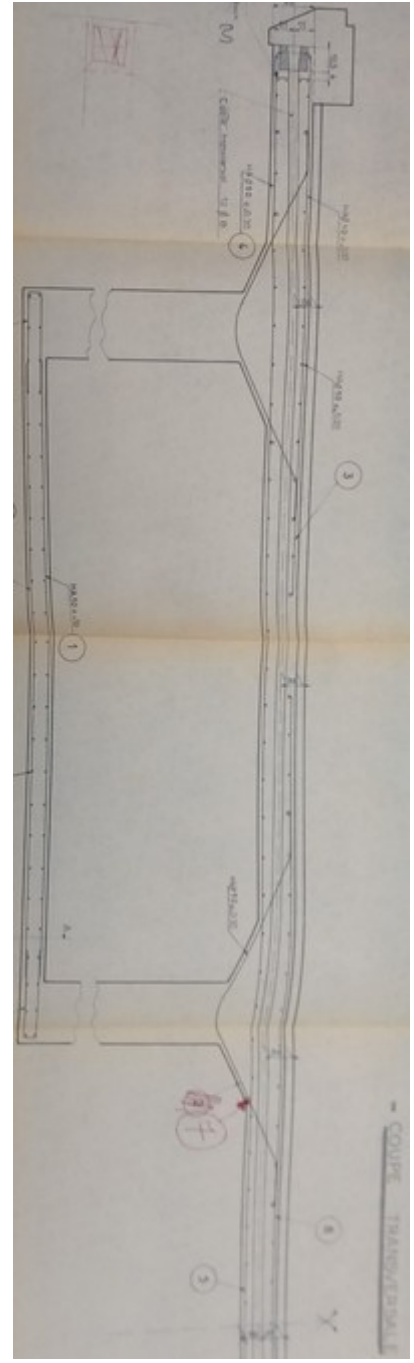
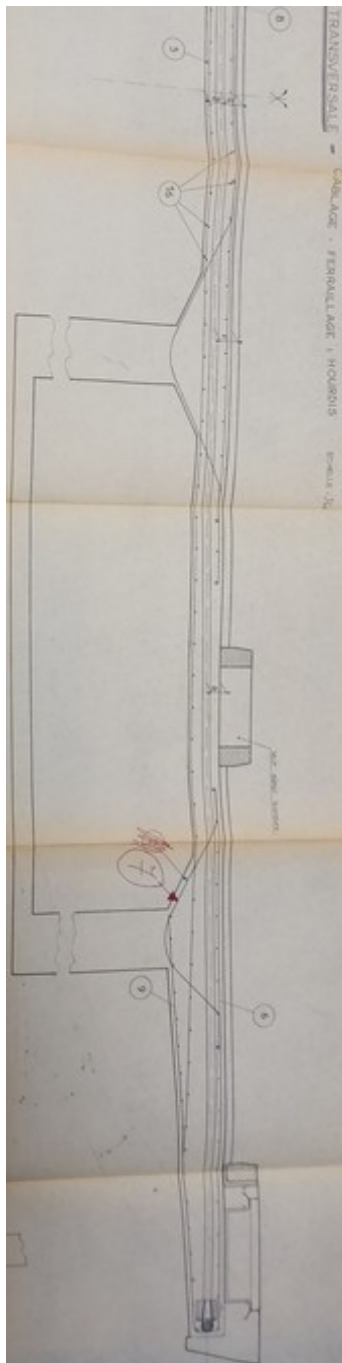
Armatures

La précontrainte est intérieure au béton.

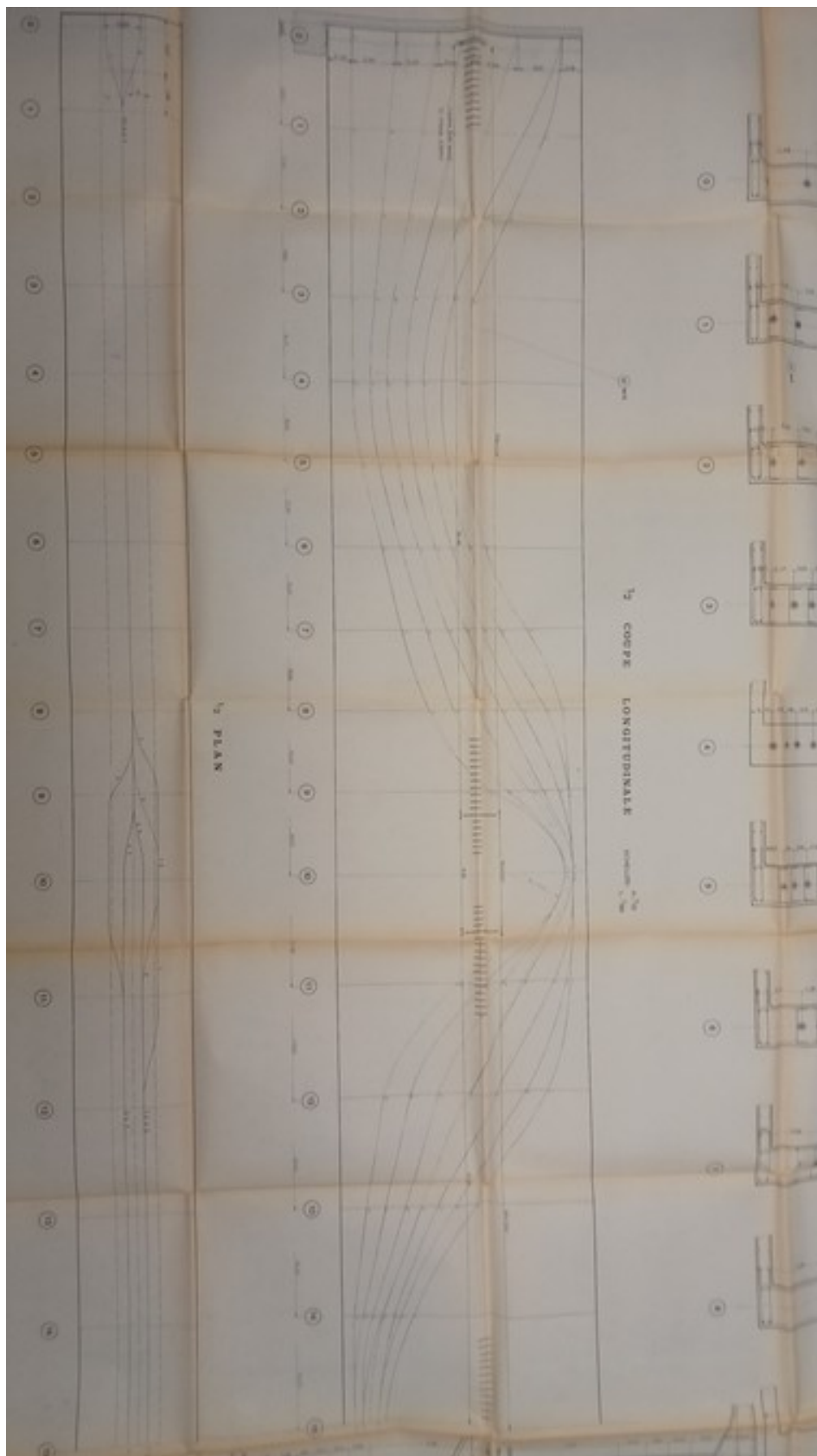
Le tablier aval est précontraint longitudinalement au moyen d'armatures de type 30Ø7 – procédé BBR.

Le tablier amont est précontraint longitudinalement au moyen d'armatures de type 12T13 – procédé Freyssinet.

Le hourdis supérieur ainsi que les entretoises du tablier amont sont précontraints transversalement par des câbles 12Ø8 – procédé Freyssinet, répartis tous les 0,9m.



Coupe transversale tablier amont – câblage – ferraillage hourdis



Tablier amont - Caisson n°1 - Ames 1 et 2 - demi coupe longitudinale

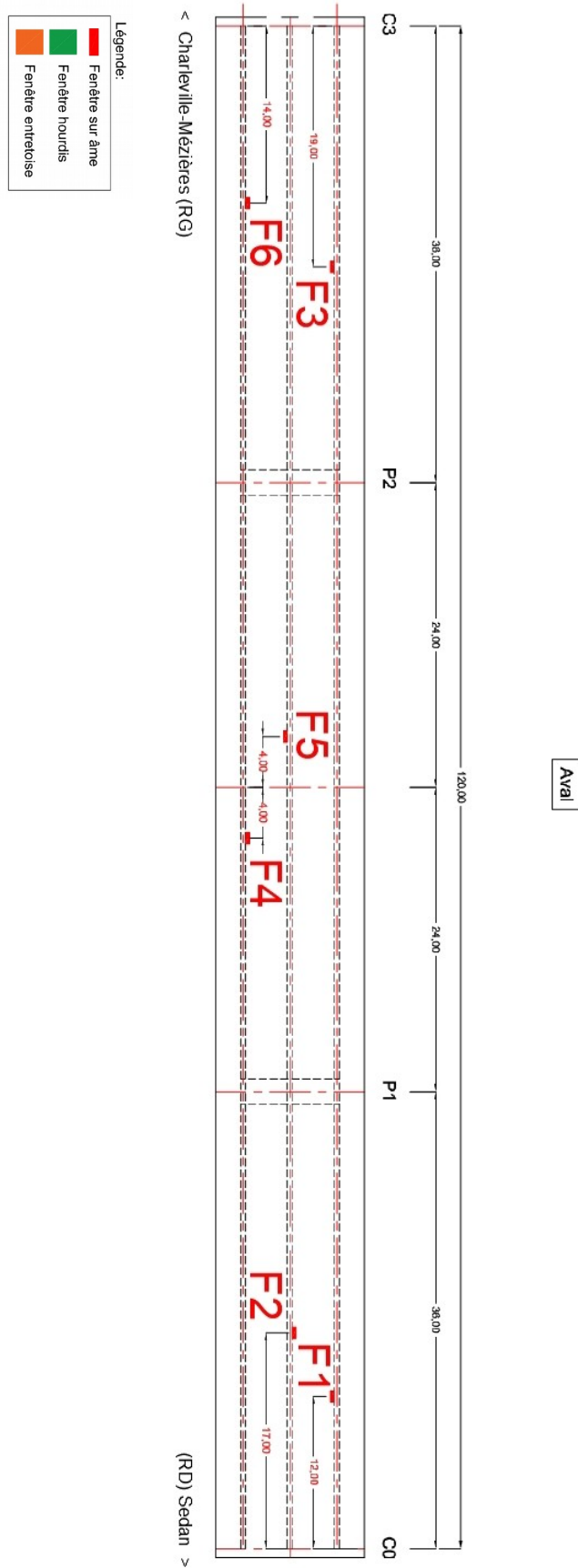
Observations préalables aux mesures

Fenêtres de mesure

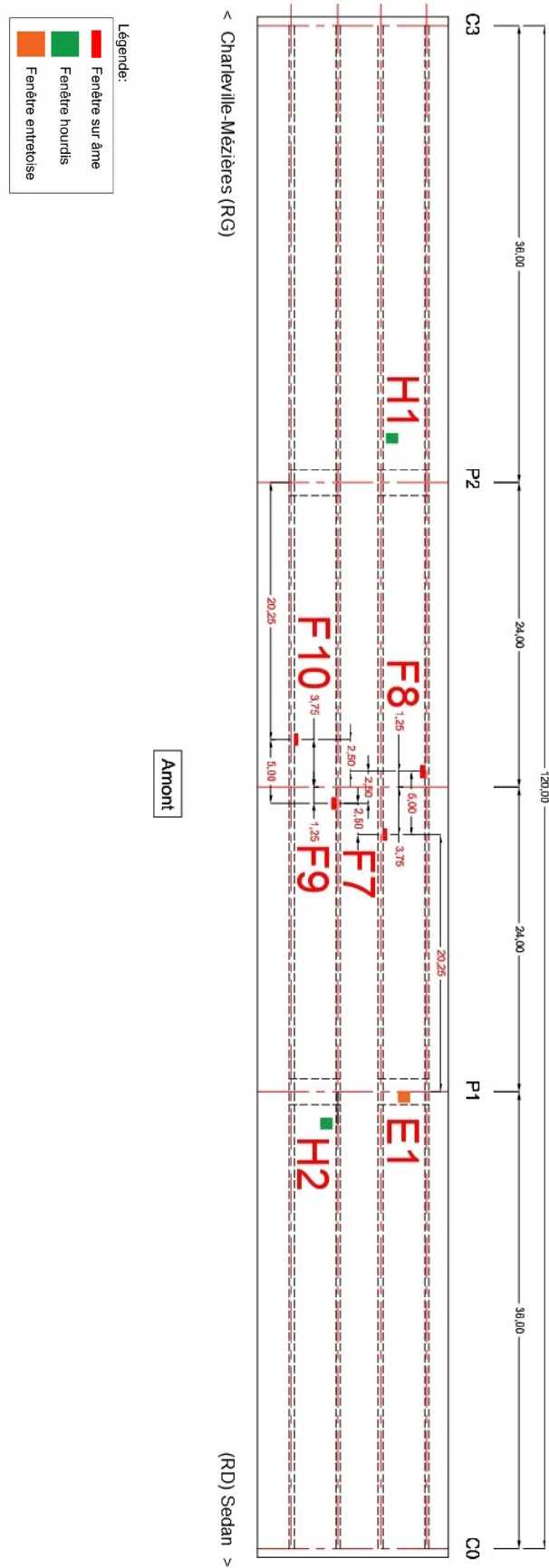
Localisation des ouvertures La position des ouvertures sur l'ouvrage est indiquée sur les schémas suivants.

Toutes les fenêtres permettant l'accès aux armatures ont été ouvertes depuis l'intérieur des caissons.

Chaque fenêtre permet d'accéder à une gaine de précontrainte dans laquelle des mesures de tension résiduelle ont été réalisées sur 2 à 3 armatures.



Positionnement des fenêtres d'arbalète - PI2 A34 Tablier Aval



Positionnement des fenêtres d'arbalète - PI2 A34 Tablier Amont

**Etat visuel des
armatures**

Fenêtre 1 – Tablier Aval – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 7mm.
On observe de nombreuses piqûres de corrosion.
Parmi les fils visibles, deux présentent un état de corrosion plus avancé.
Par précaution, aucun essai n'a été réalisé sur ces deux fils.



Fenêtre 2 – Tablier Aval – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 7mm.
On observe une légère corrosion superficielle des armatures.



Fenêtre 3 – Tablier Aval – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 7mm.
On observe une corrosion superficielle des armatures.





Fenêtre 4 – Tablier Aval – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 7mm.
On observe de nombreuses piqûres de corrosion.



Fenêtre 5 – Tablier Aval – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 7mm.
On observe quelques piqûres de corrosion.



Fenêtre 6 – Tablier Aval – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 7mm.
On observe quelques piqûres de corrosion.



Fenêtre 7 – Tablier Amont – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 2 torons T13.
On observe une corrosion superficielle des armatures.





Fenêtre 8 – Tablier Amont – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 2 torons T13.
On observe une corrosion superficielle des armatures.



Fenêtre 9 – Tablier Amont – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 2 torons T13.
On observe une corrosion superficielle des armatures.



Fenêtre 10 – Tablier Amont – Ame caisson

Des essais ont été réalisés sur 2 torons T13.
On observe une corrosion superficielle des armatures.





Fenêtre E1 – Tablier Amont – Entretoise P1

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 8mm.
On observe une corrosion superficielle sur deux des armatures dégagées.



Fenêtre H1 – Tablier Amont – Hourdis

Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 8mm.
On observe une corrosion superficielle des armatures.



Fenêtre H2 – Tablier Amont – Hourdis

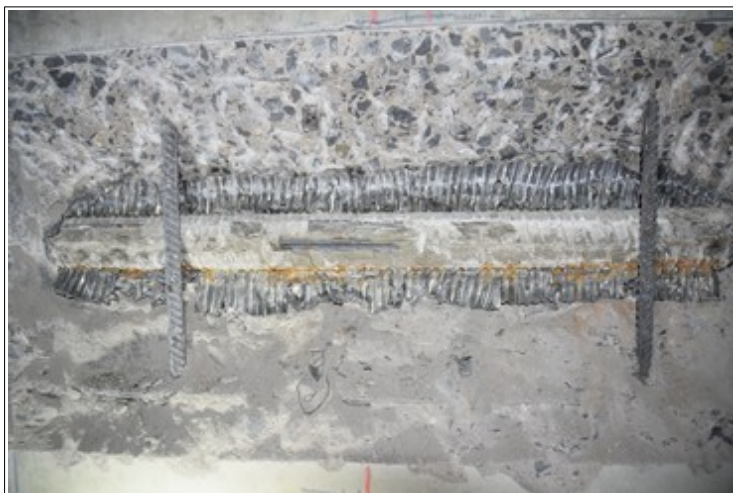
Des essais ont été réalisés sur 3 fils de Ø 8mm.
On observe une corrosion superficielle des armatures.





Un coulis protégeant les armatures est présent en quantité importante dans chaque gaine ouverte.

Le coulis est bien réparti autour des armatures et présente un aspect dur et compact (photos suivantes).





Mesures de tension

Calibration de l'instrumentation

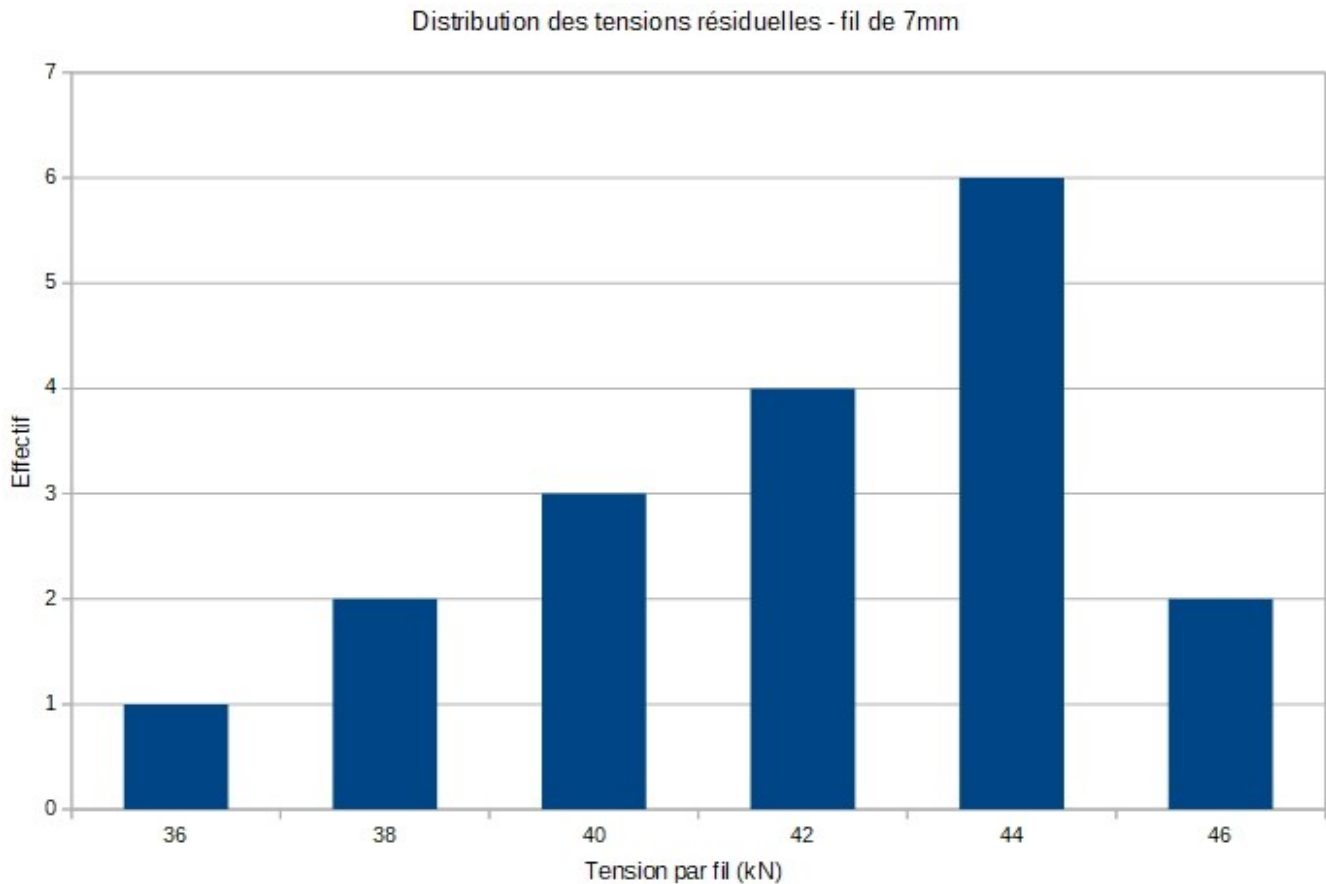
Une calibration de la chaîne de mesure à l'arbalète est nécessaire afin d'exploiter le plus justement possible les courbes d'arbalète enregistrées sur le site.

Les faisceaux de calibration nécessaires à l'analyse des mesures ont été réalisés en janvier 2021 sur une machine de traction raccordée métrologiquement.

Résultats des mesures

Synthèse des valeurs mesurées					
Fenêtre	Fil	Tension (kN)	Tension moyenne (kN)	Contrainte (MPa)	Contrainte Moyenne (MPa)
E1 (12phi8)	Fil 1	42,8	43,1	852	858
	Fil 2	42		836	
	Fil 3	44,5		886	
F1 (30phi7)	Fil 1	41,3	42,6	1074	1108
	Fil 2	43,7		1136	
	Fil 3	42,8		1113	
F2 (30phi7)	Fil 1	39,2	39,2	1019	1020
	Fil 2	39,3		1022	
	Fil 3	39,2		1018	
F3 (30phi7)	Fil 1	44,1	44	1145	1143
	Fil 2	41,8		1087	
	Fil 3	46		1195	
F4 (30phi7)	Fil 1	37	36,1	962	937
	Fil 2	35,1		912	
	Fil 3	36,1		937	
F5 (30phi7)	Fil 1	42	42,6	1090	1107
	Fil 2	43		1118	
	Fil 3	42,9		1114	
F6 (30phi7)	Fil 1	41,8	42,6	1086	1106
	Fil 2	43,8		1137	
	Fil 3	42,2		1096	
F7 (12T13)	Toron 1	111,9	112,3	1188	1193
	Toron 2	112,8		1197	
F8 (12T13)	Toron 1	100,6	103	1068	1094
	Toron 2	105,5		1120	
F9 (12T13)	Toron 1	111,6	114,1	1185	1212
	Toron 2	116,7		1239	
F10 (12T13)	Toron 1	120,4	120,4	1278	1278
	Toron 2	120,5		1279	
H1 (12phi8)	Fil 1	44,8	46	891	916
	Fil 2	47		936	
	Fil 3	46,3		920	
H2 (12phi8)	Fil 1	45,1	45,9	898	912
	Fil 2	46,2		920	
	Fil 3	46,3		920	

Mesures réalisées sur la précontrainte longitudinale 30Ø7 Les valeurs de tension mesurées sont comprises entre 35,1 kN et 46 kN avec une moyenne de 41,2 kN.
 L'histogramme suivant donne la répartition des tensions pour les armatures de diamètre 7mm.



Distribution des tensions résiduelles par fil

Mesures réalisées sur la précontrainte transversale 12Ø8 Les valeurs de tension mesurées sont comprises entre 42 kN et 47 kN avec une moyenne de 45 kN.

Mesures réalisées sur la précontrainte longitudinale 12T13 Les valeurs de tension mesurées sont comprises entre 100,6 kN et 120,5 kN avec une moyenne de 112,5 kN.

Pertes de précontrainte

Les valeurs enregistrées à la mise en tension de la structure ne sont pas disponibles pour le tablier amont (procédé de précontrainte Freyssinet).

Cependant, l'agrément ministériel du 27 décembre 1966 donne une indication sur les pratiques agréées à l'époque concernant la mise en œuvre d'armatures de type 12Ø8 et 12T13 selon le procédé Freyssinet :

- pour les armatures 12Ø8, la force maximale sous l'ancrage à la mise sous tension est de 78,5 kdaN soit 80 tonnes,
- pour les armatures 12T13, la force maximale sous l'ancrage à la mise sous tension est de 164 kdaN soit 167 tonnes.

Pour un fil de diamètre 8mm, la valeur est 65,4 kN.

Pour un toron de diamètre 12,7mm, la valeur est 136,7 kN.

Les valeurs enregistrées à la mise en tension de la structure sont disponibles pour le tablier aval (procédé de précontrainte BBR).

La contrainte initiale à la mise en tension est de 147,9 kg/mm² .

La force correspondante à l'ancrage est de 171 tonnes soit 167,7 kdaN.

Pour un fil de diamètre 7mm, la valeur est 55,9 kN.

Les tableaux suivants donnent, pour chaque mesure:

- le rapport entre la tension mesurée et la tension initiale définie dans la note de calcul (tablier aval),
- le rapport entre la tension mesurée et la tension initiale indiquée dans l'agrément ministériel du 27 décembre 1966 (tablier amont).

Tablier aval			
Fenêtre	Fil	Tension (kN)	Rapport entre la tension mesurée et la tension initiale définie dans la note de calcul (%)
F1 (30phi7)	Fil 1	41,3	-26,1
	Fil 2	43,7	-21,8
	Fil 3	42,8	-23,4
F2 (30phi7)	Fil 1	39,2	-29,8
	Fil 2	39,3	-29,6
	Fil 3	39,2	-29,9
F3 (30phi7)	Fil 1	44,1	-21,1
	Fil 2	41,8	-25,2
	Fil 3	46	-17,7
F4 (30phi7)	Fil 1	37	-33,8
	Fil 2	35,1	-37,2
	Fil 3	36,1	-35,5
F5 (30phi7)	Fil 1	42	-24,9
	Fil 2	43	-23
	Fil 3	42,9	-23,3
F6 (30phi7)	Fil 1	41,8	-25,3
	Fil 2	43,8	-21,7
	Fil 3	42,2	-24,5

Tablier amont			
Fenêtre	Fil	Tension (kN)	Rapport entre la tension mesurée et la tension initiale indiquée dans l'agrément ministériel du 27 décembre 1966 (%)
E1 (12phi8)	Fil 1	42,8	-34,5
	Fil 2	42	-35,7
	Fil 3	44,5	-31,9
F7 (12T13)	Toron 1	111,9	-18,1
	Toron 2	112,8	-17,5
F8 (12T13)	Toron 1	100,6	-26,4
	Toron 2	105,5	-22,8
F9 (12T13)	Toron 1	111,6	-18,4
	Toron 2	116,7	-14,6
F10 (12T13)	Toron 1	120,4	-11,9
	Toron 2	120,5	-11,9
H1 (12phi8)	Fil 1	44,8	-31,5
	Fil 2	47	-28,1
	Fil 3	46,3	-29,3
H2 (12phi8)	Fil 1	45,1	-31
	Fil 2	46,2	-29,3
	Fil 3	46,3	-29,3

Conclusion

Des mesures de tension résiduelle ont été réalisés sur 2 à 3 armatures de précontrainte dans chaque gaine ouverte.

La protection des armatures est assurée par des gaines en acier, injectées de coulis de ciment.

A l'ouverture des gaines, on observe:

- une corrosion superficielle des armatures dans la plupart des cas ou l'absence de corrosion,
- des piqures de corrosion ou une corrosion généralisée sur quelques armatures,
- la présence d'un coulis compact, dur, présent en quantité importante et bien réparti autour des armatures.

Les valeurs de tension résiduelle mesurées par type d'armatures sont:

- comprises entre 35,1 kN et 46 kN avec une moyenne de 41,2 kN pour les armatures de diamètre 7mm,
- comprises entre 42 kN et 47 kN avec une moyenne de 45 kN pour les armatures de diamètre 8mm,
- comprises entre 100,6 kN et 120,5 kN avec une moyenne de 112,5 kN pour les armatures de diamètre T13.

Le calcul donne des pertes de précontrainte:

- de l'ordre de 20 à 35 % par rapport aux valeurs enregistrées à la mise en tension pour les armatures de type 30Ø7,
- de l'ordre de 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 12Ø8,
- de l'ordre 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.

Annexes

Photographies



F1 – arbalète en position pour l'essai



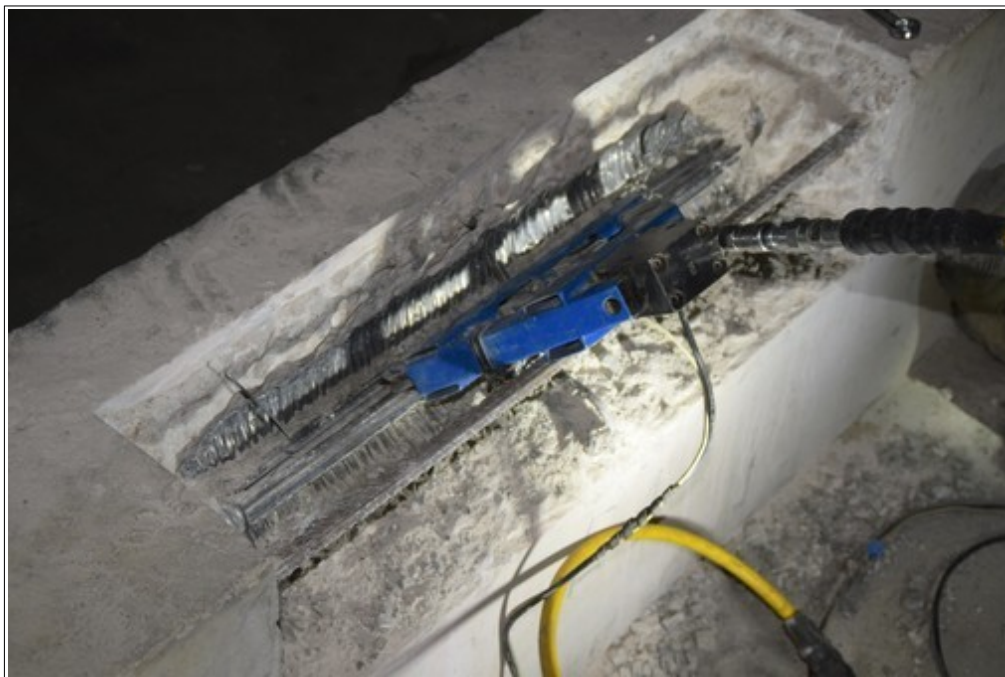
F2 – arbalète en position pour l'essai



F6 – Chaîne de mesure arbalète



F7 – Chaîne de mesure arbalète



E1 – arbalète en position pour l'essai



H1 – Chaîne de mesure arbalète

Bibliographie

- [1] B. Tonnoir – Guide technique LCPC – Mesure de la tension des armatures de précontrainte à l'aide de l'Arbalète