STRRES
NOTRE TALENT DÉFIE LE TEMPS

Ingénierie de Maintenance du Génie Civil
IMGC

06 décembre2017

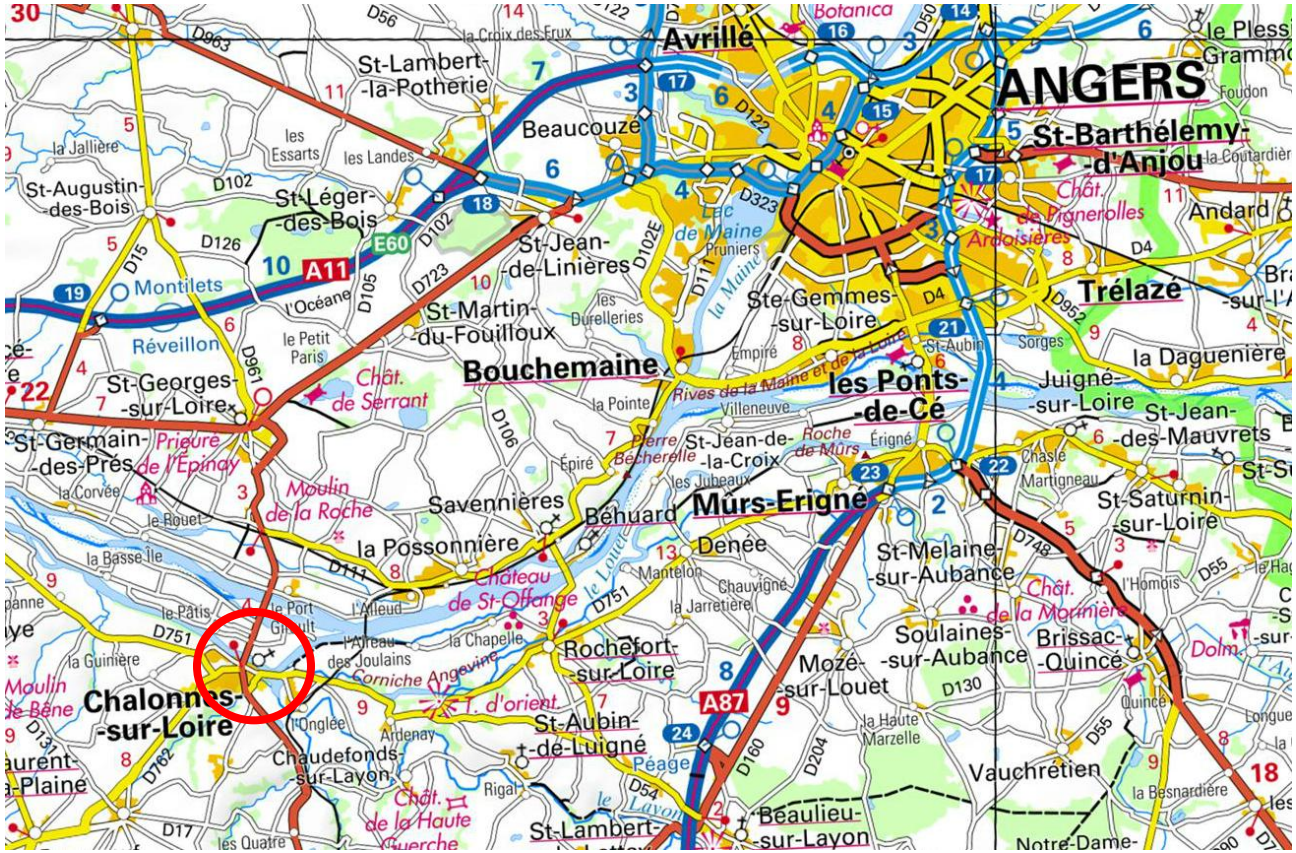
# RD961 – REPARATION DU PONT SUSPENDU DE CHALONNES

## *DIAGNOSTIC & CONCEPTION*

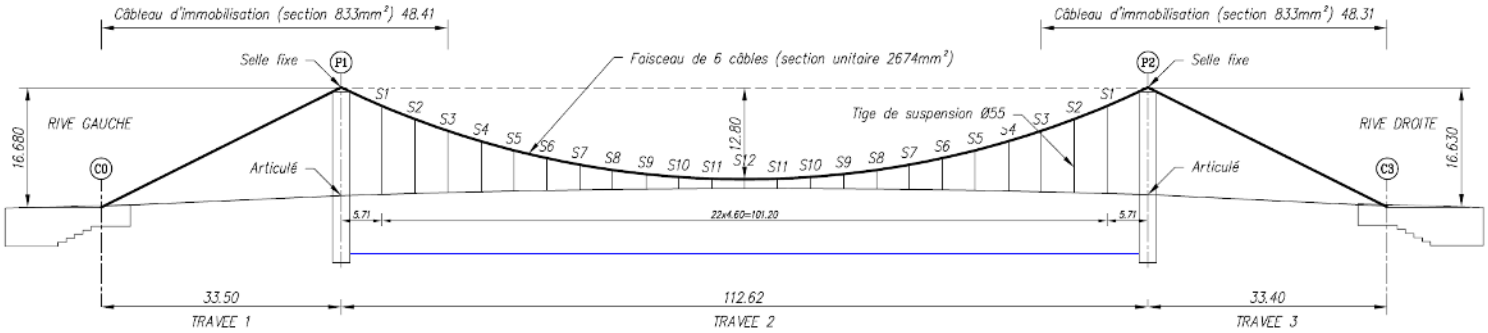
DÉPARTEMENT DE MAINE-ET-LOIRE
anjou

ARTCAD
OUVRAGES D'ART - GENIE CIVIL
www.artcad-etudes.fr
513 Rue de Sans Souci - F - 69760 LIMONEST
Tél : 04 72 27 17 75 - Fax : 04 72 27 02 81
E-mail : artcad@artcad-etudes.fr

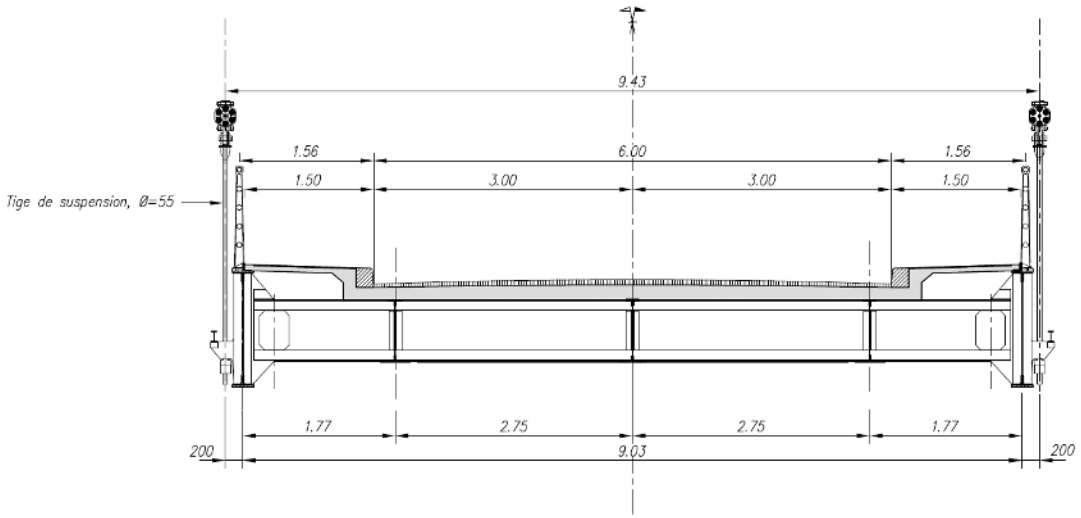
- L’ouvrage : présentation
- Mission ARTCAD
- Diagnostic ARTCAD
- Options et solution proposée


Avrillé
ANGERS
St-Barthélemy-d'Anjou
Beaucouzé
St-Lambert-la-Potherie
St-Augustin-des-Bois
St-Léger-des-Bois
St-Jean-de-Linières
Montilets
Réveillon
St-Georges-sur-Loire
St-Germain-des-Prés
Bouchemaine
St-Martin-du-Fouilloux
Ste-Gemmes-sur-Loire
les Ponts-de-Cé
Trélazé
Andard
la Daguenière
Juigné-sur-Loire
St-Jean-des-Mauvrets
St-Saturnin-sur-Loire
Mûrs-Erigné
St-Jean-de-la-Croix
Savennières
la Possonnière
Béhuard
Denée
St-Melaine-sur-Aubance
Soulaines-sur-Aubance
Brissac-Quincé
Chalonnes-sur-Loire
Rochefort-sur-Loire
Mozé-sur-Louet
St-Aubin-de-Luigné
Chaudefonds-sur-Layon
Vauchrétien
Beaulieu-sur-Layon
St-Lambert-
Notre-Dame-
A11
A87
E60
Château de St-Offange
Château de la Haute Guerche
Château de la Mormière
Château de Serrant
Prieuré de l'Epinay
Moulin de la Roche
Roche de Mûrs
Pierre Becherelle
Rives de la Maine et de la Loire
Corniche Angevine
T. d'orient
Péage
Lac de Maine
la Maine
le Louet

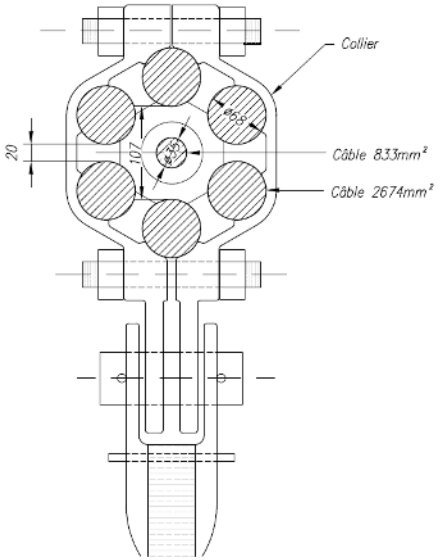
- Pont à une travée suspendue (1946)
- Portées entre selles mobiles : 112,62 m
- Pylônes en béton armé articulés en pied (renforcés à la construction)
- Poutres latérales à âme pleine sous chaussée (1.30 m)
- Faisceau de 6 câbles Ø 67.7 mm (6x2 674 mm²) continus d'un ancrage à l'autre
- 1 « câbleau » central (833 mm² ≠ 628 mm²) – Ø 38.25 mm supposé – règne des ancrages à la 3ème suspente
- Suspentes Ø 55 mm acier mi-dur (e = 4.60 m)
- Tirants avec risques de rupture fragile ➔ chambres chauffées
- Chaussée : 6.00 m – trottoirs 2 x 1.50 m

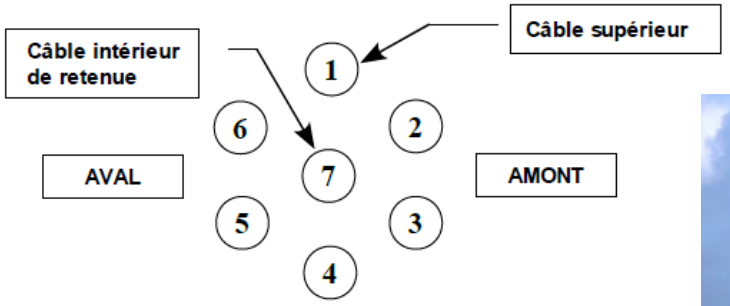



COUPE TRANSVERSALE
(éch: 1/50')




Détail fixation suspente
(éch: 1/5')





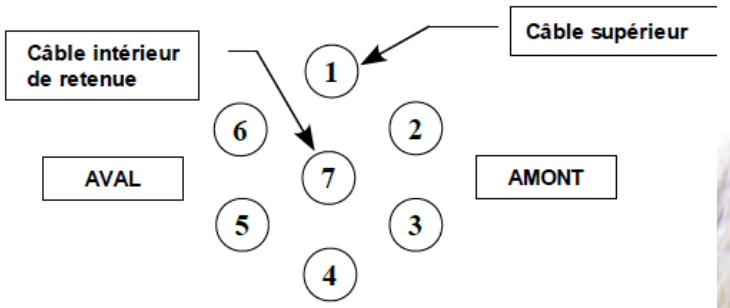

## Attache haute

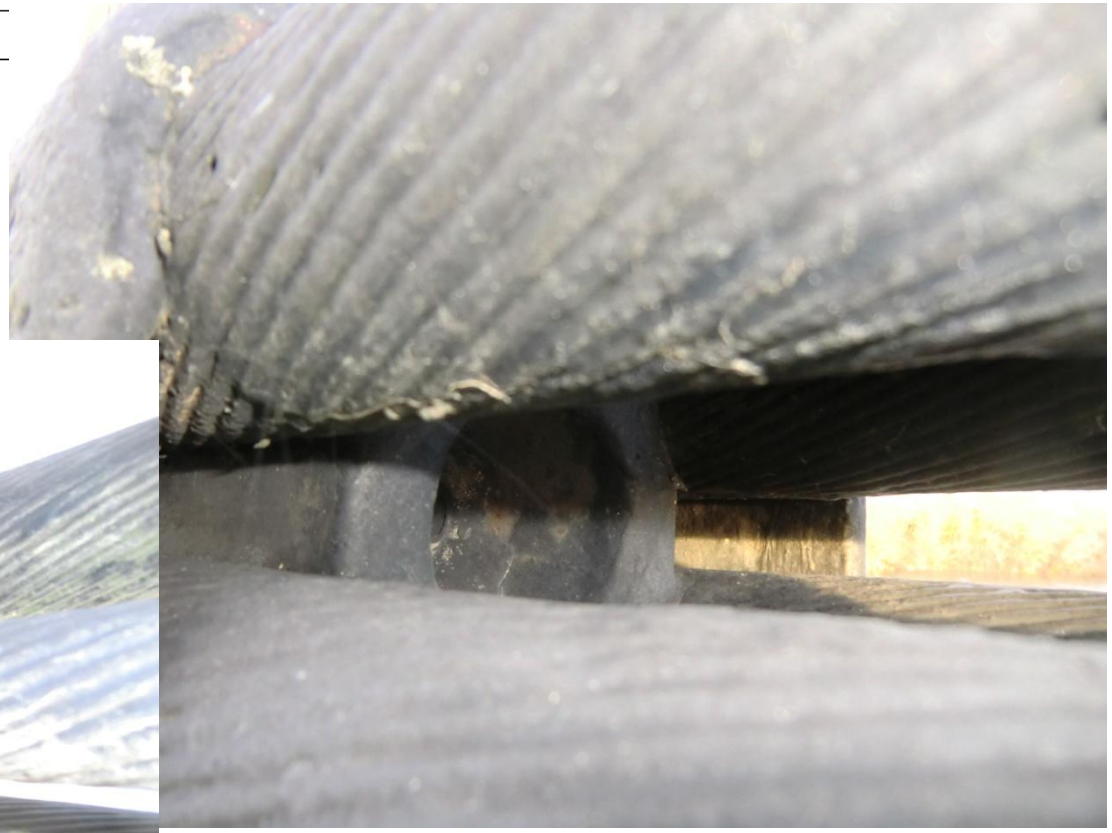




## Travée suspendue

## Pas de câbleau en partie centrale





## Câbleau près du collier d'épanouissement

- Contexte
  - Trois ponts suspendus avec désordres ou pathologies spécifiques affectant la suspension dont CHALONNES
    ➔ évolution récente des ruptures de fils du câbleau
- MOA souhaite
  - Connaître dans quelle mesure le bon fonctionnement est affecté
  - Un indice de gravité pour définir les urgences d'intervention








- Comment ?
  - Visite sur place avec rapport
  - Analyse critique des archives, investigations et études antérieures
  - Recalcul de la suspension de l'ouvrage (non linéarité et grands déplacements)
  - Un rapport de diagnostic

- Demande du DIAG:
  - De vérifier si les câbleaux contribuent à la stabilité des pylônes
  - De déterminer un seuil critique d'endommagement pour ce câble
  - Si besoin, de préciser les modalités de remplacement de ce câbleau central ou sa substitution par un autre dispositif assurant les mêmes fonctions. Pour cela, une solution ne touchant pas le faisceau de câbles porteurs existant sera privilégiée

# • Evolution des ruptures du câbleau

| N° collier amont | Nbr de fils rompus / Remarques | |
|---|---|---|
| | Constatés en 2013 | Constatés en 2012 |
| S1 | **1 à 2 fil(s) rompu(s)** | - |
| S3 | au moins 5 fils rompus<br>Un collier métallique a été placé en amont pour éviter le détoronnage des fils.<br>Le mastic de protection mis en place est inadapté, vieillit mal (coloration marron claire) et masque l'état réel du câble | au moins 5 fils rompus |
| S20 | **1 à 2 fil(s) rompu(s)** | - |
| S21 | 7 à 8 fil(s) rompu(s) | 1 à 2 fil(s) rompu(s) |
| S22 | 7 à 8 fil(s) rompu(s) | 7 à 8 fil(s) rompu(s) |
| S23 | **9 fils rompus** | 7 fils rompus |
| **N° collier aval** | **Constatés en 2013** | **Constatés en 2012** |
| S2 | 5 fils rompus | 5 fils rompus |
| S3 | **1 fil rompu** | - |
| S4 | Absence de ligature et corrosion de l'extrémité du câble | Absence de ligature et corrosion de l'extrémité du câble |
| S21 | 3 à 4 fils rompus | 3 à 4 fils rompus |
| S22 | 4 fils rompus | 4 fils rompus |
| S23 | **au moins 11 fils rompus<br>un collier métallique est placé en amont<br>pour éviter le détoronnage des fils** | 7 fils rompus |

Antiglissement suspentes

Intégrés dans la résistance des retenues

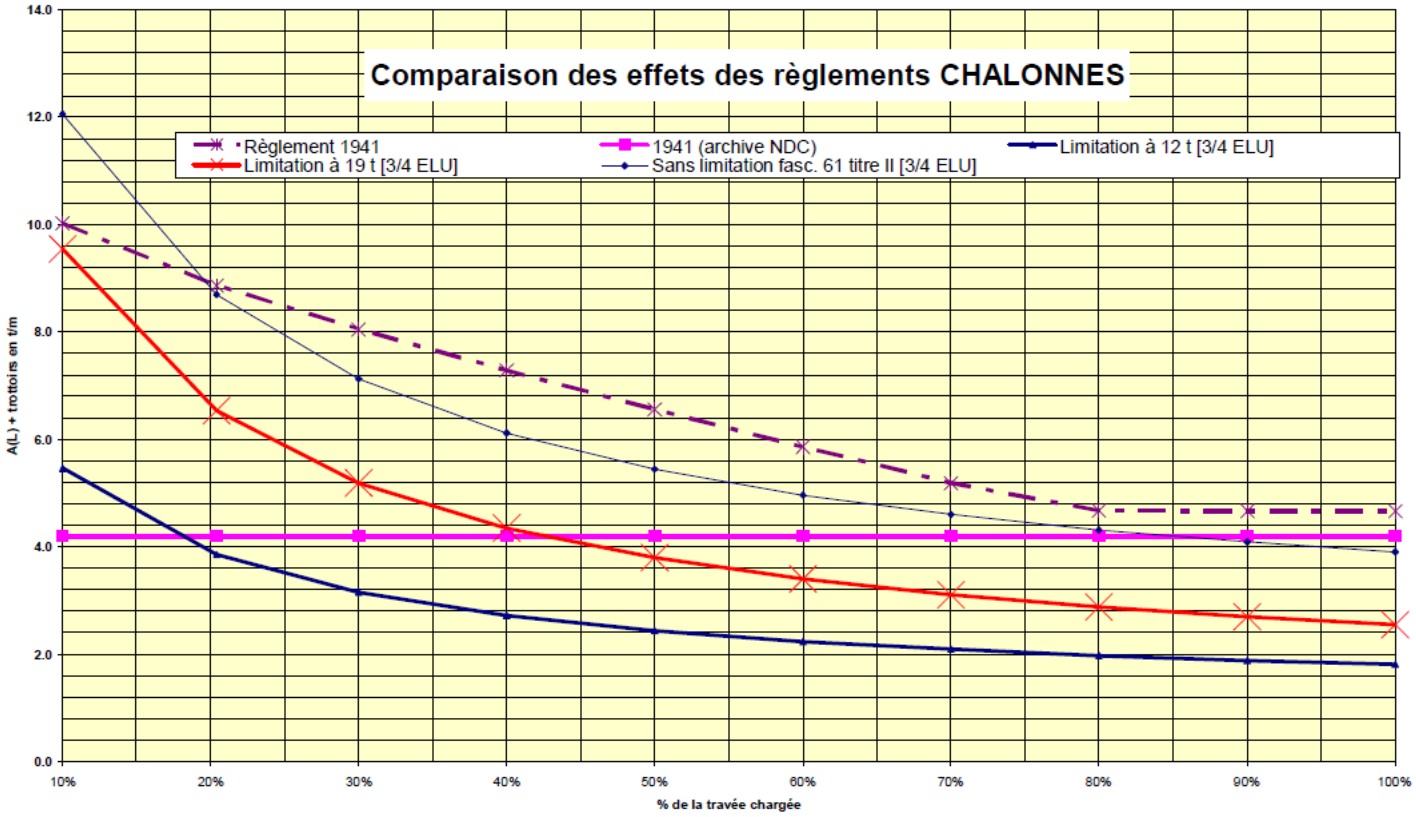
Câble porteur : la dernière couche = 26% section

Câbleau : 44 % de sa section (dernière couche 21 fils)

Ruptures difficiles à compter malgré le soin des Agents (Cerema / CD 49)

1 seule rupture sur porteurs

# • Comparaison des règlements et recalculs




Capacité câbles > tirants

En 1946 : règlement partiellement pris en compte

Et sans les camions de 25 T (R. 1940)

- # Recalculs avec câbleaux

| Localisation | Contraintes ELU (MPa) / Efforts (t) | |
|---|---|---|
| Câble porteur<br>Pour 1 câble | ▪ Contrainte :<br>▪ Effort par câble<br>▪ Marge théorique % admissible : | 519 MPa<br>138,8 t<br>≈ 19% |
| Câbleau sur retenue | ▪ Contrainte :<br>▪ Effort câbleau :<br>▪ Marge théorique % admissible : | 502 MPa<br>41,8 t<br>≈ 22% |
| Poutre de rigidité | ▪ Contrainte :<br>▪ **Dépassement théorique % admissible :** | 259,5 MPa<br>**≈ 8%** |
| Poutre de rigidité<br>limitation 19 T | ▪ Contrainte :<br>▪ Marge théorique % admissible : | 212,9 MPa<br>≈ 11% |

- # Recalculs sans câbleaux

| Localisation | Contraintes ELU (MPa) / Efforts (t) | |
|---|---|---|
| Câble porteur<br>Pour 1 câble | ▪ Contrainte :<br>▪ Effort par câble<br>▪ Marge théorique % admissible : | 519 MPa<br>138,7 t<br>≈ 19% |
| Câble de retenue<br>Pour 1 câble | ▪ Contrainte :<br>▪ Effort par câble<br>▪ Marge théorique % admissible : | 527,6 MPa<br>141,1 t<br>≈ 18% |
| Tirants d'ancrages des câbles porteurs | ▪ Effort par tirant :<br>▪ Marge théorique % admissible : | 47 t<br>≈ 16% |
| Poutre de rigidité | ▪ Contrainte :<br>▪ **Dépassement théorique % admissible :** | 259,9 MPa<br>**≈ 8%** |

Les câbleaux étaient correctement dimensionnés pour égaliser les contraintes entre porteurs et retenues à +/- 2% près et surtout diminuer les contraintes des retenues

Les câbleaux ne « rééquilibraient » pas les pylônes [jamais]

Les câbles porteurs et leurs ancrages, avec les sections théoriques, sont justifiés sans câbleaux

# • Proposition de seuils de déclenchement d'actions

| Constat | Mesure de restriction | Avec les mesures d'accompagnement |
|---|---|---|
| 12 ruptures | **Limitation à 19 T** | Patrouillage<br>Haute surveillance (tous les 3 mois) |
| 14 ruptures | **Limitation à 12 T** | |
| 15 ruptures | **Limitation à 3,5 T** | |
| Glissement d'une suspente | **Limitation à 3,5 T** | |

Intègre différents paramètres :

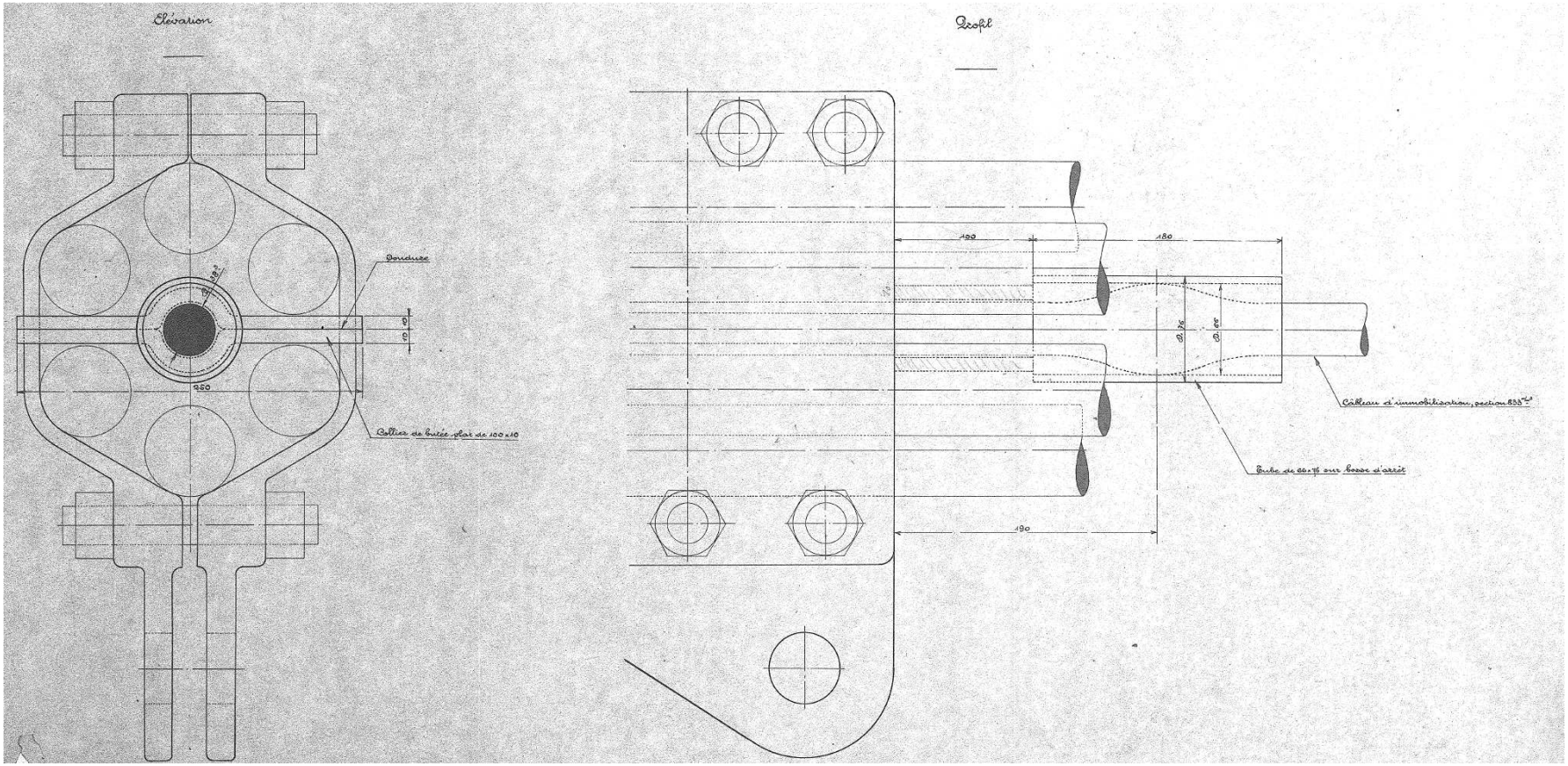
➔ Câbles porteurs justifiés sans les câbleaux
➔ Les ruptures *visibles* supposent une certaine corrosion interne des autres couches (invisibles)
➔ Les efforts sous les limitations de tonnages inférieures (19 T – 12 T – 3.5 T)
➔ Visites de patrouillage[1] et haute surveillance

[1] ***« Le patrouillage permet de déceler un désordre manifeste ou les conséquences d'un évènement imprévu. ».***
Le patrouillage consiste à vérifier visuellement l'absence d'anomalie, éventuellement avec des jumelles par exemple, et dans un endroit tel que cette vérification soit possible

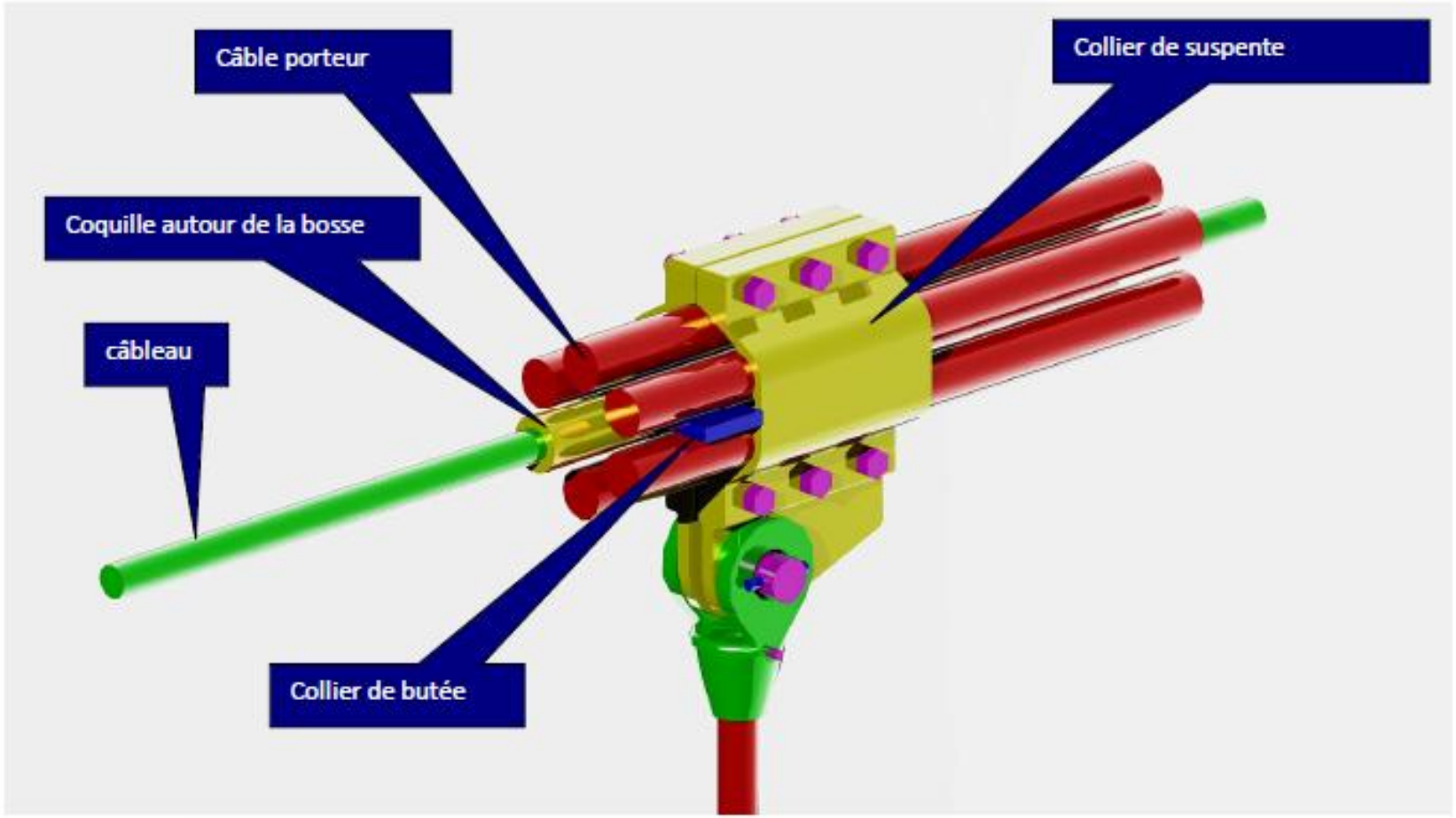
- Genèse des ruptures
  - Âge des câbles non galvanisés : ≈ 70 ans
  - Sensibilité aux venues d'eau (collier et système câbleau)
  - Aucune remise en peinture antérieure à priori pour les zones sous colliers
  - Accélération 2012 due au niveau élevé de contraintes et faible coefficient de sécurité après quelques ruptures

- Composition des dispositifs antiglissement des câbleaux
  - « bosse » mise en place après fabrication du câble, en atelier et intégrée au câble
  - Apparentée au système de Précontrainte par Câbles à Bosses de la société PCB (groupe BAUDIN-CHATEAUNEUF). Agrément de précontrainte SETRA en 1969 mais le principe est visiblement antérieur - Principe semble être le suivant :
  - Câbles fabriqués chez BC et mis à longueur – noix de calage de colliers et coquilles enfilées à leur place. Bosse réalisée par flambement des fils périphériques (avec mordaches) puis blocage dans une résine ou du zinc
  - Bosse entourée d'une coquille en acier moulée – calage intercalé entre coquille et collier, constitué de deux ½ cales soudées comme le montre le plan d'archive suivant :

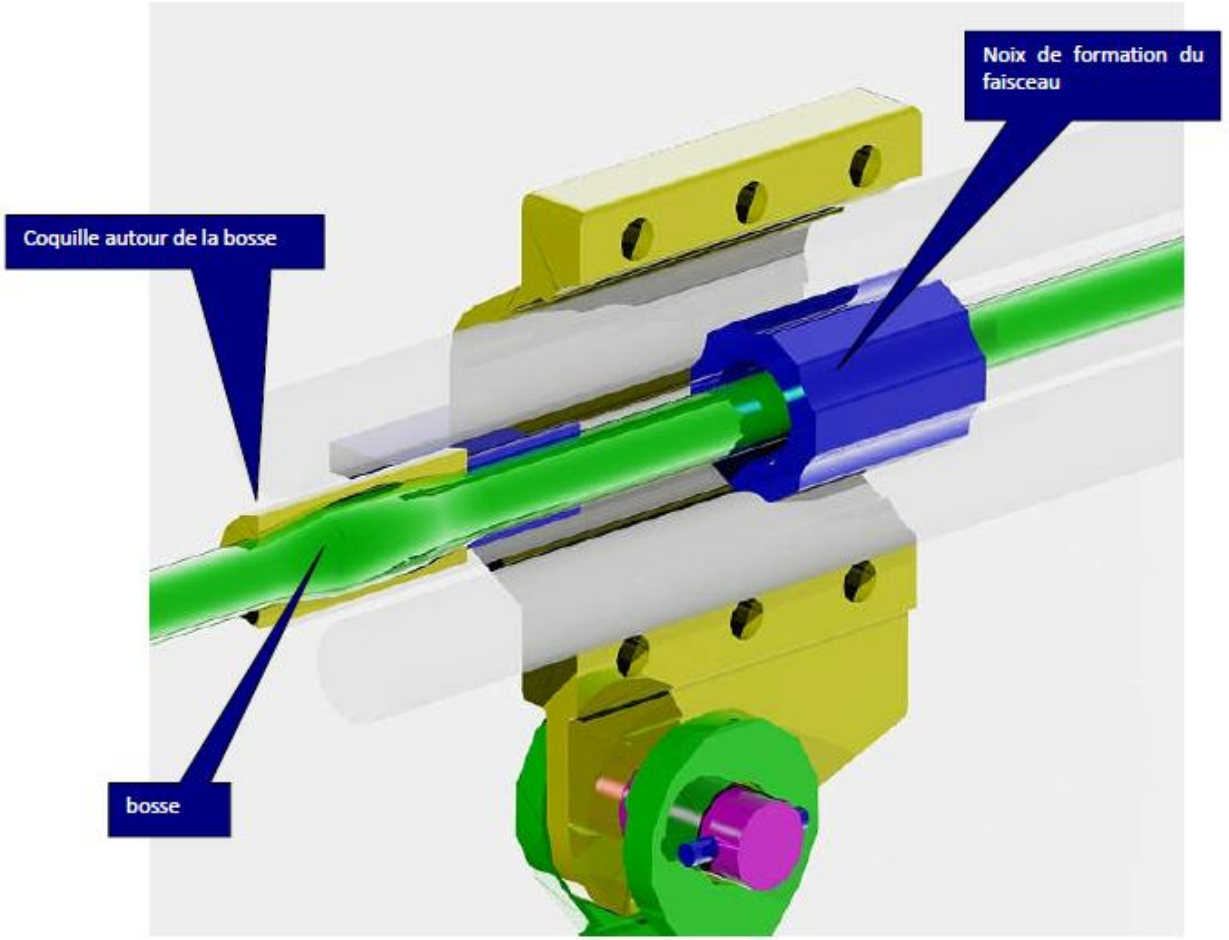
- Composition des dispositifs antiglissement des câbleaux



- Composition des dispositifs antiglissement des câbleaux



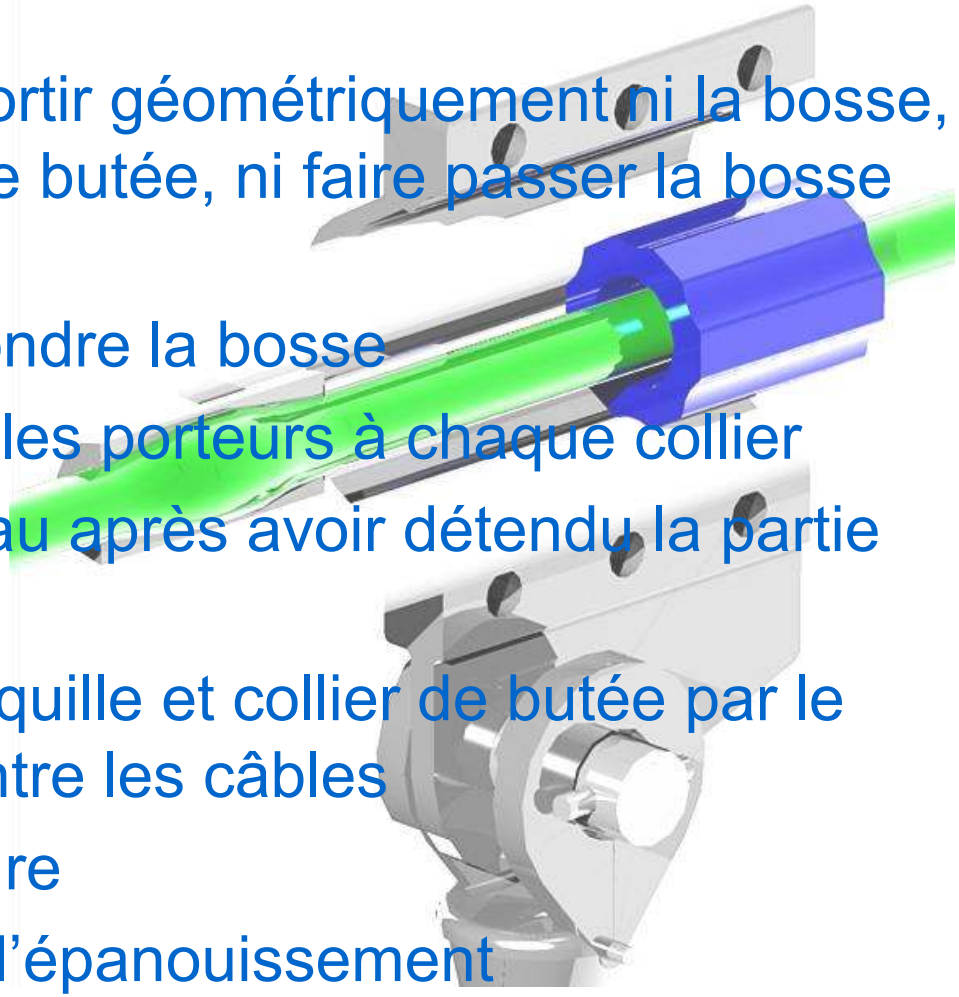
- Composition des dispositifs antiglissement des câbleaux



- Autres conclusions
  - Dimensionnement correctement effectué pour égaliser les contraintes retenues / porteurs – section câbleau : 5%
  - Capacité des tirants inférieure à celle de leur câble MAIS tirants fragiles au froid et à filets taillés
  - Câbleau : solution astucieuse à l'époque et éprouvée (pas de boulons HR)
  - Câbleaux ne peuvent être démontés – source de flamme interdite
  - L'ouvrage reste justifié en l'absence de câbleaux
  - Attention à ne pas dépasser la capacité des poutres et de la suspension en phase travaux

- Possibilités
  - Solution minimaliste et peu pérenne, à renouveler régulièrement (et avec persistance amiante)
    ➔ nettoyer l'intérieur du faisceau « barbouille » peu satisfaisante – pas de garantie – maintien des pièges à eau et de l'amiante ☹
  - Solution maximaliste :
    ➔ remplacer tous les câbles avec système antiglissement alternatif (mordaches, colliers neufs…) – solution radicale mais coûteuse et travaux court terme 😐
  - Solution intermédiaire de remplacement des câbleaux, économique, pérenne, sans toucher de façon substantielle à la suspension ?
    ➔ OUI ☺

- Solution proposée
  - On ne peut pas faire sortir géométriquement ni la bosse, ni la coque, ni le collier de butée, ni faire passer la bosse dans la noix
  - On ne peut pas faire fondre la bosse
    - ➔ « écarter » les câbles porteurs à chaque collier
    - ➔ découper le câbleau après avoir détendu la partie concernée
    - ➔passer câbleau, coquille et collier de butée par le passage dégagé entre les câbles
    - ➔Importance de l'ordre
    - ➔Traiter les colliers d'épanouissement
    - ➔Traiter les colliers de maintien des retenues



- Solution proposée
  - Mordaches devant colliers des suspentes adjacentes
  - Pesage sous coupure
  - Transfert / Détension et dépose de la suspente
  - Vérinage près de la bosse pour écarter les câbles 2-3
    (possible avec entraxe suspente et tensions ➔ qq degrés suffisent)
  - Découpe câbleau / faire sortir bosse, coquille et collier de butée – tirer le câbleau sans sa bosse par l'ouverture centrale de la noix
  - Anticorrosion des câbles porteurs au droit du collier
  - Dévériner et retour des câbles à leur position – mise en place de mordaches de blocages individuelles
  - Transfert et remise en tension de la suspente
  - Réglage final par ferme pour équilibrer les tensions dans les suspentes
  - ➔ à la demande du MOA, intégration de travaux en tranche conditionnelle pour traiter toutes les suspentes et les zones sous colliers

- Solution proposée

