

Journée technique Auscultation et  
diagnostic des Ouvrages d'Art



## Pont de Noirmoutier – Présentation du diagnostic



***Aurélien TELLIER – Cerema Ouest –  
DLAn - GOA***

Rennes – 12 septembre 2019

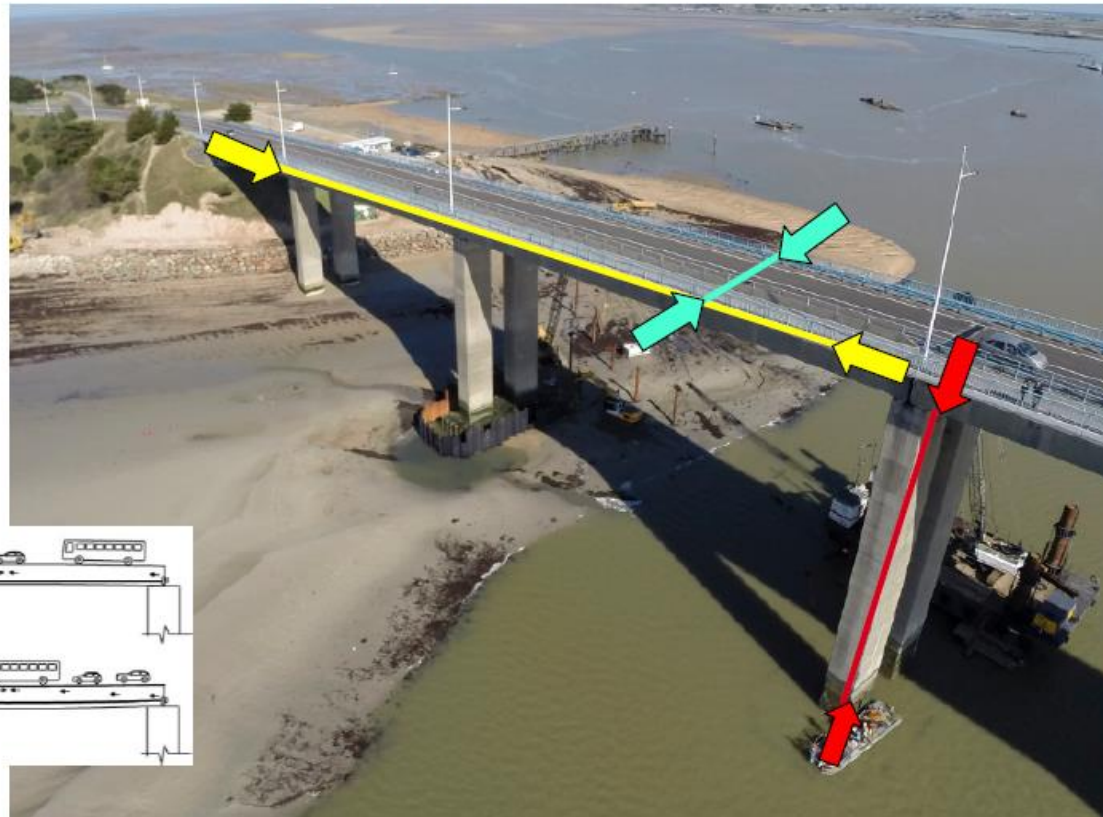
---

# Sommaire

---

- La précontrainte du pont de Noirmoutier
- Diagnostic du pont de Noirmoutier
  - Les techniques déployées
  - Les résultats / le bilan

# La précontrainte du pont de Noirmoutier



Le béton travaille mieux en compression qu'en traction. La structure du pont est comprimée de manière longitudinale, transversale et verticale. Objectif lors de la construction : grande longueur avec le moins possible d'acier.

# La précontrainte du pont de Noirmoutier

- Précontrainte longitudinale 12T13 en gousset inférieur / âme de voussoir
- Précontrainte transversale 12Φ7 en hourdis supérieur

*Précontrainte transversale 12Φ7*



*Précontrainte longitudinale 12T13*



# Pont de Noirmoutier - Pourquoi un diagnostic ?

---

- Statuer sur l'état des précontraintes de l'ouvrage (verticale, longitudinale et transversale) 45 ans après sa mise en service
- Suite aux conclusions d'une action de surveillance périodique de type visite subaquatique → apparition des cachetages des relevés de la précontrainte verticale des piles sur les parties supérieures des semelles

# Étapes du diagnostic

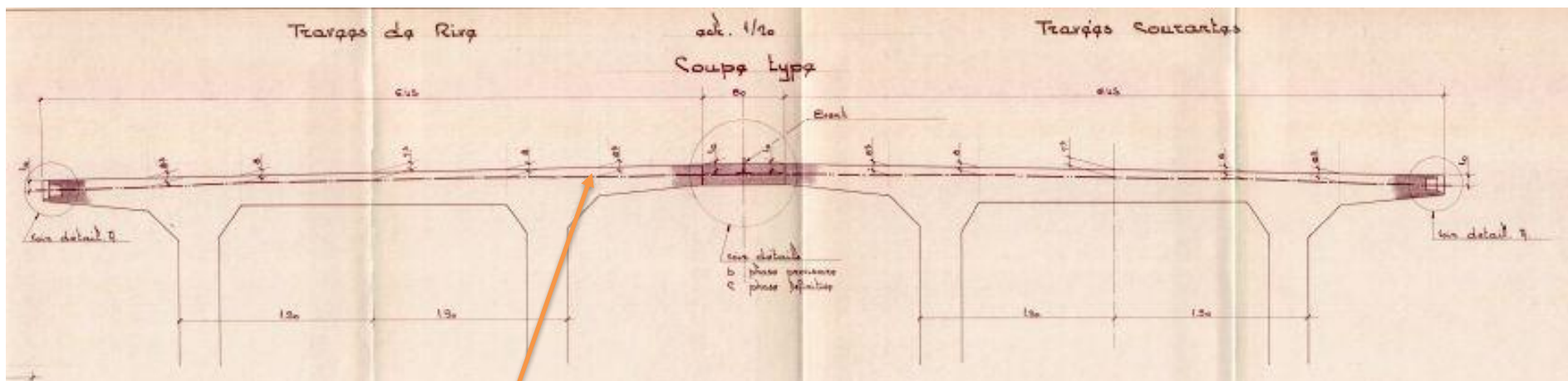
---

- 1 Analyse du dossier d'ouvrage
- 2 Localiser les armatures de précontrainte (C1-1 et E2-1)
- 3 Évaluer le remplissage en coulis des conduits de précontrainte (B5-1 et E2-1)
- 4 Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte (A1-9 et C1-5)
- 5 Évaluer la tension des armatures de précontrainte (C4-3 et E2-5)



# Analyse du dossier d'ouvrage

## Fiche Diagnostic E2-1 – Détection et localisation d'armatures passives ou actives dans le béton



Câble de précontrainte 12 Ø 7



# Localiser les armatures de précontrainte

## Fiche Auscultation C1-1 – Technique radar pour localisation d'armatures

- Vérifier les plans d'exécution



*Tracé d'une fenêtre d'auscultation*



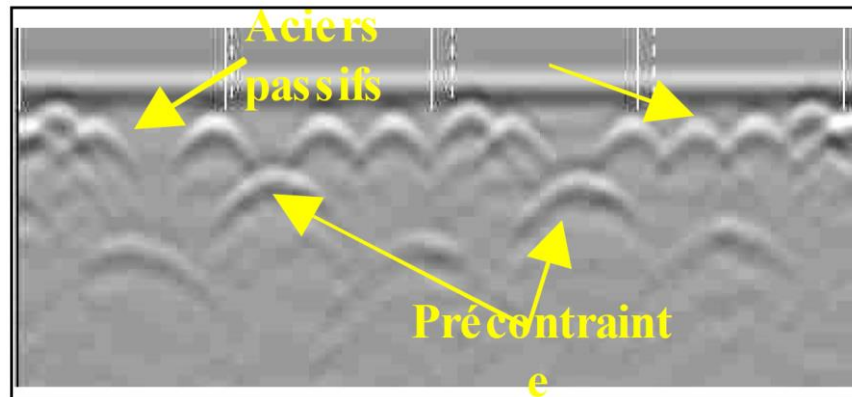
*Localisation des armatures*

- Implanter les fenêtres pour investigations

# Localiser les armatures de précontrainte

## Fiche Auscultation C1-1 – Technique radar pour localisation d'armatures

- Profondeur importante (>10 cm)
- Radar portable + antenne entre 1 et 2,6 GHz



Visuel de l'écran du radar



Radar GSSI Sir 3000 +  
Antenne « Palm » 2,6 Ghz

# Localiser les armatures de précontrainte

---

## Fiche Auscultation C1-1 – Technique radar pour localisation d’armatures

- Matériel fiable et peu encombrant
- Mesure en temps réel pour la localisation d’armatures mais en temps différé pour la localisation précise en profondeur
- Nécessite une formation pour être opérateur radar et/ou pour interpréter les résultats
- Coût du matériel élevé + formation

# Localiser les armatures de précontrainte

---

## Retour d'expérience

- Repérage de 15 ouvertures (« fenêtres ») situées à l'intérieur des caissons
  - 8 en gousset inférieur et 4 en âme de voussoir pour accéder aux câbles de précontrainte longitudinale 12T13
  - 3 en hourdis supérieur permettant l'accès aux câbles de précontrainte transversale 12Φ7
- Repérage de 5 fenêtres situées sur les piles du pont
  - En périphérie extérieure des fûts, à 2 m sous le chevêtre, afin d'accéder aux câbles de précontrainte verticale 12Φ7
  - Initialement prévues 1 fenêtre sur P4, P5, P6 et 2 sur P7 → impossible d'atteindre les zones préconisées pour P5 et P6 (passerelle négative ne pouvait descendre qu'à 50 cm sous le chevêtre)
  - 2 fenêtres sur P4 (Est et Ouest) et 3 sur P7 (Est, Est et Ouest)

# Localiser les armatures de précontrainte

---



*Accès avec la nacelle à 50 cm sous le chevêtre*



*Fenêtre sur P6*



*Circulation alternée manuelle pendant les interventions*

# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte

## Fiche Auscultation B5-1 – Gammagraphie – Radiographie - Radioscopie



Vue côté émetteur



Vue côté film

- Permet de vérifier le remplissage en coulis de la gaine et d'éventuelles ruptures totales d'armatures



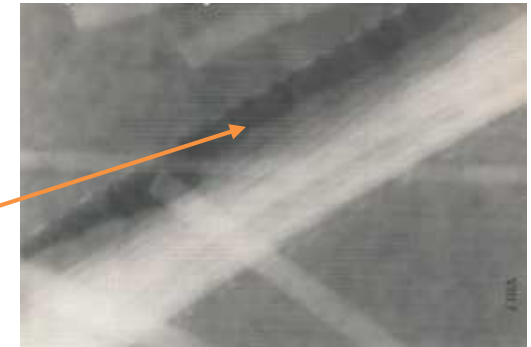
# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte

## Fiche Auscultation B5-1 – Gammagraphie – Radiographie - Radioscopie





Choix de la source émettrice en fonction de l'épaisseur de béton

- jusqu'à 25/30 cm → emploi de l'iridium 192
- jusqu'à 55/60 cm → emploi du Cobalt 60

Conduit partiellement rempli



Radiogramme

- A  correctement injectés
- B  manque partiel de coulis quantitativement peu important
- C  manque partiel de coulis qualitativement important
- D  manque total ou quantitativement très important



# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte

---

## Fiche Auscultation B5-1 – Gammagraphie – Radiographie - Radioscopie

- Nécessite des mesures de sécurité vis-à-vis du public et des utilisateurs – Mesure en zone urbanisée dense impossible
- Matériel portable si emploi de l'Iridium 192 / Matériel lourd et encombrant si emploi du Cobalt 60
- Accès indispensable aux deux faces de la zone auscultée
- Disponibilité rare (1 équipe ressource au CEREMA Centre Est et 1 équipe privée pour épaisseurs < 30 cm)
- Validation et première interprétation possible sur site mais exploitation complète faite *à posteriori*
- Coût élevé – Campagne de mesure sur plusieurs journées
- Réalisation de 10 à 20 expositions/jour

# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte

---

## Retour d'expérience

- 14 câbles auscultés en 1971 → pas de manque de coulis, l'injection des gaines était correcte
- 64 câbles auscultés en 2016, complémentaires à ceux de 1971
  - 15% des câbles en 9 jours de travail (sur 3 semaines) → contrôle statistique représentatif (en 10 et 15% du nb de câbles)
  - Utilisation d'une source émettrice de Cobalt 60
- 60 câbles auscultés sur les âmes des voussoirs
  - Impossible de réaliser des expositions verticales (à travers le hourdis sup) dû à la grande épaisseur de béton totale (béton du voussoir + chape d'étanchéité + couche de roulement)
  - Nécessite une passerelle négative pour accéder à la face externe
- 4 câbles auscultés sur les piles
  - Câbles situés dans les angles avec une épaisseur trop importante
  - Seuls câbles de P4 et P7, situés au milieu des piles, ont pu être radiographiés
  - Accès à l'intérieur des fûts de pile par corde, via les trous d'homme

# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte





---

## Retour d'expérience





- Résultats obtenus sont fiables pour les 64 échantillons
  - Aucun symptôme visuel de fils détendus → présage une rupture
  - Pas de défaut majeur du béton observé
- Précontrainte longitudinale en âme des voussoirs
  - 98% conduits contrôlés correctement remplis, au droit des radiographies
  - Protection des câbles assurée vis-à-vis d'une pénétration d'humidité
- Précontrainte verticale des piles
  - Vides importants sur 75% des clichés
  - Mesures situées sous le chevêtre
  - Après analyse approfondie du dossier d'ouvrage, le coulis d'injection mis en place lors de la construction n'a été disposé que jusqu'à la hauteur des plus hautes eaux

# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte

- Précontrainte longitudinale des poutres caisson :

Localisation des contrôles	Nombre de câbles différents contrôlés	A 	B 	C 	D 
File Ouest	40	26	13	1	
File Est	20	12	8		
<b>Total général</b>	<b>60</b>	<b>38</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	
Total général en pourcentage		<b>63%</b>	<b>35 %</b>	<b>2 %</b>	<b>0 %</b>
		<b>98 %</b>		<b>2 %</b>	

- Précontrainte verticale des piles :

Localisation des contrôles	Nombre de câbles différents contrôlés	A 	B 	C 	D 
Pile 4	2	1			1
Pile 7	2				2
<b>Total général</b>	<b>4</b>	<b>1</b>			<b>3</b>
Total général en pourcentage		<b>25%</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>75 %</b>
		<b>25 %</b>		<b>75 %</b>	

# Évaluer le remplissage des conduits de précontrainte

---



Installation du film à l'intérieur des piles



Conteneur de la source de Cobalt 60 \*\*

# Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte

---

## Fiche Auscultation A1-9 – Ouverture/Fermeture d'une fenêtre dans le béton



*Fenêtre de 80 x 40 cm*



*Ouverture d'une gaine de protection*

- Etat des conduits de précontrainte coulis
- Remplissage et qualité du coulis
- Intégrité des fils de précontrainte

# Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte

---

## Fiche Auscultation A1-9 – Ouverture/Fermeture d'une fenêtre dans le béton

- Matériel léger et peu encombrant
- Résultats directs de l'ouverture d'une fenêtre (constats visuels) sont immédiatement disponibles
- Localisation en fonction de l'exploitation de la gammagraphie et aide à l'implantation par technique radar
- Risque d'endommagement des armatures par action mécanique et/ou corrosion par contact avec le milieu ambiant
- Coût moyen et disponibilité courante (souvent sous-traitée)
- Rendement de 3 à 4 fenêtres/jour
- Précautions pour fermeture : nettoyage, ciment adapté, passivant



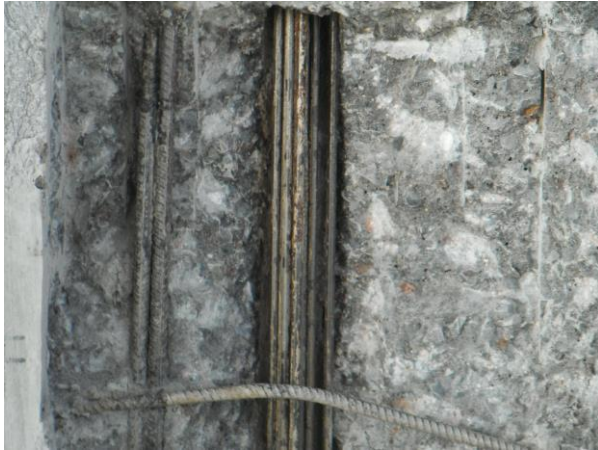
# Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte

---

## Retour d'expérience

- Ouverture des 15 fenêtres à l'intérieur des caissons
  - Demande à l'entreprise sous traitante d'ouvrir les gaines afin de vérifier l'état des câbles de précontrainte → section de 5 torons de câble lors de l'opération
  - Armatures présentent globalement un état satisfaisant
  - Coulis réparti de façon homogène et en quantité importante
  - Traces de corrosion superficielle
  - Passivant déposé dans l'attente des essais à l'arbalète
- Ouverture des 5 fenêtres situées sur les piles du pont
  - Sans encombre
  - Absence de gaine de protection → méthode du coffrage grim pant (fourreau placé lors de la construction puis enlevé)
  - Corrosion uniforme avec légère perte de matière
- Constat à l'ouverture des fenêtres que la position des câbles ne correspond pas précisément aux plans d'exécution

# Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte



*Ouverture d'une fenêtre sur P6*



*2 fils sectionnés en âme de voussoir*



*Passivant pour protéger contre la corrosion*



*Ouverture d'une fenêtre sur P6*

# Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte

## Fiche Auscultation C1-5 – Endoscopie : Application à la recherche de vide et/ou de zones corrodées dans les conduits de précontrainte

- Observation des zones de vide pour détecter l'état de corrosion des câbles de précontrainte et/ou la qualité d'injection des conduits



# Évaluer l'intégrité des unités de précontrainte

---

## Fiche Auscultation C1-5 – Endoscopie : Application à la recherche de vide et/ou de zones corrodées dans les conduits de précontrainte

- Matériel léger et très peu encombrant
- Résultats directs
- Risque d'endommagement des armatures par action mécanique et/ou corrosion par contact avec le milieu ambiant
- Coût faible

# Évaluer la tension des armatures de précontrainte

---

## Fiche Diagnostic E2-5 – Evaluation de la tension dans une armature de précontrainte



*Test à l'arbalète en gousset*



# Évaluer la tension des armatures de précontrainte

---

## Fiche Auscultation C4-3 – Mesure de la tension des câbles et armatures de précontrainte au moyen de l'arbalète

Mesure de tension résiduelle dans les câbles de précontrainte

Calibration en laboratoire sur un faisceau de câbles de référence



*Test à l'arbalète sur pile*

# Évaluer la tension des armatures de précontrainte

---

## Fiche Auscultation C4-3 – Mesure de la tension des câbles et armatures de précontrainte au moyen de l'arbalète

- Matériel portable, autonome et léger
- Exploitation des résultats en laboratoire
- 6 à 12 mesures/jour sur les torons
- Calibration en laboratoire sur un faisceau de câbles de référence
- Coût faible, disponibilité faible (méthode pratiquée par moins de 5 laboratoires en France)



# Évaluer la tension des armatures de précontrainte

---

## Retour d'expérience

- Mesures sur précontrainte longitudinale de type 12T13
  - Valeur assez hétérogène
  - Ecart de tension entre 2 torons d'un même câble assez faible
  - Perte de tension faible (par rapport à tension initiale de mise en œuvre)
- Mesures sur précontrainte transversale et verticale de type 12  $\Phi$  7
  - Valeur homogène
  - Faible écart de tension entre 2 torons d'un même câble
  - Tensions moyennes sont élevées par rapport aux valeurs théoriques de mise en tension pour ce type d'armatures

# Évaluer la tension des armatures de précontrainte



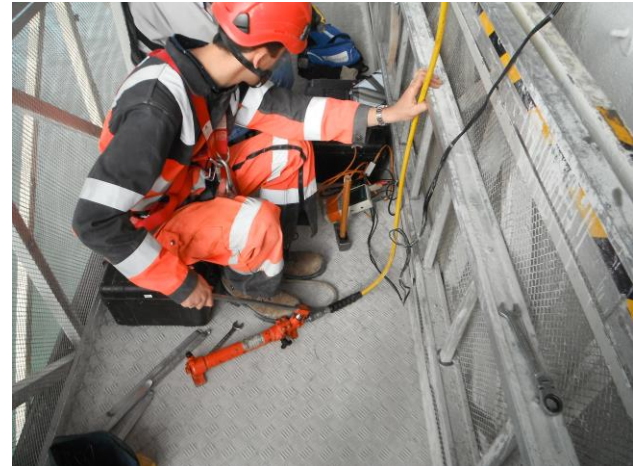
*Sectionnement des aciers passifs*



*Décollement d'un fil à tester*



*Essai à l'arbalète sur un toron de précontrainte verticale*



*Valeur de tension mesurée sur l'écran*

# Pont de Noirmoutier - Bilan

---

- L'état de la précontrainte du pont de Noirmoutier est satisfaisant et ne fait pas l'objet d'actions de réparation ni de renforcement à court terme
- Bilan à rapprocher des conclusions de l'IDP de juin 2016 -> pas de désordres structurels visibles sur les tabliers et parties émergées des appuis

# Pont de Noirmoutier - Suites à donner

---

- Ouvertures de fenêtres d'auscultation à différentes hauteurs des piles P4, P5, P6 et P7 pourront permettre de visualiser l'état de la précontrainte verticale (non protégée par des gaines et du coulis) ?
- La protection des cachetages des relevés de précontrainte verticale des piles en partie supérieure des semelles a été réalisée ou est sur le point de l'être
- Suivi du comportement de l'ouvrage ➔ mesures topographiques périodiques préconisées pour détecter des problèmes liés à la stabilité des fondations et/ou à des déficiences d'unités de précontrainte

---

## Merci de votre attention

Pour en savoir plus

Aurélien TELLIER

[aurelien.tellier@cerema.fr](mailto:aurelien.tellier@cerema.fr)

02 41 79 13 13

07 61 94 26 84

---