PONT SUSPENDU DE TANCARVILLE

MAITRISE D'ŒUVRE DE CONCEPTION ET DE REALISATION DE WRAPPING ET DE DESHUMIDIFICATION DES CABLES



Maître d'Ouvrage

La Chambre de Commerce et d'Industrie Territoriale Seine Estuaire
Siège social : 181 quai Frissard - BP 1410
76067 LE HAVRE cedex 1
Tél : 02 35 55 26 00

Groupement Maitrise d'Œuvre

Mandataire

Immeuble Central Seine
42/52, quai de la Râpée
75583 Paris cedex 12
Tél : 01.82.51.42.76
E-mail : tpi.setec.fr@setec.com

Sous-traitants

Cahier des charges Inspection externe des câbles porteurs

Echelle (s) : A4

Date : 19/06/2026

Société	Affaire	Phase	Emetteur	Type	Numéro	Indice	Statut
003	61304	DIA	SET	CDC	1001	C	APPROUV

APPROUV	C	02/10/2026	M. La Sala	E. Combescure	T. De Folleville	Troisième émission répondant aux commentaires de la CCI
APPROUV	B	19/06/2026	M. La Sala	E. Combescure	T. De Folleville	Seconde émission répondant aux commentaires de la CCI
EMIS	A	13/04/2026	M. La Sala	E. Combescure T. Julien	T. De Folleville	Première émission
STATUT.	**Rev.**	**Date**	**Auteur**	**Vérificateur**	**Approbateur**	**Modification**

SOMMAIRE

1. OBJET 5
2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE 5
2.1 LES CABLES DE SUSPENSION 5
2.2 LES COLLIERS DES SUSPENTES 7
2.3 LES CHAMBRES D'ANCRAGE 8
3. PROTECTION ANTICORROSION EXISTANTE 9
3.1 SECTION COURANTE 9
3.2 POINTS SINGULIERS 9
4. DOCUMENT DE REFERENCE ET INSPECTION RECENTES 11
4.1 DOCUMENTS DE REFERENCE 11
4.2 CONSTATS DE BAUDIN-CHATEAUNEUF (CAMPAGNES D'ENTRETIEN 2010-2019) 11
4.3 INSPECTION VISUELLE D'UNE PARTIE DES CABLES (2019) 12
4.4 DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE SUR LA PROTECTION ANTICORROSION (2024) 13
4.5 AUSCULTATIONS DANS LES CHAMBRES D'ANCRAGE (2019 ET 2024) 13
4.6 DIAGNOSTIC AMIANTE PLOMB (2024) 15
5. PROGRAMMES D'INSPECTION 15
5.1 PROGRAMME D'INSPECTION DETAILLEE DE LA PERIPHERIE DES CABLES 16
5.2 ESSAI IN SITU DE CARACTERISATION DU MASTIC 18
5.2.1 Essai de pelage 18
5.2.2 Essai de dureté 20
5.2.3 Corrélation des essais 20
5.3 PRELEVEMENTS ET ANALYSE AU DROIT DES POINTS SINGULIERS 20
6. MOYENS D'ACCES 23
6.1 ACCES AUX CABLES PORTEURS POUR L'INSPECTION EXTERNE DES CABLES 23
6.2 ETAT ACTUEL DES LIGNES DE VIE 24

6.3 ACCES AUX CABLES ET COLLIER POUR LES ESSAIS SUR PLACE ET LES PRELEVEMENTS 24

7. LIVRABLES 25

7.1 INSPECTION VISUELLE EXTERNE DU CABLE 25

7.1.1 Rapport d'inspection 25

7.1.2 Fiches d'inspection 26

7.2 PRELEVEMENT ET ANALYSES 27

7.2.1 Rapport d'essai 27

7.2.2 Rapport d'analyse 27

7.2.3 Contenu minimal des rapports 28

8. SECURITE ET EXPLOITATION 29

1. OBJET

Le présent document a pour objet de définir le contenu et les objectifs des missions de diagnostic externe des câbles porteurs du pont de Tancarville. Cette intervention est nécessaire dans le cadre du suivi régulier de l'état de la suspension et s'inscrivent notamment dans la reconnaissance de l'ouvrage en vue de travaux de wrapping et de déshumidification des câbles de suspension.

L'ouvrage ayant déjà fait l'objet de nombreuses investigations et inspections, ce cahier des charges s'inscrit dans la continuité de ces suivis afin de **caractériser les éventuelles évolutions de l'état externes des torons et des revêtements (mastic et peinture).**

Le diagnostic interne des câbles fera l'objet d'un autre cahier de charges.

2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pont suspendu de Tancarville a été mis en service en 1959 et présente une longueur de 960 m (hors massifs d'ancrage) répartie en 608 m de travée centrale et 176 m pour chacune des travées de rive.

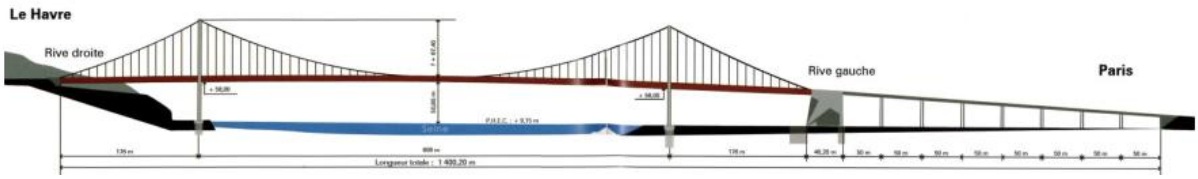


Figure 1 - Pont de Tancarville

Le tablier est constitué de deux poutres latérales triangulées type Warren de 6 m de hauteur, et espacées de 16 m d'axe à axe.

2.1 LES CABLES DE SUSPENSION

De 1996 à 1999, les 2 câbles porteurs d'origine ont été remplacés par 4 nouveaux câbles (2 câbles par nappe). Chaque câble est constitué de 90 torons parallèles regroupés en hexagone.

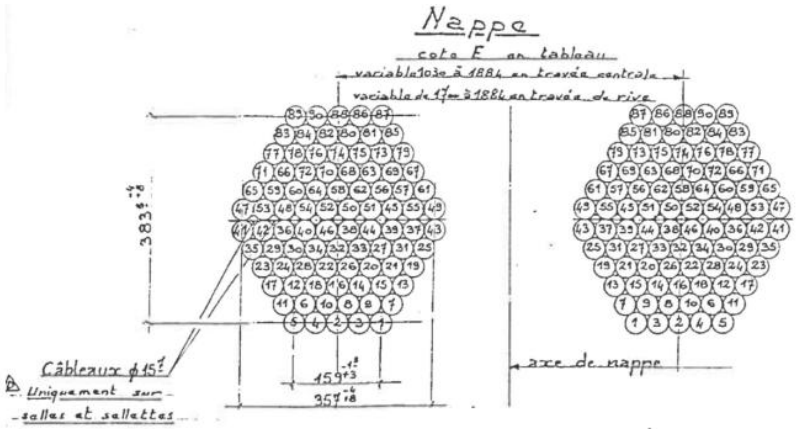


Figure 2 Nouvelle nappe de câbles - à partir de 1999 (cf. T_PT_SUSPENSION_PN1_D_1997)

Les torons font 40 mm de diamètre et sont formés de 37 fils répartis en 4 couches (1 + 6 + 12 + 18 fils). Chaque fil a un diamètre de 5.54 mm (5.66 mm galvanisation comprise).

Le système de suspension a été changé lors d'une campagne de rénovation qui a eu lieu de 1996 à 1999. Nous rappelons que ce remplacement a été initié à la suite de la rupture, en 1995, d'un des 60 torons composant le câble amont du pont, due à un phénomène de corrosion fissurante sous tension.

On distingue une nappe aval (côté estuaire) et une nappe amont (côté Rouen). Chaque nappe est composée d'un câble intérieur (coté voies de circulation) et un câble extérieur (côté Seine, non atteignable sans nacelle).

Les fils de torons sont galvanisés et les câbles sont protégés par deux couches périphériques. Une protection de type mastic est appliquée sur les 3 faces supérieures et vient se loger dans les interstices longitudinaux entre les torons (et les fils) des premières couches extérieures (il s'agit d'une protection vis-à-vis des infiltrations d'eau dans les faisceaux de torons, cf. chapitre 3). Les parties inférieures ne sont pas traitées au mastic de manière à laisser l'humidité s'évacuer. L'ensemble est recouvert d'une peinture (ensemble des faces).

Au niveau des selles en tête de piles les câbles conservent leur forme hexagonale et reposent sur les trois faces inférieures. Les câbles sont protégés par un système de capotage qui n'est pas en contact avec les faces supérieures des câbles.

2.2 LES COLLIERS DES SUSPENTES

Les suspentes sont attachées aux câbles par des étriers et des colliers de serrage.

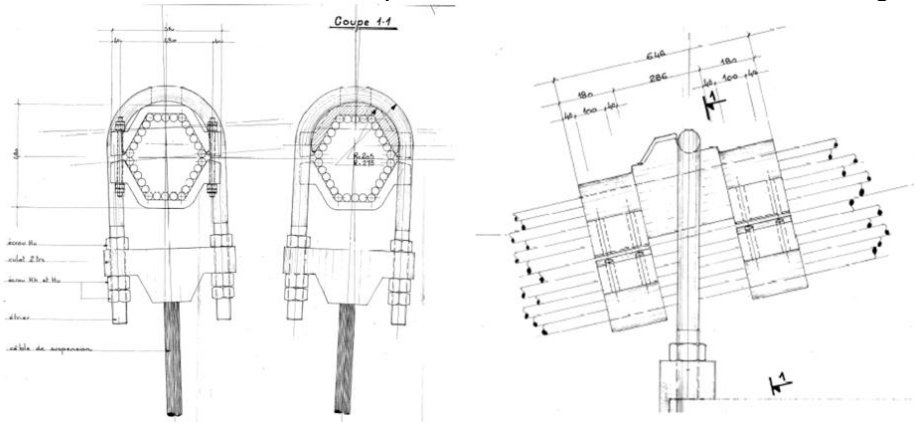


Figure 3 Coupe transversale au droit du collier 4 trous (cf. T_PT_SUSPENSION_E23)

En zone courante, 4 types de colliers sont utilisés : 1 type à 4 trous, 1 type à 8 trous et 2 types à 12 trous (courant et spécial à la mi-travée).

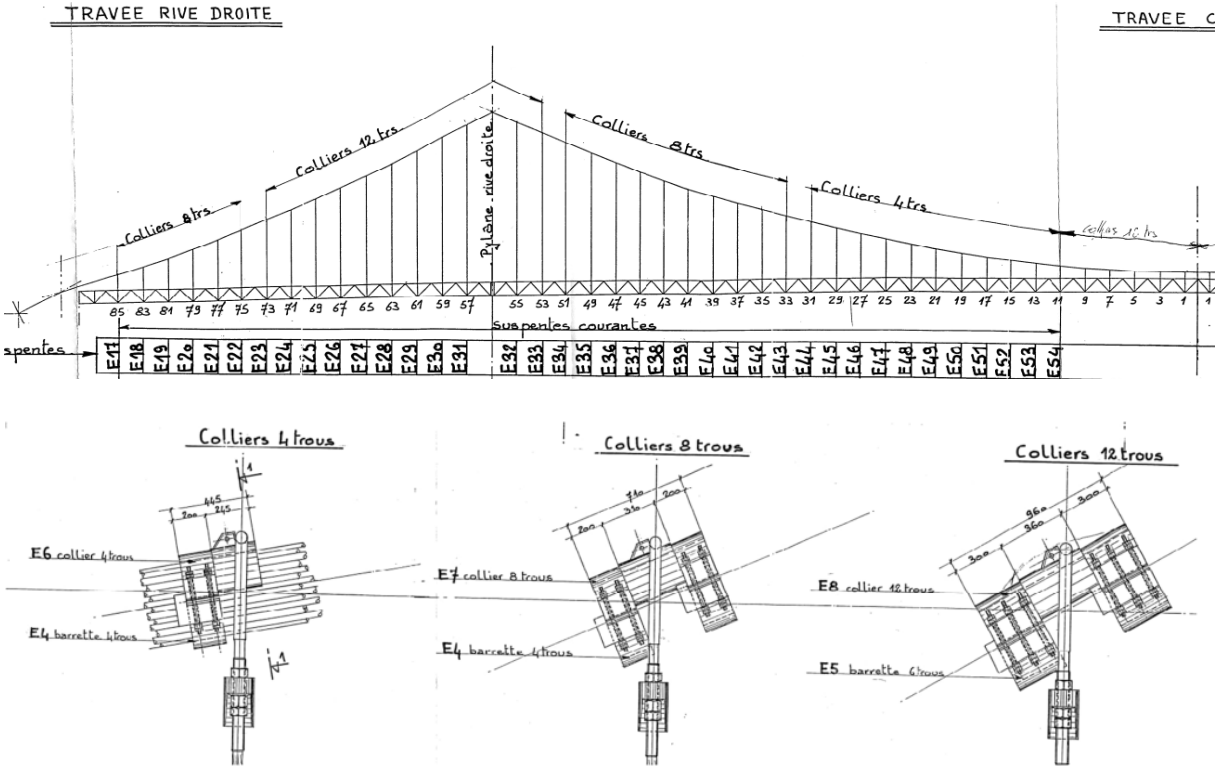


Figure 4 Plan de repérage et types de colliers (cf. T_PT_SUSPENSION_PN200_B)

Des missions d'entretien régulier ont été menées par Baudin-Châteauneuf depuis 2010 comportant l'ouverture de certains colliers et le replacement des feuilles de zinc.

2.3 LES CHAMBRES D'ANCRAGE

Les câbles sont ancrés dans des chambres d'ancrage en rive droite et dans un massif d'ancrage en rive gauche (ce massif permet la transition entre le viaduc d'accès et le pont suspendu). Le système d'ancrage est similaire dans les deux cas : les 90 torons sont épanouis à l'entrée des chambres par le biais d'une sellette de déviation et d'épanouissement, réalignés par un cadre déviateur et ancrés individuellement aux tiges d'ancrage d'origine par l'intermédiaire de barres relais.

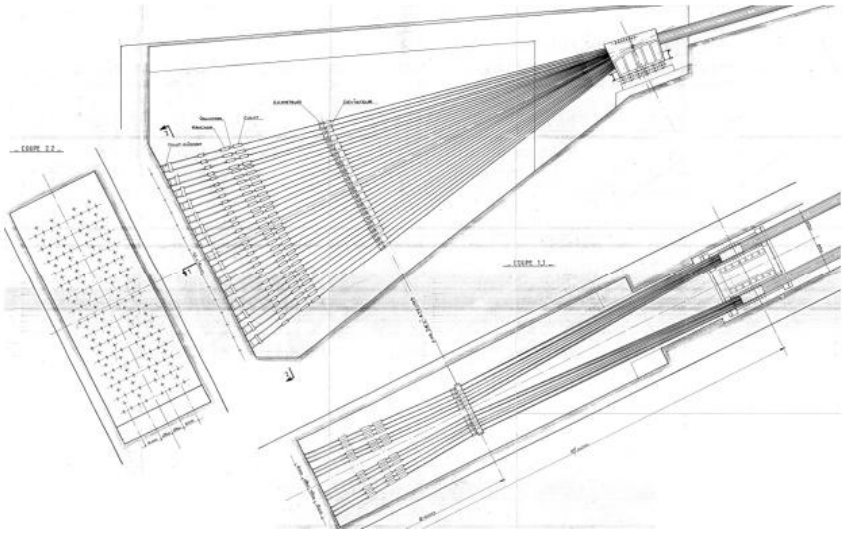


Figure 5 Chambre d'ancrage rive droite

Nous attirons l'attention sur la protection du câble à l'entrée dans la chambre d'ancrage : juste avant l'entrée le câble est protégé par une manchette thermo rétractable servant de protection du câble au niveau de la réservation, cette dernière équipée d'une gaine métallique (cf plan N162_0). A l'intérieure de la chambre les torons épanouis sont simplement galvanisés (avec des traces de corrosion blanche) et non revêtus par la double protection de mastic/peinture que l'on a en partie aérienne et courante du câble.



Figure 6 Interface câble / entrée en chambre d'ancrage (extérieur à gauche et intérieur à droite)

3. PROTECTION ANTICORROSION EXISTANTE

3.1 SECTION COURANTE

L'analyse des documents existants, et notamment le PAQ de la suspension (cf. T_PT_SUSPENSION_QC273_C_1998) rédigé lors des travaux de remplacement de la suspension fait état de la composition du revêtement des câbles.

4.8.1.1. - TRAITEMENT DES CABLES PORTEURS

Sur câbles galvanisés :
- Dérochage à l'abrasif 50/80 suivi d'un dépoussiérage soigné,
- Application de :
  . 1 couche de BITULATEX 684 épaisseur 110 microns, couleur noire
  . 1 couche de BITULATEX 684 épaisseur 110 microns, couleur brun
  . Masticage au mastic type MASTILATEX P sur la partie supérieure de la nappe (voir croquis)
  . Application de1 couche de BITULATEX 684 épaisseur 110 microns, couleur noire (application manuelle ou au pistolet).

La protection anticorrosion des câbles porte ainsi sur deux couches de revêtement BITULATEX 684 (noir et brun) de 110 µm chacune, d'un masticage et d'une couche de revêtement (couleur noir) au-dessus du mastic.

Le produit connu sous le nom Bitulatex 684 est historiquement un enduit ou revêtement bitumineux, et il est associé à des produits noirs industriels qui peuvent contenir du brai de houille ou des fibres d'amiante.

3.2 POINTS SINGULIERS

Le masticage prévu sur les nappes de câbles porteurs s'étend sur les zones de contact avec les colliers selon le principe décrit par le schéma suivant.

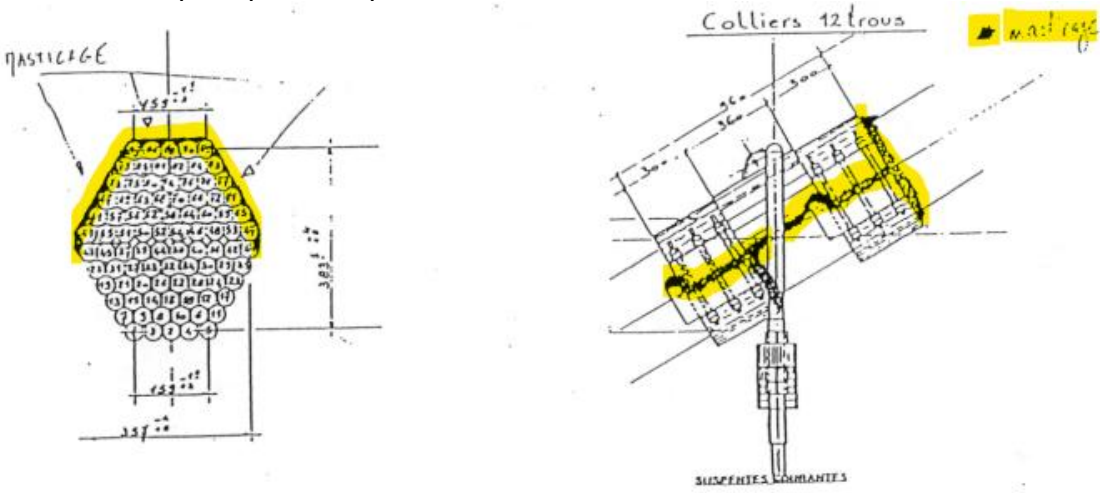


Figure 7 Extrait de T_PT_SUSPENSION_QC273_C_1998 - emplacement du mastic en jaune



Figure 8 Extrait du Diagnostic Complémentaire [7]

Le principe de protection mis en œuvre en zone courante s'interrompt au droit des suspentes (interruption de la peinture et du mastic).
Au droit des suspentes, la protection est assurée par le collier lui-même et des feuilles de zinc sous les colliers qui jouent le rôle d'anode sacrificielle et de matage. Par ailleurs, nous précisons que, comme pour les colliers de suspentes, des feuilles de zinc d'épaisseur 1 mm sont intercalées entre le câble et la selle (et les sellettes), au niveau des 3 facettes inférieures.



Figure 9 - Extrait du rapport Baudin-Châteauneuf (T_PT_SUSPENSION_2019_Inspection-Rapport)

D'après le rapport d'inspection de 2019 les câbles visibles sous les colliers ne présentaient pas de fils rompus bien que de la fleur de rouille sur les câbles soit visible dans les photos de nombreux colliers.

4. DOCUMENT DE REFERENCE ET INSPECTION RECENTES

L'ensemble des observations concernent l'extérieur des câbles. L'état de la partie interne de la section fera l'objet d'un autre marché.

4.1 DOCUMENTS DE REFERENCE

Désignation	Intitulé	Auteur	Date
[1] AEM_Tancarville_2019	Auscultations magnétiques des câbles du pont de Tancarville dans la Chambre d'ancrage Nord-Est	Cerema	Jan 2019
[2] 91_ 6729_CCI_SEINE ESTUAIRE_INSPECTION DETAILLEE SUSPENSION ET TETES DE PILES	Inspection détaillée suspension et têtes de piles	Sixense	18/09/2019
[3] Rapport de repérage des matériaux amiante	Rapport d'analyse d'amiante (tablier)	BUREAU VERITAS EXPLOITATION	24/12/2019
[4] Repérage amiante câble AR-23-NM-000634-01 - 23NM000313 (1)	Rapport d'analyse d'amiante dans les matériaux (cable / mastic + peinture)	Eurofins	05/01/2023
[5] 0308240205_CCI_ Pont_Tancarville_amiante_AT_01	Rapport d'analyse d'amiante	DIAG ECO SERVICES	30/03/2024 (reçu 20/06/2024)
[6] 0308240205_CCI_ Pont_Tancarville_plomb_CDT_01	Rapport d'analyse plomb	DIAG ECO SERVICES	03/04/2024 (reçu 20/06/2024)
[7] RAPPORT & ANALYSES DIAG DES SUSPENTES PONT DE TANCARVILLE REV 1 AVRIL 2024-1	Diagnostic Complémentaire sur la protection anticorrosion des câbles	MATEXIS	22/04/2024
[8] AMC_Rapport_Tancarville_VF	Auscultation magnétique des câbles dans les chambres Nord-Ouest, Sud Est et Sud-Ouest	Cerema	10/07/2024
[9] Rapport d'entretien annuel – Entretien 2017 DOC_RAP_700 indice 0	Rapport d'entretien annuel entretien 2017	Baudin-Châteauneuf	20/06/2018
[10] SET-NTE-6101-B	Cinétique de dégradation des torons dans les chambres d'ancrage	setec	20/02/2025

4.2 CONSTATS DE BAUDIN-CHATEAUNEUF (CAMPAGNES D'ENTRETIEN 2010-2019)

De nombreuses campagnes d'entretien ont été menées par Baudin-Chateauneuf, dont les rapports sont disponibles dans le dossier de l'ouvrage. Concernant le système de suspension, ces campagnes ont notamment intéressé les colliers et les chambres d'ancrages.

- **Au niveau des colliers**

Dans les différentes campagnes de démontage de colliers (et remplacement des feuilles de zinc) la présence de fleur de rouille a été constatée au droit de nombreux colliers. Aucun signe de dégradation sévère (corrosion foisonnante et/ou rupture de fils) n'a néanmoins été signalée.

- **Au niveau des chambres d'ancrage**

Dans toutes les campagnes, la présence d'eau et de la fleur de rouille au niveau des torons ont été systématiquement identifiées y compris au niveau des culots d'ancrage. Des traces d'oxydation sont par ailleurs apparentes sur plusieurs torons s'amplifiant au fil du temps et à plusieurs endroits dans la chambre d'ancrage. Des traces de ruissellement à proximité et sur les culots d'ancrage ont été identifiés. Le niveau de corrosion apparaît en tout cas peu marqué. Des traces d'humidité (mousses) au niveau des faces inférieures des câbles sont également visibles à l'extérieur, avant l'entrée dans les chambres.

Par ailleurs selon le constat décrit en [9], l'eau est emprisonnée entre les fils des torons d'où elle sort sous pression en certains points (une colonne d'eau est donc probablement enfermée dans les torons et qui ressort au droit d'un éventuel point faible entre fils).

4.3 INSPECTION VISUELLE D'UNE PARTIE DES CABLES (2019)

Les principales conclusions du diagnostic sont rappelées ci-dessous (cf. [2]).

- Les torons et câbles sont dans un bon état apparent, aucun signe de dégradation ou de rupture n'a été observé, la protection par le mastic et la peinture est néanmoins en fin de vie.
- L'inspection a mis en évidence un état du mastic fortement fissuré sans toutefois laisser apparaitre les torons.
- Le mastic présente des signes de dégradation plus importants (avec apparition de fissures, et oxydation du polymère) sur les faces exposées ouest (côté mer), en raison, probablement, de l'orientation de vents dominants du secteur ouest sud-ouest qui amplifient les effets de la partie sous-vent de l'ouvrage.
- Bon état de la galvanisation dans les faces non mastiquées bien que de changements ponctuels de couleurs liés à la disparition de la peinture de protection soient répertoriées.

Nous rappelons également les portions de câbles inspectées en 2019.

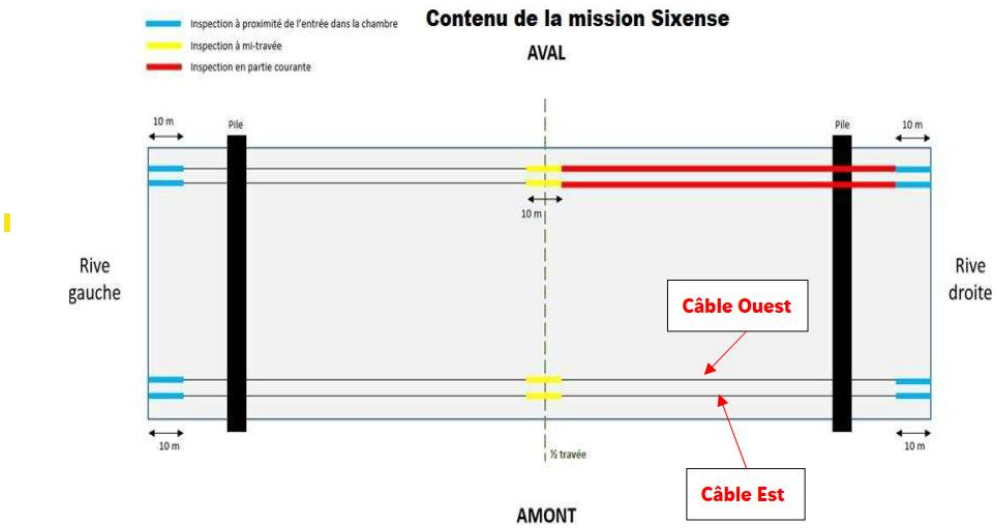


Figure 10 Portions de câbles objet d'inspection en 2019 (cf. [2])

4.4 DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE SUR LA PROTECTION ANTICORROSION (2024)

Le diagnostic a concerné 14 prélèvements au droit des différents point bas des câbles :

- 6 pour des analyses GCMS (côté sens de circulation Paris - Le Havre),
- 8 pour des analyses pyrolyse (côté sens de circulation Le Havre - Paris)

Les conclusions principales sont rappelées ci-dessous (cf. [7]).

- Le mastic est quasi inexistant sur la majeure partie des torons sur les parties hautes des câbles
- Sur environ 70% des zones contrôlées le mastic est fissuré et craquelé. Ces passages engendrent des infiltrations et qui pourraient causer de la corrosion non visible.
- Aucune présence de corrosion n'a été décelée au niveau des torons, l'épaisseur de la galvanisation semble uniforme et aucune zone galvanisée visible ne semble endommagée. La fiabilité des mesures d'épaisseur de la galvanisation est en tout cas remise en doute du fait de ne pas avoir réalisé les mesures sur une surface plane mais sur des fils de câbles, et donc sur des petites surfaces avec un rayon de courbure important).
- Les résultats de laboratoire des tests au MEC (méthyl éthyl céton) sur le revêtement montrent dans l'ensemble des cas un séchage physique par évaporation de solvant. Cela tend à confirmer que le revêtement est un brai de houille et qu'il est positionné au-dessus du mastic, ce qui est cohérent avec le PAQ de la protection anti-corrosion daté 1998 dont un extrait est montré au chapitre 3).

A noter que le brai de houille est aujourd'hui un produit interdit et classé CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique) tel que défini par la fiche toxicologique FT91. Des mesures de protection appropriées devront donc être mises en place lors des prélèvements.

4.5 AUSCULTATIONS DANS LES CHAMBRES D'ANCRAGE (2019 ET 2024)

Lors des campagnes d'entretien, des venues d'eau dans les chambres d'ancrages ont été constatées (dont la plupart provenant des éléments fissurés en béton armé). Des infiltrations d'eau provenant des torons ont été également relevés et ont fait l'objet d'analyses dont les résultats indiquent la présence d'ions chlorure, qui peuvent amener à une accélération de la corrosion.

Afin de déterminer le niveau d'oxydation des câbles dans les chambres d'ancrage des auscultations électromagnétiques ont été menées par le CEREMA en 2019 (chambre d'ancrage Nord-Est) et 2024 (chambre d'ancrage Nord-Ouest, Sud-Est et sud-Ouest). Des essais magnétiques ont été également menés lors de la campagne de 2019 afin de détecter des défauts de section (méthode MRT).

Les résultats des auscultations électromagnétiques de 2024 montrent que globalement la couche de protection en zinc des torons est soumise à des agressions et que celle-ci commence à être dégradée. La chambre d'ancrage rive gauche amont (Sud-est) montre un endommagement plus marqué.

A toute fin utile les états d'oxydation des torons issus des rapports CEREMA de 2019 (chambre nord-est) et de 2024 (chambre Sud-ouest) sont rappelés ci-dessous.

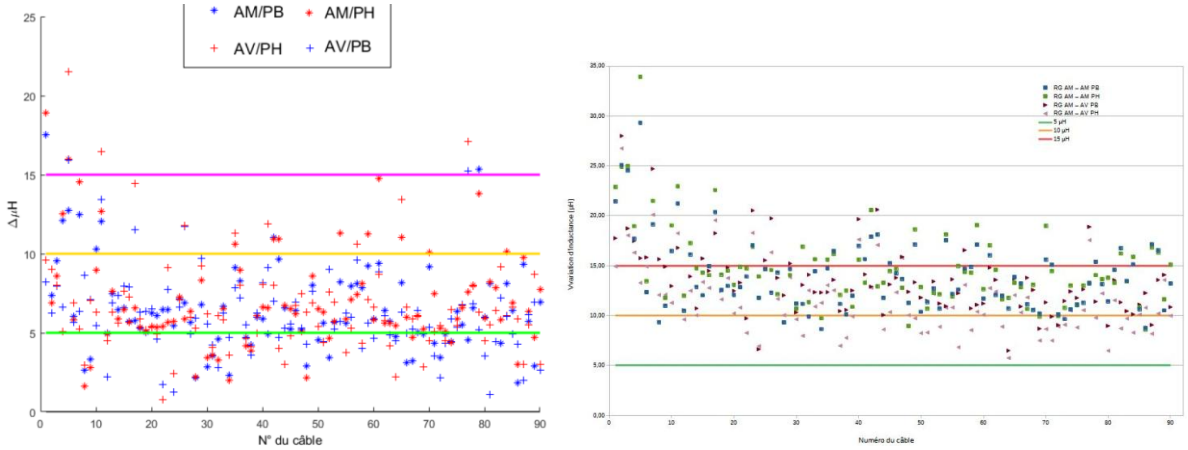


Figure 11 - Etat d'oxydation des cables (relevé de 2019 [1] à gauche et de 2024 [8] à droite)

Une variation de l'inductance supérieure à 15 μH (ligne horizontale supérieure) indique un endommagement avancé de la galvanisation et oxydation de l'acier des fils composant le câble. Bien que les chambres auscultées ne soient pas les mêmes nous notons un probable développement de l'oxydation des torons au fil du temps, cf. également l'analyse de données menée par setec à ce sujet [10].

Les résultats des auscultations magnétiques de 2019 montrent que les câbles ne présentent pas de ruptures de fils bien que des signaux de piqûre de corrosion internes ont été reportés.

Il est probable que l'eau rentre dans le faisceau en zone courante au niveau de défauts locaux de la protection par peinture et mastic (fissurations du mastic constatées) et/ou au droit des points singuliers (interface colliers / zone courante). Elle conserve un cheminement interne en zone courante (l'eau reste en grande partie enfermée au niveau des torons internes et aussi du fait de la peinture) jusqu'à trouver un exutoire en chambre d'ancrage (plus de protection par peinture et mastic), voire jusqu'au culot d'ancrage. Nous précisons qu'aucune barrière ou piège à eau n'est présente au niveau de point singulier (colliers, selles et sellettes d'épanouissement) capable d'arrêter le cheminement d'eau. De la même manière, on peut supposer aussi qu'elle ruisselle et s'accumule au point bas de la parabole.



Figure 12 Cable rive droite : sous-face su cable amont à l'entrée en chambre d'ancrage et détail d'un toron et son culot (à droite). Photos prises lors de la visite setec+COWI mars 2026

Par ailleurs en zone courante, les revêtements par peinture et mastic peuvent aussi cacher un développement de rouille sous une apparence saine.

4.6 DIAGNOSTIC AMIANTE PLOMB (2024)

Les diagnostics plomb et amiante ont été documenté respectivement dans les rapports [6] et [5].

Concernant le diagnostic amiante, 34 prélèvements ont été effectué au niveau du système de suspension dont 3 au niveau des colliers. L'ensemble de ces mesures confirme l'absence des fibres d'amiantes dans les câbles de suspension. Nous rappelons néanmoins que la présence de fibre d'amiante a été confirmé ponctuellement dans les peintures des éléments du tablier tels que la membrure de la poutre, la pièce d'enroulement des étriers bas des suspentes, les armoires métalliques des anciens poteaux d'éclairage et le bloc métallique au niveau de la chaussée à la mi-travée.

Concernant le diagnostic plomb (cf. [6]), d'après le plan de repérage les seules sections de câble investiguées sont celles situées à proximités des chambres d'ancrage (seulement 4 mesures sur 55 concernent les câbles). Pour l'ensemble de ces 4 mesures les résultats montrent la présence de plomb au niveau de la peinture des câbles (revêtement bitumineux).

Or, le risque CMR est confirmé par la présence de plomb dans les brais de houille présent à la fois dans les mastics et dans les peintures (cf. [7]).

5. PROGRAMMES D'INSPECTION

L'inspection externe a pour objectif de caractériser l'état des faces externes des câbles porteurs et notamment identifier les dégradations liées à la corrosion jusqu'aux phénomènes de ruptures de fils éventuels. A titre d'exemple la corrosion par piqûres est une dégradation discrète mais structurellement critique, particulièrement pénalisante pour les câbles porteurs. L'inspection doit donc être minutieuse.

Nous proposons au Maître d'Ouvrage de reconduire le programme des investigations mises en œuvre précédemment en définissant deux programmes distincts :

1) Programme d'inspections visuelle détaillées de la périphérie des câbles en dehors de chambres d'ancrage
2) Programme d'essai et de prélèvement et in situ y compris droit de points singuliers (colliers etc.)

5.1 PROGRAMME D'INSPECTION DETAILLEE DE LA PERIPHERIE DES CABLES

Le contenu du programme d'inspection visuelle est le suivant :

1. Inspection visuelle des points singuliers, comme l'ensemble des colliers compris dans le linéaire du câble inspecté ainsi que les gaines à proximité des chambres d'ancrage. Une attention particulière sera portée à déterminer l'état du revêtement aux jonctions colliers de suspente / câble. La partie inférieure des câbles au passage des colliers (ouverts en partie inférieure) devra également être inspectée visuellement. Les éventuels désordres de protection anti-corrosion des colliers seront répertoriés sur la base d'un plan de rendu (fichier cad) qui sera fourni.
2. Inspection des câbles en tête des pylônes, à proximité des selles et sous les capots. La dernière dépose des capots a été effectuée par Baudin-Chateauneuf lors de la campagne 2011 (cf. T_PT_SUSPENSION_2011_Rapport d'activité, Annexe 4). Cette inspection doit donc être reconduite. La dépose du capotage sera exécutée par l'entreprise en charge de l'entretien du pont sous la responsabilité du Maitre d'ouvrage.

   A cette fin il est demandé d'effectuer de prises de vues de repérage de câbles au droit de selles en tête de pylônes, avec et sans capotage.
3. Recherche et localisation des éventuelles zones où le câble ne serait plus protégé (disparition du mastic et/ou de la peinture) et où un enrouillement serait visible. Cartographie des désordres par tronçon entre collier. Recherche éventuelle de fils rompus.
4. Inspection des 3 facettes supérieures et des 3 facettes inférieures du câble, à la recherche de traces de coulures d'oxydes.
5. Cartographie du remplissage de mastic entre torons par tronçon de câble, selon une échelle de remplissage à définir par le titulaire, par exemple :

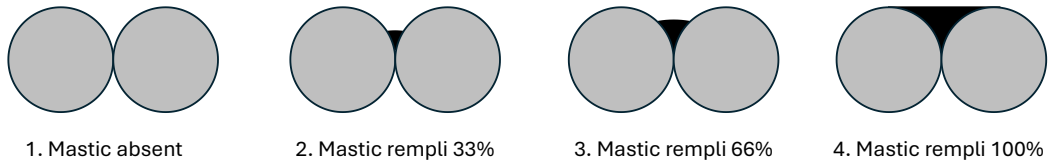


Figure 13 – Taux de remplissage théoriques

6. Mesure de la géométrie des faisceaux de torons :

   En vue de la conception de la protection au feu, il est également demandé d'effectuer des mesures de la géométrie des faisceaux de torons à quelques sections le long du câble inspecté, étant donné que les couvertures et les capots envisagés pour la protection au feu sont peu tolérants aux variations de géométrie. Il est ainsi demandé

d'effectuer des mesures au droit de chaque collier situé à moins de 15m du tablier (limite de la protection au feu), donc à mi travée et sur les travées de rive.

Les mesures à déterminer sont :

- Le périmètre du câble,
- La dimension des quatre faces du câble à l'aide d'une gauge, ou autres systèmes équivalents.
- L'inclinaison angulaire (précision inférieure à 0.5°) de la face supérieure de l'hexagone formant le câble porteur, câble intérieur et extérieur, aval et amont. La mesure peut se faire avec un inclinomètre à lecture numérique ou autre moyen au choix de l'inspecteur.

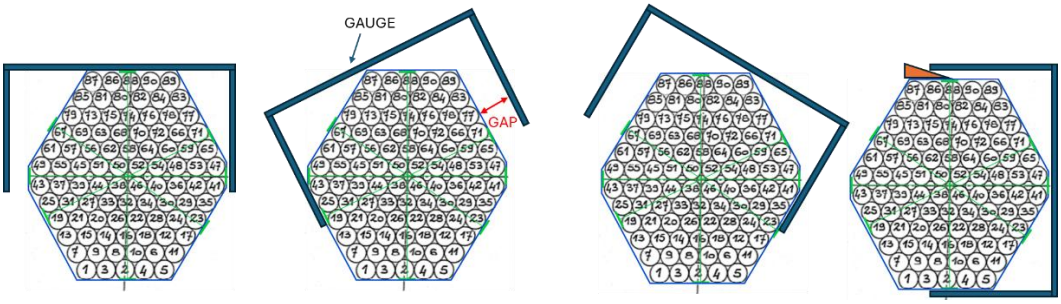


Figure 14 – Mesures des dimensions de câbles

7. Etendue de l'inspection.

Les résultats de ces investigations, notamment ceux relatifs au premier point, devront être comparés à ceux réalisés précédemment. A cette fin les investigations seront, à minima, reproduites à l'identique de celles décrites en [2] et dans les mêmes conditions, avec pour objectif l'identification des évolutions.

L'étendue de l'inspection est montrée ci-dessous et consiste notamment en :

- La nappe AVAL à 100%, couvrant ainsi l'inspection de 2019
- La nappe AMONT RD à 50% (soit 25% du linéaire total), tel qu'effectué en 2019)

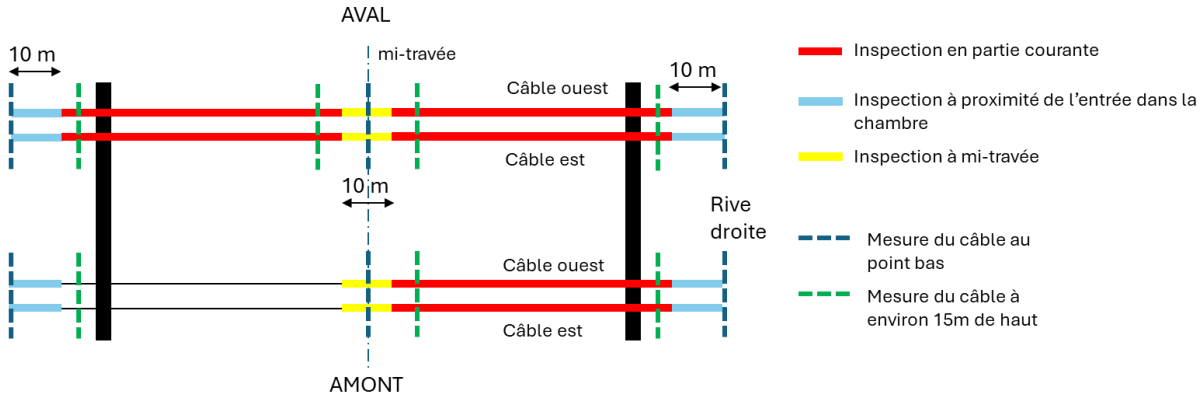


Figure 15 – Etendue de l'inspection visuelle

Il est rappelé que le Titulaire devra fournir une interprétation des dégradations rencontrées et ne pas se limiter à un simple recensement photographique.

5.2 ESSAI IN SITU DE CARACTERISATION DU MASTIC

Le présent chapitre définit le programme d'essais visant à caractériser le mastic de protection existant, disposé entre les torons des câbles porteurs. L'objectif est d'évaluer la faisabilité de sa dépose complète ou partielle et d'en documenter son état actuel en termes de :

a) Essai de pelage : caractérisation quantitative ponctuelles de l'adhésion du mastic par mesures in situ

b) Essai de dureté : caractérisation plus étendue de la dureté du mastic par mesures in situ

Les essais in situ doivent être à la fois simples à mettre en place et utiles pour caractériser le mastic et la faisabilité de son retrait.

5.2.1 Essai de pelage

La méthode à privilégier doit s'inspirer de l'ASTM D903 (Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds) avec les modifications nécessaires pour une application in situ et en prenant en compte les contraintes géométriques (tel que la largeur / épaisseur de mastic disponible). Le Titulaire est néanmoins libre de fournir une méthode équivalente à celle décrite dans le présent cahier de charges.

La bande de mastic est incisée au cutter et l'extrémité soulevée pour créer une languette. La traction est appliquée parallèlement à la bande (angle de 180°) au niveau de la languette avec un dynamomètre portatif.

Les résultats mesurés sont la force de pelage (en N/mm), et le mode de rupture, soit adhésif (impliquant une séparation entre le mastic et les torons) soit cohésif (dans l'épaisseur du mastic). Le test vise à quantifier l'adhérence du mastic aux torons et permet une évaluation de la force de dépose et de la faisabilité technique de celle-ci.

La technique devra servir à évaluer la déposabilité du mastic selon des critères simplifiés tels qu'à titre d'exemple :

- Pelage facile (adhésion faible) : dépose rapide
- Pelage difficile (adhésion forte) : dépose lente et problématique
- Rupture cohésive : mastic qui se déchire ce qui entraine un nettoyage long si une dépose totale était à envisager.

Dans le cadre du projet l'essai devient utile comme outil de chiffrage et de planification et notamment pour :

- Estimation des cadences de dépose
- Évaluation des moyens humains

- Évaluation et choix technologique entre une dépose purement manuelle, ou assistée par outils mécaniques (brosses métalliques rotatives avec aspirateur) ou chimiques (décapage chimique en gel)

Le nombre de tests à réaliser est détaillé ci-après mais la position des zones testées peut être éventuellement adaptée par le Titulaire en fonction des zones identifiées d'après la cartographie de remplissage de mastic (objet de l'inspection visuelle) et de l'état de celui-ci (intègre ou fissuré).

Sauf proposition contraire du Titulaire, il est prévu ce qui suit :

- Analyse du câble au droit des points facilement accessibles (au droit des ancrages et à la mi-travée)
- Dans chaque zone il faudra caractériser la force de pelage en fonction du taux de remplissage et de l'état du mastic (intègre, faiblement ou très fissuré)

Dans le cas de caractérisation complète du câble nous demandons, essais par zone indépendamment de l'état du mastic :

- 6 essais au droit de l'ancrage RD en correspondance d'un taux de remplissage entre 66% et 100% : 3 essais dans une portion intègre et 3 essais dans une portion fissurée.
- 6 essais au droit de la mi-travée, en correspondance d'un taux de remplissage entre 66% et 100% : 3 essais dans une portion intègre et 3 essais dans une portion fissurée.

Nous rappelons que la présence de brai de houille, documenté par les analyses de laboratoire menées dans le cadre du diagnostic complémentaire de 2024, justifie la mise en place de moyens de prélèvement spécifiques. Le brai de houille est toxique et cancérogène. Sa présence impose des précautions spécifiques lors des prélèvements.

Par ailleurs, le prélèvement des couches de mastic contenant du plomb requiert la mise en place d'un confinement adapté indépendamment de la zone du câble inspectée. Lors des essais de pelage de mastic il existe un risque de génération de poussières qui nécessite la mise en place de mesures de protection collectives et individuelles.

D'une manière générale, le Titulaire devra justifier de sa capacité à intervenir sur des matériaux contenant du plomb. À ce titre, il devra fournir :

- une qualification d'entreprise adaptée (type Qualibat relative au traitement du plomb ou équivalent),
- les attestations de formation de son personnel à la prévention du risque plomb conformément au Code du travail,
- les procédures d'intervention, de gestion des déchets et de protection des intervenants.

5.2.2 Essai de dureté

La dureté Shore ne permet pas d'évaluer la force d'arrachement du mastic mais permet de caractériser l'état de vieillissement du matériau et de fournir une cartographie de la dureté / rigidité à différents endroits le long du câble. La dureté du mastic pourra être mesurée in situ à l'aide d'un duromètre Shore conformément aux principes de la norme ISO 868. Les mesures réalisées sur site ont une valeur indicative et comparative.

Compte tenu de la simplicité de mise en place, quatre mesures de dureté par duromètre Shore devront être réalisés par quart de nappe, sur la partie supérieure du câble, soit environ tous les 50m sur les travées de rive et tous les 75m sur la travée principale. En cas de forte hétérogénéité du mastic au droit d'une même section l'opérateur veillera à effectuer la mesure sur la portion la moins endommagée et donc supposément plus difficile à retirer. Les résultats seront utilisés à titre indicatif et ne constituent pas une mesure de l'adhérence du mastic sur les torons mais pourront être utilisés pour les corréler avec les essais de pelage.

L'étendue du test vise à caractériser l'ensemble du linéaire du câble objet de l'inspection. Les essais de dureté seront effectués sur un cable par nappe, idéalement celui moins endommagé.

Des essais complémentaires pourront être réalisés en laboratoire sur prélèvements afin d'obtenir des valeurs conformes aux conditions normalisées.

5.2.3 Corrélation des essais

Les essais de pelage réalisés localement serviront de référence pour caractériser la déposabilité du mastic. Les essais de dureté devront être effectués au même endroit.

Le titulaire est invité à établir une corrélation empirique entre la dureté relevée et la déposabilité.

Des mesures de dureté Shore, réalisées en un nombre plus important de points, permettront d'établir une cartographie du vieillissement du mastic.

La corrélation qualitative entre dureté et comportement au pelage pourra être établie afin d'identifier les zones présentant des difficultés accrues de dépose.

5.3 PRELEVEMENTS ET ANALYSE AU DROIT DES POINTS SINGULIERS

Le contenu du programme des prélèvements aux points singuliers est le suivant :

1. Un prélèvement de la peinture au droit des colliers afin de connaître plus précisément la composition de la peinture des colliers et du mastic à l'interface câble / collier, de la même manière que les analyses menées pour les revêtements des câbles en 2024 cf. [7]. Il faudra mener les analyses Pyrolyse/GC-MS sur les prélèvements de chaque type de collier, soit un total de 4 prélèvements.
2. Diagnostic amiante. Nous rappelons ci-dessous l'ensemble des éléments qui ont déjà fait l'objet d'inspection intérieure, tel que décrit dans les résultats des recherches d'amiante des rapports [3], [4], [5] :

Rapport [3] : Recherche d'amiante au niveau de garde-corps et à la sous-face du tablier. De l'amiante a été répertorié ponctuellement au niveau de garde-corps et de la sous-face du tablier, notamment en rive gauche.

Rapport [3] : Recherche d'amiante effectuée sur quatre prélèvements du mastic et peinture des câbles. Tous les résultats sont négatifs.

Rapport [5] : Recherche d'amiante effectuée sur 50 prélèvements dont on met en avant ceux concernés par le système de suspension.

Repérage	Test Amiante	Nombre de prélèvement	Réf. Rapport
Câbles	NEG	3	P01, P17, P23
Colliers de serrage	NEG	2	P18, P24
Collier de suspente 12 trous mi-travée	NEG	1	P38
Console Suspente	NEG	1	P37
Culots suspente	NEG	2	P06, P27
Joint avant chambre d'ancrage RG	NEG	1	P19
Joint Culot Suspente (haut) mi-travée	NEG	1	P36
Mastics	NEG	13	P1, P17, P23, P41-P50
Pièce d'enroulement des étrier (bas)	NEG	1	P08
Pièces d'enroulement des étrier (bas)	POS	2	P20, P26
Support Suspente	NEG	1	P32
Suspentes	NEG	5	P07, P16, P28, P34, P39
Bloc métallique mi-travée	POS	1	P35

Nous constatons la présence d'amiante à proximité des câbles de suspension, mais pas sur des éléments qui y sont directement fixés.

Un diagnostic complémentaire est néanmoins nécessaire afin de compléter le diagnostic amiante avec les éléments qui n'ont pas été investigués jusqu'à présent. Ce diagnostic aura pour objet les éléments suivants et le nombre de prélèvements associés.

Repérage	Etendue des tests amiante	Nombre de prélèvement
Etrier + culot au niveau des câbles	Par type de collier, 1 seule nappe, 3 au total	3
Collier 4, 8 et 12 trous courants	Par type de collier, 1 seule nappe, 3 au total	3
Collier de fixation de main courantes et lignes de vie	1 par nappe, 2 au total	2
Selles sur pylônes	1 selle	1
Sellettes d'épanouissement	1 selle	1

3. Diagnostic plomb :

Nous rappelons ci-dessous les principales conclusions concernant le diagnostic des éléments de suspension contenues dans le rapport [6].

Repérage	No. mesure	Test Plomb		NOTA
		Fluorescence X	Lingette	
Collier de serrage	1	POS	-	Situé avant l'entrée en chambre d'ancrage RG
Câbles	4	POS	NEG	1 mesure par nappe au droit des chambres d'ancrage sans précision du câble
Bloc métallique mi-travée	1	POS	POS	

Nous précisons que la fluorescence X est une méthode non destructive et instantané qui mesure la présence de plomb dans le matériau lui-même (dont notamment la peinture, métal, etc.). Le prélèvement par lingette est une méthode par échantillonnage qui mesure la quantité de plomb présente dans les poussières déposées sur une surface. Pour les câbles il s'agit donc de présence de plomb dans le revêtement des câbles et non pas de la poussière (pas de risque d'exposition directe).

Un diagnostic complémentaire est néanmoins nécessaire afin de compléter le diagnostic plomb avec les éléments qui n'ont pas été investigués jusqu'à présent. Ce diagnostic aura pour objet les mêmes éléments identifiés pour le diagnostic complémentaire amiante défini au point précèdent.

Repérage	Etendue des tests plomb	Nombre de prélèvement
Etrier + culot au niveau des câbles	Par type de collier, 1 seule nappe, 3 au total	3
Collier 4, 8 et 12 trous courants	Par type de collier, 1 seule nappe, 3 au total	3
Collier de fixation de treilles	1 par nappe, 2 au total	2
Selles sur pylônes	1 selle	1
Sellettes d'épanouissement	1 selle	1

Les zones retenues par le Titulaire seront soumises à l'acceptation du MOE au moins 15 jours avant l'intervention.

Le Titulaire sera tenu de procéder à la réparation de la zone de prélèvement. La procédure de réparation et le produit de réparation devront être soumis à l'acceptation du Maitre d'œuvre.

6. MOYENS D'ACCES

6.1 ACCES AUX CABLES PORTEURS POUR L'INSPECTION EXTERNE DES CABLES

Les câbles porteurs sont munis de lignes de vie, de mains courantes et de câble de traille (voir schéma). L'inspection se fera en marchant sur la génératrice supérieure des câbles porteurs.



Figure 16 Lignes de vie installées sur les câbles porteurs

La définition du matériel de protection individuel est laissée à la charge du Titulaire. Nous recommandons néanmoins les moyens suivants :

- Harnais double longe
- Longe de 1m avec coulisseau permettant de s'accrocher sur la ligne de vie en place. Le passage des potelets s'effectuant sans décrochage
- Une longe de 1.5m avec mousqueton permettant un poste de travail plus aisé

En cas de chute le harnais prend le relais avec l'absorbeur d'énergie sur la longe.

L'état particulièrement détérioré et fissuré du mastic de protection peut donner lieu à des infiltrations d'eau à cœur du faisceau et donc à des formes de corrosion à l'intérieur du câble, non visibles depuis la partie haute du câble. Par conséquent une inspection des trois facettes inférieures du câble est également demandée afin de caractériser complètement l'état du câble dans le but de déceler d'éventuelles coulures ou signes de dégradation provenant de l'intérieur du câble.

L'accès aux câbles est laissé à l'initiative du titulaire. A titre d'exemple, et pour minimiser la gêne à la circulation, il serait possible d'avoir recours à une équipe de trois personnes :

- Un inspecteur ouvrage d'art qualifié pour le pilotage de la mission et le relevé des désordres in-situ
- Deux cordistes pour l'accessibilité des zones de désordre et les relevés visuels, vidéo et photographiques. Les cordistes peuvent être mutualisés pour les opérations d'inspection et prélèvement.

6.2 ETAT ACTUEL DES LIGNES DE VIE

Lors de la visite réalisée par la maîtrise d'œuvre en mars 2026, il a été constaté que certains câbles de traille internes ainsi que certaines lignes de vie présentaient un relâchement important. En l'état, l'ensemble des câbles de trailles et des lignes de vie de l'ouvrage ne peut pas être considéré comme conformes au sens de la norme EN 795.

L'état des lignes de vie à ce jour est le suivant :

- **En aval, rive droite** : ligne de vie en bon état ; câbles de traille et main courante également en bon état.
- **En aval, rive gauche** : ligne de vie en bon état ; câbles de traille et main courante également en bon état.
- **En amont, rive droite :**
    - Câble extérieur : ligne de vie en bon état ; câbles de traille et main courante également en bon état.
    - Câble intérieur : ligne de vie à vérifier ; câbles de traille et main courante tordus mais toujours sous tension.
- **En amont, rive gauche** : l'ensemble des câbles est détendu, rendant l'accès impossible à ce stade.

La remise en état des câbles de traille et des lignes de vie est en cours et le contrôle de conformité.

Si, au moment de la publication du présent cahier des charges, les lignes de vie ne sont pas fonctionnelles, les candidats sont invités à fournir un prix pour la mise en place, le maintien et la dépose des dispositifs provisoires d'accès aux câbles et de protection contre les chutes, tels que précisés dans le BPU.

6.3 ACCES AUX CABLES ET COLLIER POUR LES ESSAIS SUR PLACE ET LES PRELEVEMENTS

Compte tenu de l'homogénéité supposée des matériaux constitutifs du revêtement des câbles porteurs, et afin d'optimiser les conditions d'intervention, il est envisagé de limiter les opérations d'essais aux zones accessibles situées en partie basse des câbles.

Cette disposition vise à simplifier les moyens d'accès et à réduire les contraintes d'intervention, tout en garantissant la représentativité des échantillons prélevés.

En raison de la présence potentielle de matériaux contenant des substances dangereuses, (notamment du plomb dans le mastic ou potentiellement de l'amiante dans la peinture des colliers), les opérations de prélèvement devront être réalisées dans des conditions maîtrisées assurant la protection des intervenants et la gestion des déchets.

A cette fin et tel que précisé dans le présent cahier de charges, les opérations d'essais et de prélèvements devront être réalisées selon des procédés ne générant pas de dispersion de poussières ou d'effluents. En conséquence, la mise en place d'un confinement lourd de type échafaudage bâché n'est pas requise pour ces interventions ponctuelles, sous réserve du respect des dispositions de protection des intervenants et de gestion des déchets.

7. LIVRABLES

Les livrables sont définis en fonction du programme d'inspection.

7.1 INSPECTION VISUELLE EXTERNE DU CABLE

7.1.1 Rapport d'inspection

Le rapport d'inspection doit comprendre au minimum les éléments suivants :

› Méthodologie d'inspection

Description générale de la méthodologie de travail : Indentification des tronçons inspectés sur un plan de repérage, discrétisation des faces du câble D

Définition d'un système de notation approprié. A titre d'exemple :

- Définition détaillée de différents niveaux d'endommagement du système de peinture superficielle et mastic (fissuration, éclats, perte totale sur une zone etc.)
- Présence de corrosion par piqûre, corrosion superficielles, signes d'attaques de la galvanisation des torons.
- Présence de mousse ou moisissure
- Identification du taux de remplissage conformément au §5.1.

› Définition des zones inspectés

Etant donné l'étendue de l'inspection, un tronçonnage du cable nous parait indispensable pour objectiver les anomalies et désordres le long du pont. A titre d'exemple pour caractériser le câble sur sa longueur et en tirer des éventuelles tendances de dégradation en fonction de la position, une zone pourrait se définir entre deux suspentes, soit sur une longueur d'environ 10m.

› Synthèse des résultats pour chaque tronçon inspecté

Au minimum une fiche affichant la section du câble doit être réalisée en listant les principaux désordres sur chaque de 6 faces du câble (cf. § 7.1.2). Une numérotation des torons doit aussi être affichée afin de pouvoir identifier précisément une éventuelle anomalie concernant un toron spécifique.

Une note de synthèse des désordres en documentant l'évolution par rapport aux désordres relevés dans la campagne précédente d'inspection externe sur les tronçons déjà inspectés (cf. § 4.3).

› Avis/recommandations des inspecteurs

› Annexes

- Registre photographique indexé par emplacement et par câble inspecté
- Tableau contenant l'ensemble des résultats de fiches d'inspection externe (emplacement, câble, classification)

7.1.2 Fiches d'inspection

Une fiche d'inspection spécifique à un tronçon doit être établie. Chaque fiche devra comporter au minimum les informations suivantes.

› Informations générales :

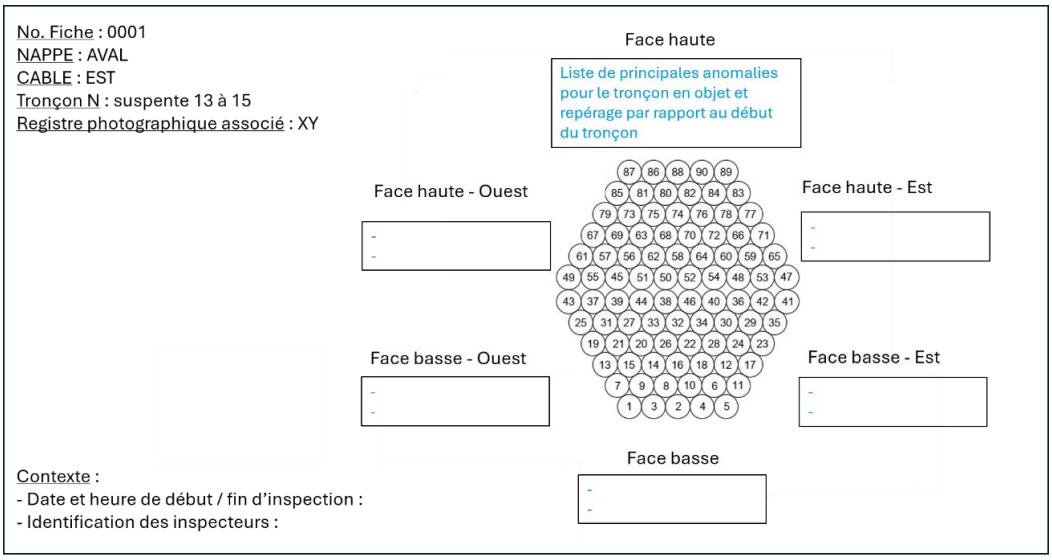
- Date et heure de début/fin d'inspection du segment et de la couche

- Identification du des inspecteurs

› Identification :

- Identification du câble
- Identification du tronçon inspecté
- Repérage des faces observées
- Localisation des désordres observés, notamment par distance à l'origine du tronçon ou tout autre système de repérage approprié.

A titre d'exemple une fiche type par tronçon est indiquée ci-après.



La fiche devra permettre de reporter l'ensemble des désordres observés ainsi que leur niveau de gravité. Les désordres majeurs devront être clairement identifiés au moyen d'un code couleur spécifique (par exemple rouge). Sont notamment considérés comme désordres majeurs :

- Les ruptures de fils
- La corrosion par piqûres
- Les amorces de corrosion significative les altérations de la galvanisation des torons

7.2 PRELEVEMENT ET ANALYSES

L'étendue des essais et d'analyse sont détaillées au § 5.2 et § 5.3

7.2.1 Rapport d'essai

Le titulaire établira un rapport présentant les résultats des essais réalisés. Le rapport d'essai doit comprendre au minimum les éléments suivants.

› Méthodologie d'essai

- Description des essais de pelage et de dureté shore et repérage des essais

› Présentation des résultats

- Définition d'un système de notation approprié en fonction de la déposabilité du mastic (§ 5.2.1
- Résultats détaillés de chaque essai réalisé
- Synthèse des résultats
- Etablissement des corrélations entre les différents essais conformément au § 5.2.3
- Avis/recommandations des inspecteurs

› Conclusions et recommandations

- Le titulaire présentera son analyse des résultats obtenus et formulera les recommandations utiles à la définition des futurs travaux.

7.2.2 Rapport d'analyse

La campagne de prélèvements et d'analyses vise à compléter les investigations réalisées lors des campagnes précédentes sur les zones n'ayant pas encore fait l'objet d'analyses spécifiques.

A ce titre nous demandons l'élaboration des trois rapports spécifiques :

› Rapport d'analyse de la peinture au droit des colliers

› Diagnostic amiante des éléments détaillés au § 5.2.3

› Diagnostic complémentaire plomb des éléments détaillés au § 5.2.3

7.2.3 Contenu minimal des rapports

Chaque rapport devra comporter au minimum :

› Présentation de la mission
- Rappel du contexte de l'étude
- Description des éléments investigués
- Objectifs des analyses réalisées.

› Méthodologie
- Description des méthodes de prélèvement, d'investigation et d'analyse mises en œuvre
- Références normatives et réglementaires applicables
- Identification des laboratoires intervenants

› Localisation des prélèvements
- Repérage précis des prélèvements réalisés
- Localisation sur plans, schémas et photographies
- Identification des éléments concernés

› Résultats
- Résultats détaillés des analyses et essais réalisés
- Présentation des certificats et procès-verbaux d'analyses en annexe
- Interprétation technique des résultats obtenus

› Conclusions et recommandations
- Analyse des conséquences des résultats au regard des travaux envisagés
- Modalités de gestion et d'élimination des déchets

8. SECURITE ET EXPLOITATION

Le titulaire devra garantir la continuité de l'exploitation de l'ouvrage, mettre en place les protections collectives nécessaires afin d'assurer sa propre sécurité et celle des usagers du pont, respecter les contraintes liées au trafic routier et fluvial, établir un plan de prévention spécifique.

La mise en place du balisage, de la signalisation provisoire et la mise à disposition de patrouilleurs pour le besoin de l'inspection des câbles porteurs et des prélèvements est à la charge du Maître d'Ouvrage.

Le survol des voies circulées est interdit.

Le titulaire devra démontrer dans son plan de prévention que toute chute d'objet sur la voie circulée sera évitée par son mode opératoire.

Avant toute intervention sur site, l'entreprise devra prendre attache auprès du CSPS désigné par le Maître d'ouvrage, et signer le plan de prévention. Les coordonnées du CSPS sont les suivantes :

- Ali KARAGOZ
- CSPS Niv 1 Conception et Réalisation
- Nord Ouest Coordination , 14 Rue Jean Moulin, 27 370 La Saussaye
- 06-22-11-85-00
- ali.karagoz@nordouestcoordination.com