

# Journée d'Etudes des Routes et des Infrastructures

***JERI 2023***

**Inspections et investigations des ouvrages d'art  
dans le cadre de la conservation et la maintenance**

07 novembre 2023

## Pierric Langel

Ingénieur civil EPFL

### Formation et expérience

- Dès 2012      **Groupe GVH**  
GVH Tramelan SA
- Ouvrages d'arts  
ponts, tranchées couvertes
  - Travaux spéciaux et tunnels
  - Projets d'aménagements et d'assainissements routiers  
et ferroviaires  
OFROU, cantons, CFF, ...
- 2010 – 2012      **Master of sciences en Génie Civil**  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
- 2007 – 2010      **Bachelor en Génie Civil**  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)



## Groupe GVH ingénieurs civils EPF-SIA

### Structure

Groupe de 5 bureaux d'ingénieurs civils :

- GVH Tramelan SA
- GVH Saint-Blaise SA
- GVH La Chaux-de-Fonds SA
- GVH-BP Jura SA
- GVH Biel AG

Actif depuis 1983

70 collaborateurs

### Domaines d'activités

- Ouvrages d'art
- Travaux souterrains, tranchées couvertes
- Bâtiments, constructions industrielles
- Aménagements routiers et ferroviaires
- Assainissements d'ouvrages
- Expertises



# Table des matières

- 1. Ouvrages d'art – Généralités**
- 2. Conservation et maintenance**
- 3. Surveillance / Vérifications**
- 4. Inspections (N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages)**
- 5. Investigations (N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages)**
- 6. Interventions**

- Ouvrages pour assurer la continuité de **voies de communication**  
Ponts, viaducs, passages inférieurs, tranchées couvertes, trémies, tunnels,...



N16 – Viaducs du Creugenat



N01 – Ponts sur la Mentue



N16 – Tunnel de Montaignre

- **Ouvrages de protection** contre les dangers naturels  
Digues contre les crues, galeries de protection contre les avalanches ou les chutes de blocs,...



Galerie de protection contre les avalanches à Fully.

Source : <https://www.vs.ch/web/sdana/ouvrages-de-protection>



Ouvrage de protection contre les crues, canton de Fribourg.

Source : <https://www.fr.ch/energie-agriculture-et-environnement/eau/lacs-et-cours-deau/protection-contre-les-crues>

- Ouvrages destinés à la **retenue des eaux**  
Digues, barrages



Digue de Göscheneralp, canton Uri.

Source : <https://www.umerzeitung.ch/zentralschweiz/uri/goescheneralp-urner-umweltrat-fordert-staudamm-erhoehung-ld.2161097>



Barrage de la Grande Dixence, canton du Valais.

Source : <https://www.valdherens.ch/fr/la-grande-dixence-plus-haut-barrage-d-europe-fp48751>

Ouvrages pour assurer la continuité de **voies de communication**  
**Inspections, vérification et interventions**



N16 – Viaducs du Creugenat



N01 – Ponts sur la Mentue



N16 – Tunnel de Montaignre

## Durée d'utilisation

- 2.3.2 La durée d'utilisation doit être convenue. Les valeurs suivantes sont indicatives :
- ouvrages temporaires jusqu'à 10 ans
  - éléments de construction remplaçables jusqu'à 25 ans
  - bâtiments et autres ouvrages d'importance normale 50 ans
  - **ouvrages d'importance majeure 100 ans.**

*Extrait SIA 260 (2013)*

La **durée d'utilisation** de la **structure porteuse** exigée par le Maître d'Ouvrage est généralement de **100 ans**.

Les autres éléments de l'ouvrage ont des durées d'utilisation généralement inférieures.

# De la conception à la démolition

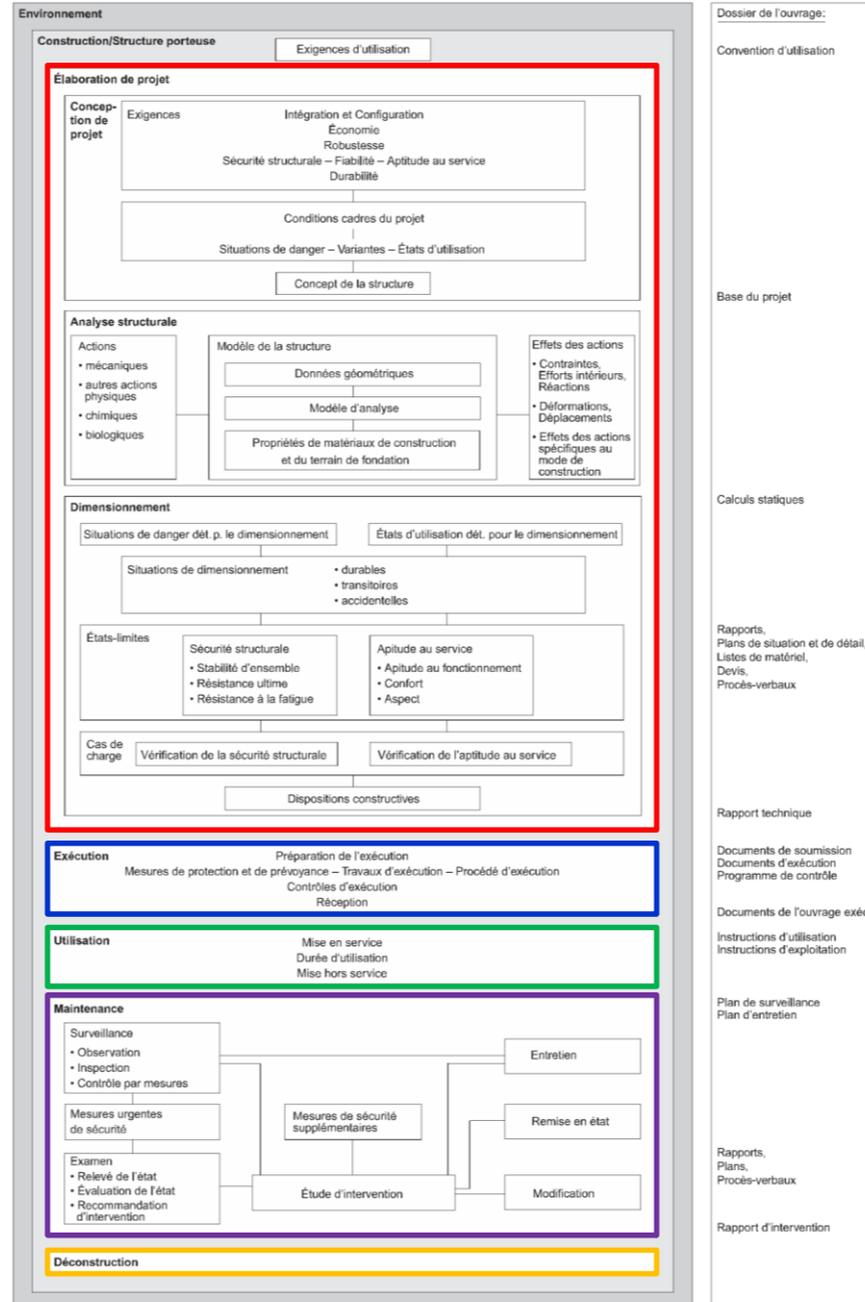
**Elaboration du projet**

**Exécution**

**Utilisation**

**Maintenance**

**Démolition**



Convention d'utilisation

Base du projet

Analyses structurales

Rapports / plans / devis

Dossier d'appel d'offres / projet d'exécution / Programme de contrôle (de l'exécution)

Instructions d'utilisation et d'exploitation

Plan de surveillance  
Plan d'entretien

Rapports / Plans / ...

## Conception et durabilité

**La conception** d'un ouvrage d'art et les **détails de construction** envisagés lors de l'élaboration du projet influencent de manière significative **la durabilité de l'ouvrage** et **les frais d'entretien et de maintenance**.

## Normes SIA

<b>SIA 469</b>	(1997)	Conservation des ouvrages
<b>SIA 269</b>	(2011)	Bases pour la maintenance des structures porteuses
<b>SIA 269/1</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Actions
<b>SIA 269/2</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Structures en béton
<b>SIA 269/3</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Structures en acier
<b>SIA 269/4</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Structures mixtes acier-béton
<b>SIA 269/5</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Structures en bois
<b>SIA 269/6-1</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Structures en maçonnerie, partie 1: pierres naturelles
<b>SIA 269/6-2</b>	(2014)	Maintenance des structures porteuses – Structures en maçonnerie, partie 2: briques et parpaings
<b>SIA 269/7</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Géotechnique
<b>SIA 269/8</b>	(2011)	Maintenance des structures porteuses – Séismes

## Définition et objectifs de la conservation des ouvrages

### Conservation d'ouvrage

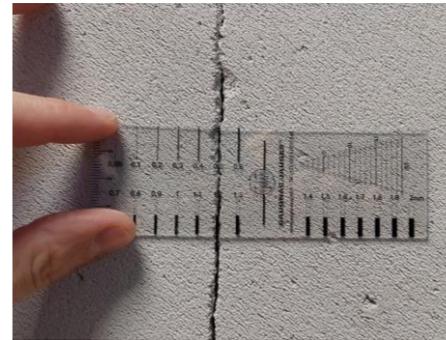
Ensemble des activités permettant de maintenir un ouvrage en bon état et de conserver ses valeurs matérielle et culturelle.

- 2 11 La conservation des ouvrages de construction a pour but:
- d'assurer de façon suffisante leur sécurité structurale et d'exploitation
  - de conserver leur valeur économique en prenant en compte les frais d'exploitation et d'entretien
  - de garantir leur aptitude au service
  - de permettre au propriétaire d'assumer les responsabilités que la loi lui attribue.

*Extraits SIA 469 (1997)*

## Mesures et activités de la conservation

1. Surveillance
2. Vérification
3. Interventions d'urgence
4. Etude de conservation
5. Etude des interventions
6. Entretien
7. Modifications



## Surveillance

3 11 2 La surveillance consiste à exercer des activités dont certaines sont programmables et d'autres ne le sont pas. Activités programmables:

- l'observation systématique
- les inspections périodiques (principales, intermédiaires)
- les contrôles périodiques par mesures
- les contrôles réguliers de fonctionnement.

Exemples d'activités non programmables:

- les observations faites par des tiers
- les inspections spéciales.

*Extrait SIA 469 (1997)*

## Vérifications

- 3 21 1 Sur la base **des résultats de la surveillance**, éventuellement d'une analyse particulière, on procédera à **une vérification**, ayant pour objet de porter un jugement sur l'ouvrage et ses éléments, puis de formuler des **propositions pour la suite**.
- 3 21 6 Les résultats de la vérification seront consignés dans un rapport, lequel contiendra au minimum:
- une description de l'état de l'ouvrage
  - une appréciation de la sécurité structurale et de la sécurité d'exploitation
  - le cas échéant, les interventions urgentes qui s'imposent
  - une appréciation de l'aptitude au service
  - un pronostic sur l'évolution de l'état de l'ouvrage
  - des recommandations pour la suite.

*Extrait SIA 469 (1997)*

**Des investigations sont généralement requises pour la vérification de l'ouvrage.**

## Inspections (surveillance)

### Moyens simples, non destructifs :

inspections visuelles  
petit marteau  
règles pour mesures l'ouverture des fissures  
caméra  
...

### Constatations

#### Ouvrages en béton

fissures  
éclats de béton  
efflorescences  
zones humides  
...

#### Ouvrages métalliques

fissures (fatigue)  
état protection anticorrosion  
cloques  
état assemblages  
...

## Investigations (vérifications)

### Moyens plus conséquents, destructifs ou non :

mesures de potentiel  
piquages locaux pour état d'armatures et précontrainte  
prélèvement de poudres ou carottes béton  
épaisseur, type de protection anticorrosion  
essais sur le système étanchéité-revêtement  
...

### Résultats

différence de potentiels, risque de corrosion des armatures  
état de l'armature et de la précontrainte  
taux de chlorures, carbonatation du béton  
résistance du béton  
pathologie réaction Alkali-granulat (RAG)  
...

## Déroulement des inspections

### Tâches de l'ingénieur :

- Analyse des bases à disposition  
plans d'archives, rapports d'inspection antérieurs
- Analyse de la conception de l'ouvrage et des détails de construction  
système statique, comportement de l'ouvrage, détails de construction critiques
- Préparation et organisation de l'inspection  
contrôle de l'accès à l'ouvrage, nacelles à disposition, fermetures de chaussées
- Inspection de l'ouvrage et traitement des observations  
dossiers photos, plans des dégâts observés

## N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages

### Maître de l'ouvrage

OFROU, filiale d'Estavayer-le-Lac

### Objectif du mandat

Maintien de la substance des ouvrages sur un tronçon d'environ 7 km entre l'échangeur de Villars-Ste-Croix et la jonction de Vennes

### Mandataire TU/TG/K

Groupement GVH-BG



PS CF LEB Jouxens

# N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages – PS CF LEB Jouxten

## Analyse des bases à disposition - Rapports d'inspection antérieurs

Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra		Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral des routes OFROU Division Infrastructure routière											
<b>Rapport d'inspection ouvrage d'art</b>		<b>Inspection principale</b>											
		N°: 2	Date: 01.10.2009										
<b>PS LEB (Jouxten)</b>		N°: 09PS015B											
Axe maintenance	N09	km Axe maintenance	3.606										
Coordonnées	535683.00 156313.00	Altitude	580.00										
Commune	Jouxten-Mézery	Filiale	F1										
Type d'ouvrage	Pont cadre	Dernière inspection	28.09.2000										
N° comptable OFROU	22.09.48.486.02	Date de la réception	23.04.1964										
Conditions météo	Ensoleillé 20 °C	<b>Auteur du rapport:</b>											
Programme	1 - 2a	IUB - Geotest / Y. Huot											
		<b>Info supplémentaire</b>											
		Longueur totale	46.90 m										
		Largeur totale	1.80 m										
		Surface totale	84,00 m <sup>2</sup>										
<b>APPRECIATION DE L'ETAT</b> OA: 3 en état défectueux		<b>INTERVENTIONS DE CONSERVATIONS</b> Intervention de conservation 230 Réparation (remise en état locale)											
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;"></td> <td style="background-color: orange;"></td> <td style="background-color: red;"></td> <td style="background-color: darkred;"></td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> </table>		1	2	3	4	5						A exécuter avant l'année : 2015	
1	2	3	4	5									
<b>Élément le plus mauvais: état 4</b> Légende 1 en bon état 4 en mauvais état 2 en état acceptable 5 en état alarmant 3 en état défectueux (9 Etat incontrôlable)		Coûts estimés:											
Vérification par :		<b>Inspection complémentaire</b>											
Date : 28.janv.10 Signature :		Prochaine inspection principale UPlaNS prévue en 2025.											

Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra		Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral des routes OFROU Division Infrastructure routière											
<b>Rapport d'inspection ouvrage d'art</b>		<b>Inspection principale</b>											
		Date: 14.11.2014											
<b>PS voie ferrée L.E.B. (Jouxten)</b>		N° OI: 09PS015B											
Axe SRB par défaut		Point départ/fin											
Coordonnées X/Y	535683.00 / 156313.00	Altitude [m]	580										
Commune	Jouxten-Mézery	Filiale	F1										
IO-Type	Pont - dalle	Dernière inspection	CE: 3 01.10.2009										
Numéro d'objet	486.02	Date de réception	23.04.1964										
Conditions météo	légèrement nuageux 9 °C	<b>Auteur du rapport: Nicolas Massé</b>											
Unité de territoire	II	BG Ingénieurs Conseils											
Programme	1 - 2a	Date: 18.05.2015	Signature: 										
		<b>Données de mesures</b>											
		Longueur totale:	46.90 m										
		Largeur totale:	1.80 m										
		Surface totale:	84.00 m <sup>2</sup>										
<b>APPRECIATION DE L'ETAT</b> IO: 2 en état acceptable		<b>INTERVENTIONS RECOMMANDÉES</b>											
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;"></td> <td style="background-color: orange;"></td> <td style="background-color: red;"></td> <td style="background-color: darkred;"></td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> </table>		1	2	3	4	5						Intervention d'urgence: <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
1	2	3	4	5									
<b>Sous OI le plus mauvais: Etat 3 (3)</b> Légende 1: bon 4: mauvais 2: acceptable 5: alarmant 3: défectueux (9: incontrôlable)		Intervention de conservation: 230 Réparation (remise en état locale)											
Vérification par: OFROU		A exécuter: <input checked="" type="checkbox"/> avant 2017											
Date:		Coût total estimé:											
		Interventions recommandées à exécuter par les UT: <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non											
		Inspection complémentaire:											

Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra		Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral des routes OFROU Division Infrastructure routière											
<b>Rapport d'inspection ouvrage d'art</b>		<b>Inspection principale</b>											
		Date: 04.06.2019											
<b>PS CF LEB Jouxten</b>		N° OA: 09PS015B											
Axe SRB par défaut	N9+	Point départ/fin	30/30 U[m] 605.6/606.6										
Coordonnées X/Y	535683.00 / 156313.00	Kilomètre	3.608										
Commune	Jouxten-Mézery	Altitude [m]	580										
Tronçon d'entretien	32 Villars-Ste-Croix - Vennes	Filiale	F1										
IO-Type	Pont - dalle	Dernière inspection	CE: 2 14.11.2014										
Numéro d'objet	22.09.48.486.02	Date de réception	23.04.1964										
Conditions météo	beau (sans nuage, serein) 20 °C	<b>Auteur du rapport:</b>											
Unité territoriale	II	Consortium KUBA F1											
Programme d'inspection	1 - 2a	Date: 14.02.2020	Signature: 										
		<b>Données de mesures</b>											
		Longueur totale:	46.90 m										
		Largeur totale:	1.80 m										
		Surface totale:	84.00 m <sup>2</sup>										
<b>APPRECIATION DE L'ETAT</b> IO: 2 en état acceptable		<b>INTERVENTIONS RECOMMANDÉES</b>											
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;"></td> <td style="background-color: orange;"></td> <td style="background-color: red;"></td> <td style="background-color: darkred;"></td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> </table>		1	2	3	4	5						Intervention d'urgence: <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
1	2	3	4	5									
<b>Sous OI le plus mauvais: Etat 3 (3)</b> Légende 1: bon 4: mauvais 2: acceptable 5: alarmant 3: défectueux (9: incontrôlable)		Intervention de conservation: 230 Remise en état locale (voir aussi 2.1)											
Vérification par: OFROU		A exécuter: <input checked="" type="checkbox"/> avant 2023											
Date:		Coût total estimé:											
		Interventions recommandées à exécuter par les UT: <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non											
		Inspection complémentaire: 6 Inspection spéciale											

Rapport 2009 établis par le canton.

Rapports 2014 et 2019 transmis par l'EP-F1 (Domaine gestion du patrimoine).  
Rapport établis selon le système de surveillance de notation spécifique à l'EP-F1.

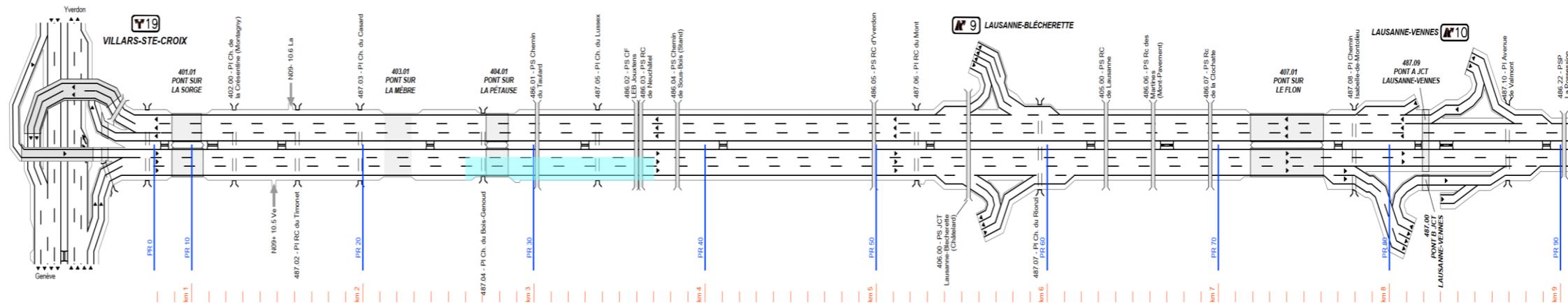


# N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages

## Préparation et organisation des inspections

13.09.2022

Chaussée Lac :  
Fermeture N5 (BAU + V1 + V2)  
21h00 - 04h30



<b>Km</b>	Km 2.000	<b>Secteur N5b</b>	Km 3.700
<b>Investigations géotechniques</b>			
<b>Investigations sur ouvrage</b>	PS RC Neuchâtel : Purge tablier		
<b>Investigations sur chaussée</b>	Pont sur la Pétause : Fenêtres dans revêtement, y compris béton		
<b>Intervention géomètre</b>			

## N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages Préparation, organisation des inspections et inspections



Ponts sur la Mèbre

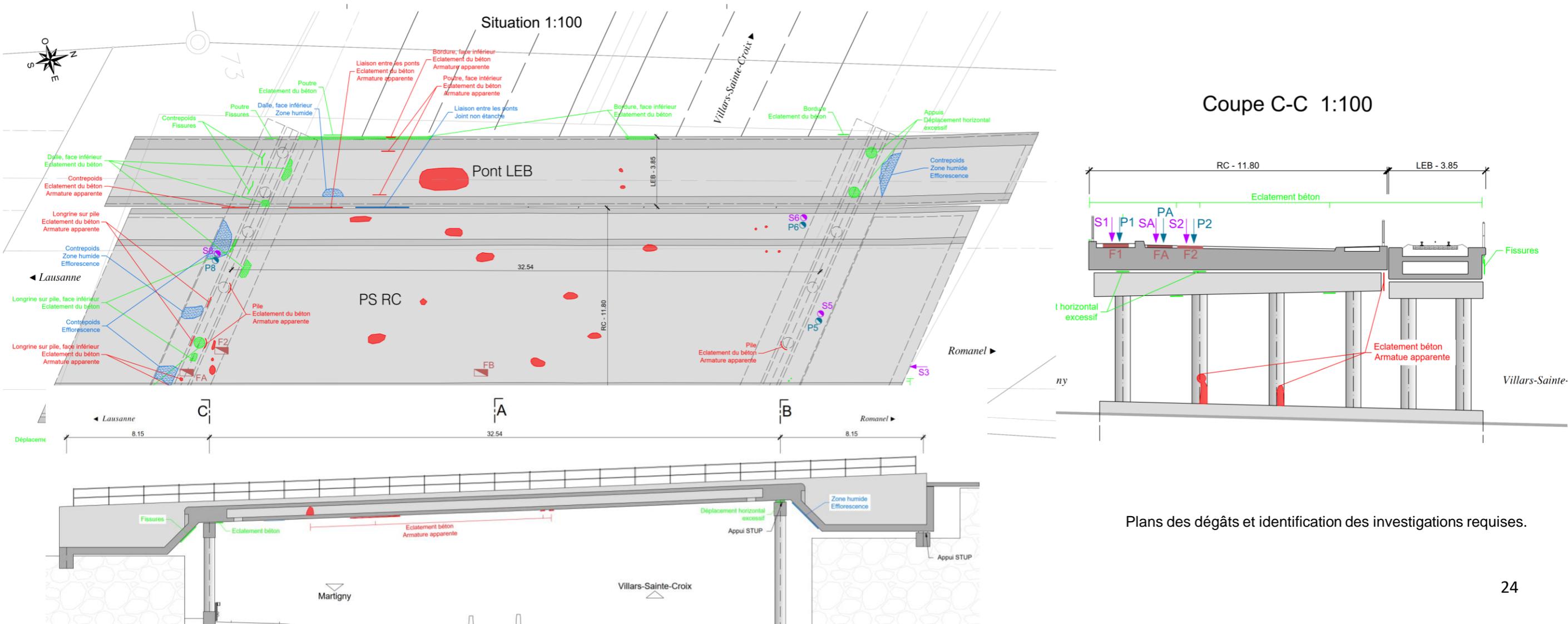


PS CF LEB et PS RC Neuchâtel



# N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages – PS CF LEB Jouxten

## Traitement des observations



## N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages – PS CF LEB Jouxens Traitement des observations



## Déroulement des investigations

### Tâches de l'ingénieur :

- Analyse des bases relatives à la surveillance, notamment plan des dégâts
- Mise en évidence des données manquantes pour la vérification de l'ouvrage, données à compléter par les investigations
- Préparation et organisation des investigations, plans et programme d'investigation
- Coordination avec les entreprises et les laboratoires pour les investigations à mener
- Suivi des investigations
- Analyse des résultats d'investigation

## Objectifs relatifs aux investigations

- Définir l'ampleur et l'étendue d'un dégât
- Comprendre la cause d'un dégât
- Evaluer la probabilité d'évolution du dégât
- Evaluer le degré d'urgence d'intervention à mener

## N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages – PS CF LEB Jouxens Investigations



Dégagement tête de précontrainte.



Prélèvement de carottes pour résistance à la compression.

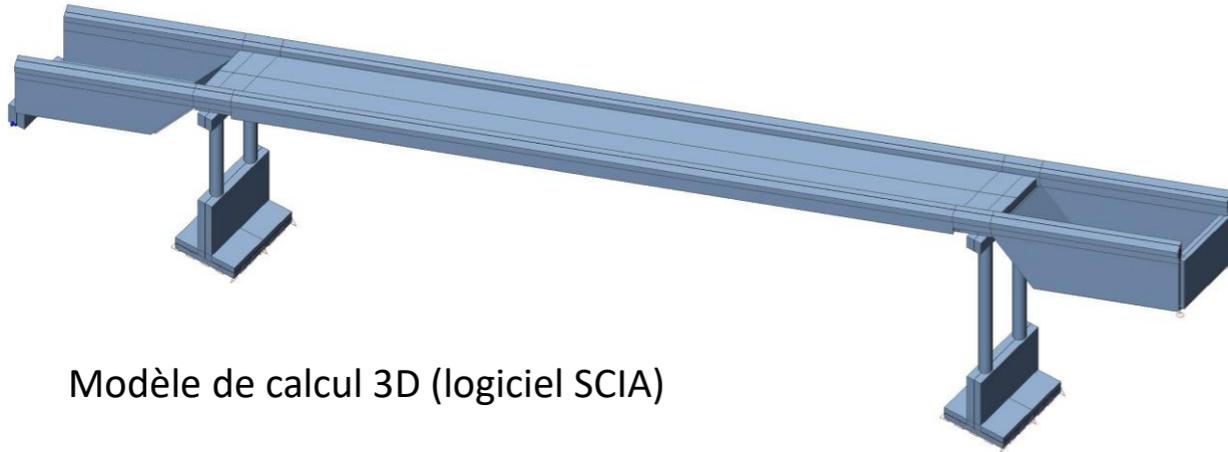


Prélèvement de carottes pour résistance à la compression.



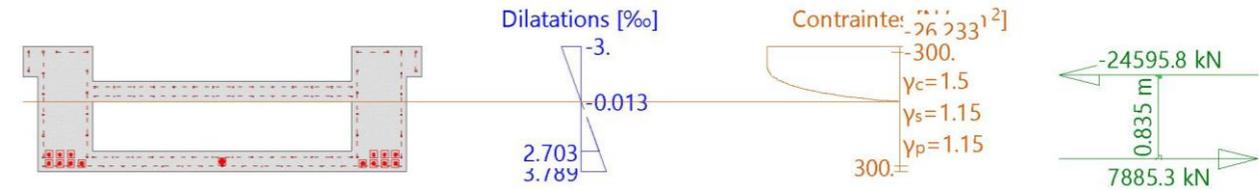
Piquage pour contrôle de l'état de l'armature et de la précontrainte.

# N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages – PS CF LEB Jouxens

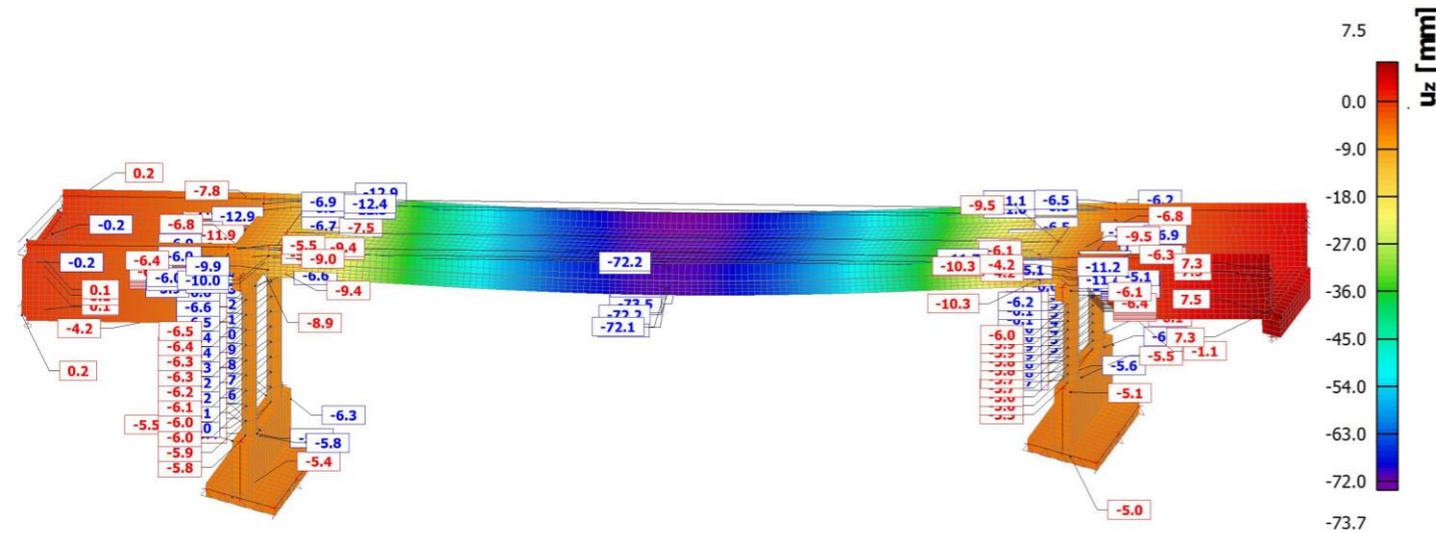


Modèle de calcul 3D (logiciel SCIA)

Échelle 1 : 73.0  
Section transversale POUTRE-X-LONG-TRAVEE (C45/55;IIA;Y1600-RED): Exploitation  $N_x$  constant;  $N_x = -16710.0$ ;  $M_y = 9649.0$ ;  $e_f$

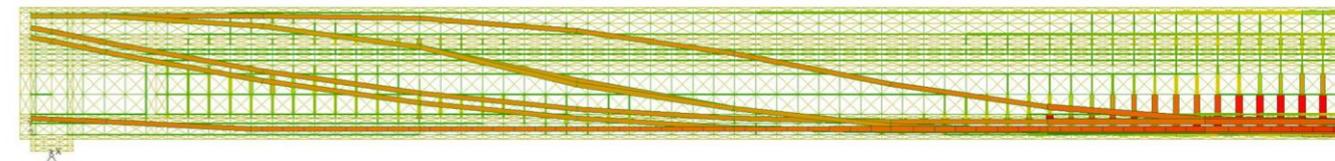


Vérifications en section (logiciel FAGUS)



Déformations de l'ouvrage

Taux d'utilisation des barres



Le rouge symbolise la plastification de l'acier.

Modèle de calcul aux champs de contraintes – élastique-plastique (logiciel EvalS)

## Objectifs des vérifications

### **Contrôler la sécurité structurale et vérifier l'aptitude au service de l'ouvrage en prenant en compte :**

- les informations disponibles dans les dossiers d'archives de l'ouvrage
- les caractéristiques de matériaux déterminées par les investigations

### **Evaluer la durée de vie résiduelle :**

- en prenant en compte les résultats des inspections et des investigations
- en menant des analyses de sensibilité de certains paramètres (perte de section d'armature, de précontrainte,...)

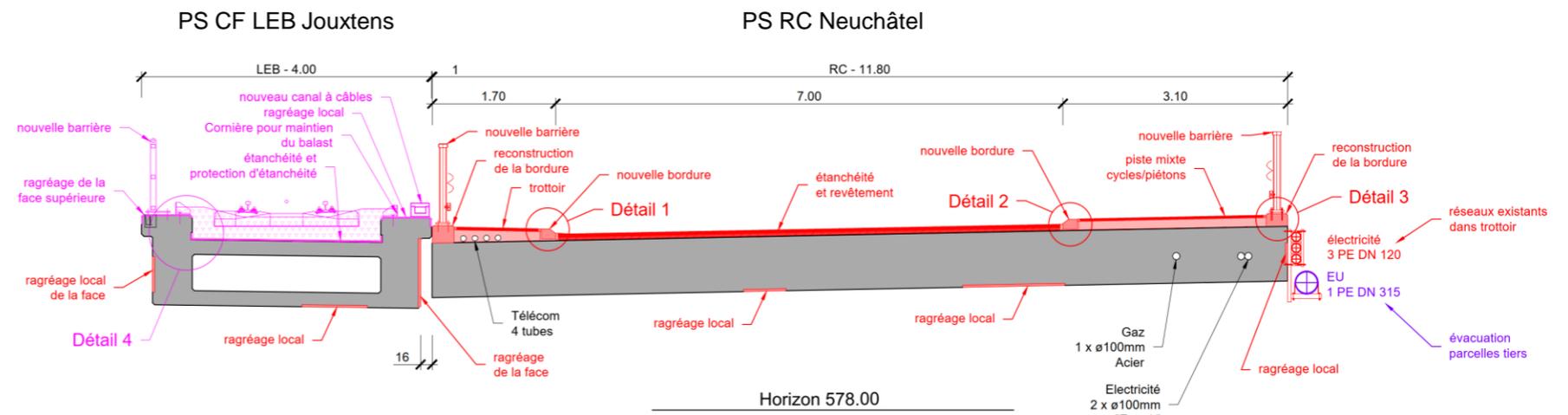
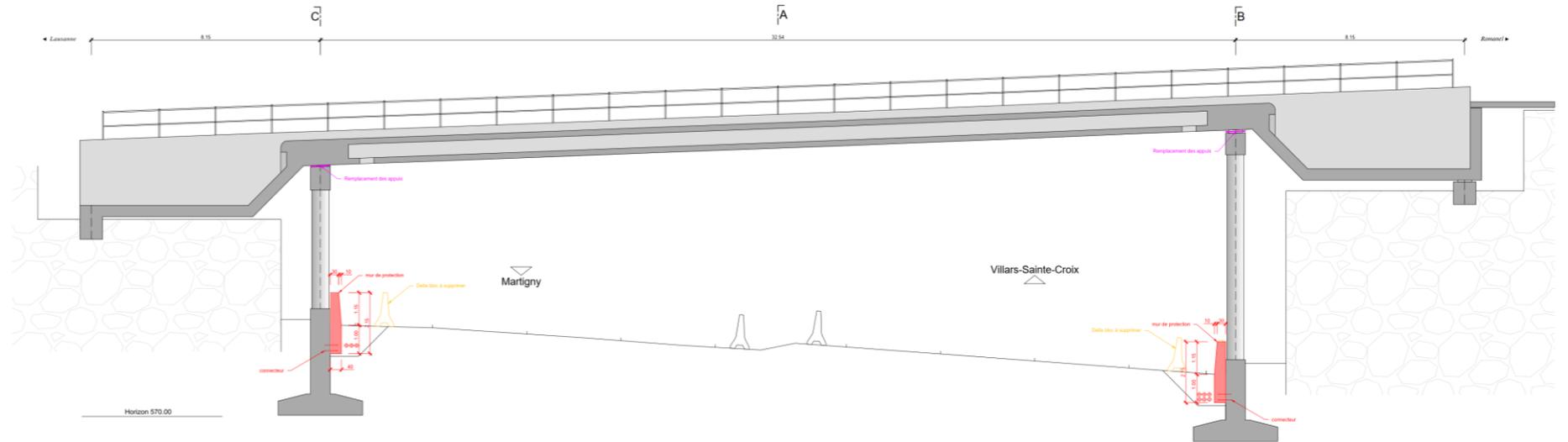
### **Proposer le cas échéant des mesures d'interventions :**

- Proposition de variantes d'intervention
- Analyse multicritère des variantes envisagées
- Proposition d'intervention finale avec évaluation de la proportionnalité de la variante retenue

## N09 – Villars-Ste-Croix – Vennes – Maintien de la substance des ouvrages – PS CF LEB Jouxens

### Interventions principales :

- Protection des piles contre le choc routier.
- Remplacement des appuis en tête des piles.
- Assainissements localisés du béton.
- Rehaussement des bordures au moyen de cornières pour garde-ballast.



## N16 – UPlaN S Taubenloch – Sécurisation provisoire de l'articulation Gerber du Pont Reuchenette D21 (UeMa)



### Maître de l'ouvrage

OFROU, filiale d'Estavayer-le-Lac

### Description du projet

Sécurisation provisoire de l'articulation Gerber au moyen d'une structure métallique externe en « V » réalisée dans le cadre d'une mesure anticipée.

Suppression de l'articulation Gerber prévue dans le cadre des travaux principaux.

### Mandataire

Groupement GVH - E+B - BG

## N16 – UPlaN S Taubenloch – Suppression de l'articulation Gerber des Ponts Bözingfeld D01/D01A (VoMa)



### Maître de l'ouvrage

OFROU, filiale d'Estavayer-le-Lac

### Description du projet

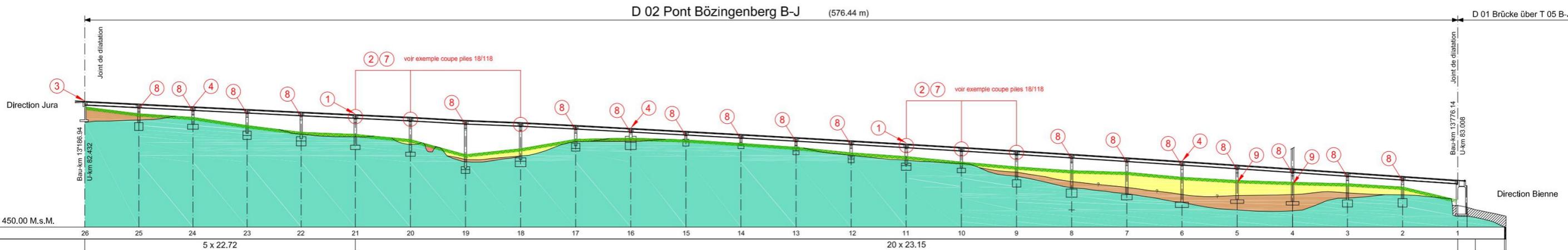
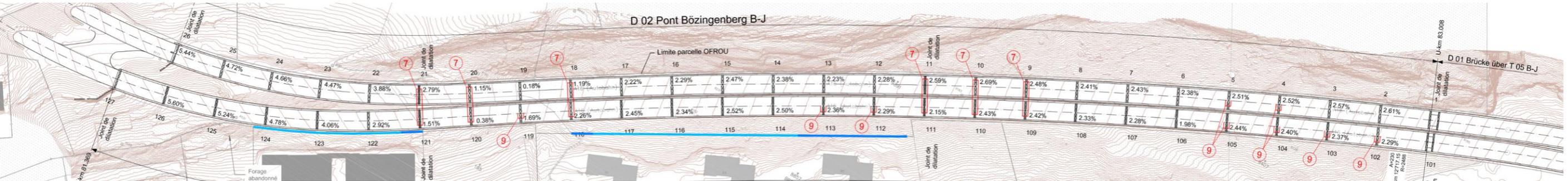
Suppression du joint de dilatation et de l'articulation Gerber au centre des ponts D01/D01a avec rétablissement de la continuité structurale (tôle métallique, précontrainte, dalle de roulement et parapets continus).

Adaptation des culées.

### Mandataire

Groupement SD - GVH - IUB

## N16 – UPLaNS Taubenloch – Assainissement des ponts D02/D02A (Travaux principaux)



### Maître de l'ouvrage

OFROU, filiale d'Estavayer-le-Lac

### Description du projet

Renforcement de 6 piles par pont avec réalisation de liaisons monolithiques avec le tablier pour assurer le comportement longitudinal et transversal de l'ouvrage.

Suppression des joints de dilatation avec rétablissement de la continuité structurale.

Sécurisation au séisme avec réalisation de massifs d'ancrage au pied des piles non fondées dans le calcaire.

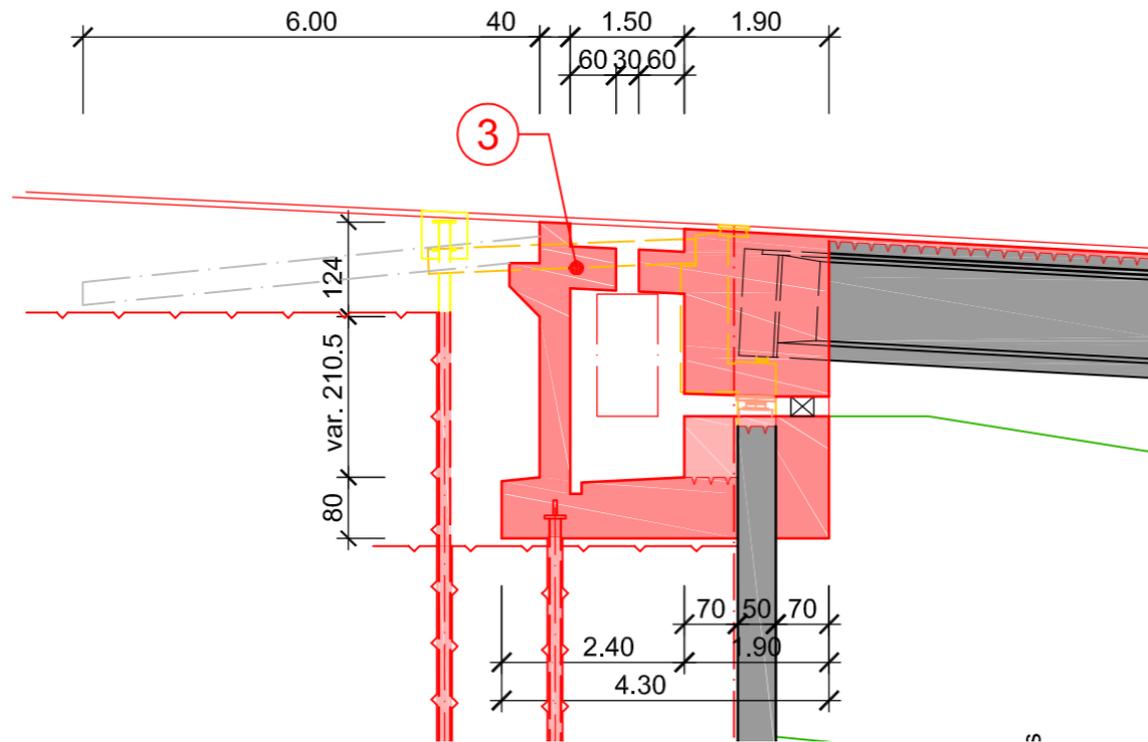
Remplacement de la totalité des appuis.

### Mandataire

Groupement SD - GVH - IUB

## N16 – UPlaN S Taubenloch – Assainissement des ponts D02/D02A (Travaux principaux)

### Culée Jura



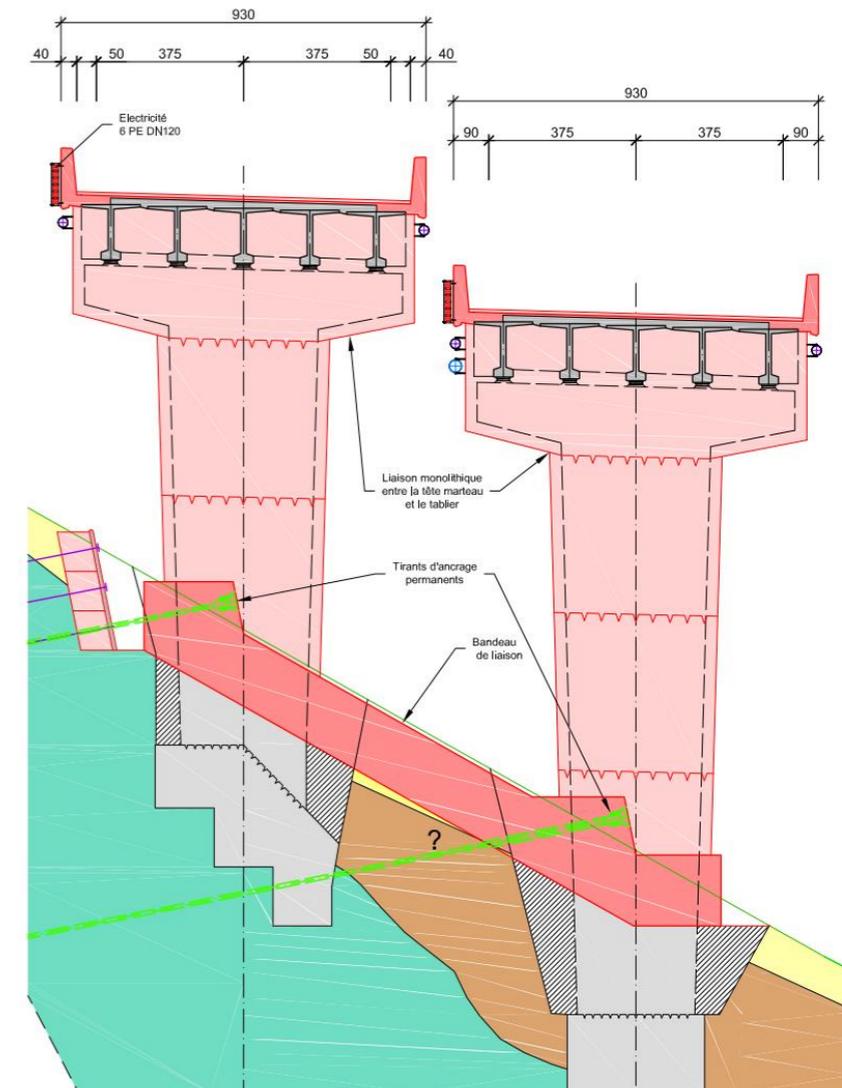
Renforcement de 6 piles par pont avec réalisation de liaisons monolithiques avec le tablier pour assurer le comportement longitudinal et transversal de l'ouvrage.

Suppression des joints de dilatation avec rétablissement de la continuité structurale.

Sécurisation au séisme avec réalisation de massifs d'ancrage au pied des piles non fondées dans le calcaire.

### Coupe piles 18/118

Piles stabilisantes (6x2 piles)



## N16 – UPlaN S Taubenloch – Assainissement des ponts D02/D02A (Travaux principaux)



Avant travaux



Après travaux

Renforcement de 6 piles par pont avec réalisation de liaisons monolithiques avec le tablier pour assurer le comportement longitudinal et transversal de l'ouvrage.

Suppression des joints de dilatation avec rétablissement de la continuité structurale.

## N16 – UPlaN S Taubenloch – Assainissement des ponts D02/D02A (Travaux principaux)



Avant travaux



Après travaux

Remplacement de la totalité des appuis.  
Assainissement des piles marteau et des entretoises