



# IMGC

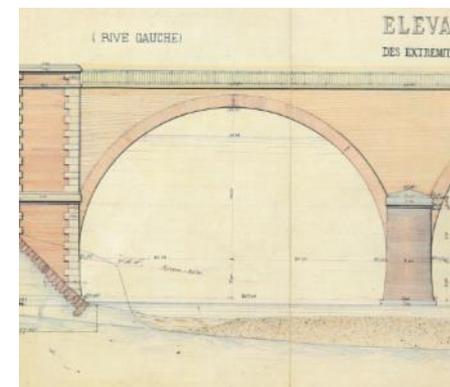
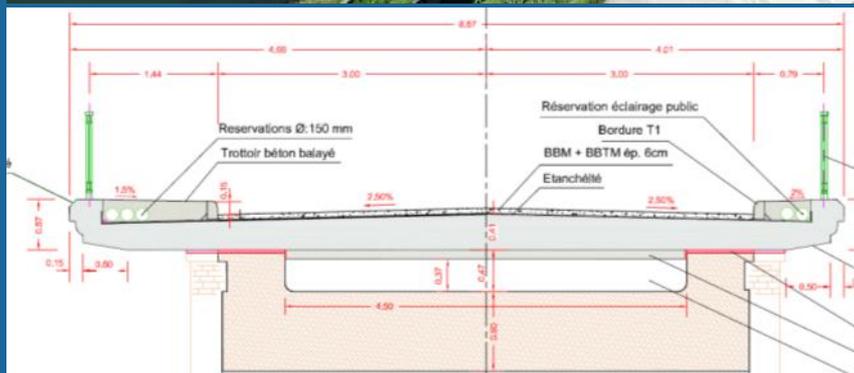
## ADAPTATION DES OUVRAGES EN MAÇONNERIE AUX NOUVELLES CONDITIONS DE SERVICE

Journée Technique  
Vendredi 21 septembre 2017  
à l'Amphithéâtre AUGUSTE BRULÉ



# Etudes et travaux d'élargissement du pont de Reynies – CD 82

Christophe ADRIAN – GETEC Sud Ouest



# Etudes et travaux d'élargissement du pont de Reynies – CD 82

# Sommaire

- 1 - Présentation du pont de REYNIÉS
- 2 – Définition du besoin d'élargissement de l'ouvrage
- 3 - Phase étude
- 4 - Phase travaux
- 5 - Conclusion

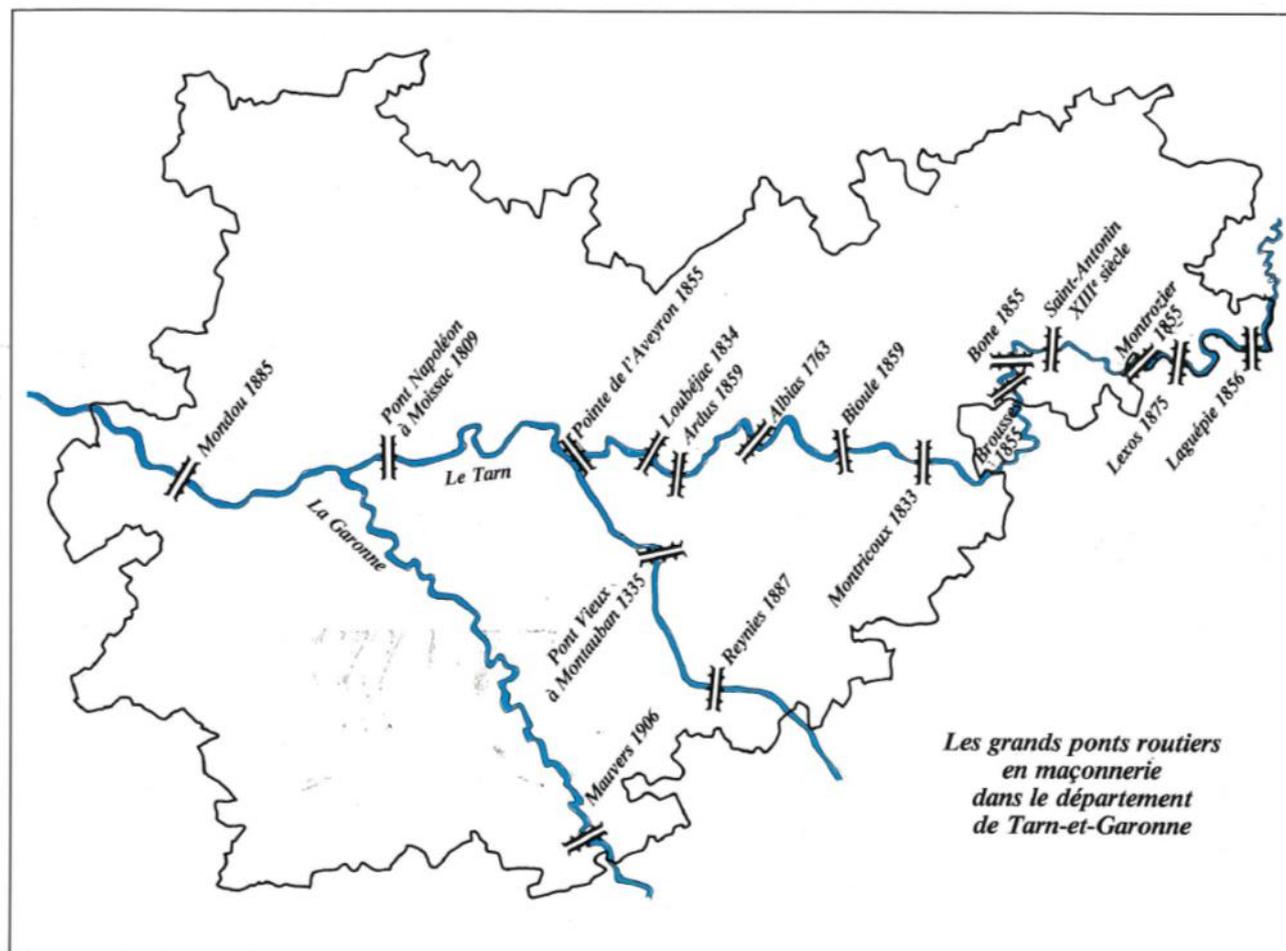
# 1 - Présentation du pont de REYNIÉS

## Patrimoine Ouvrage d'Art du département du Tarn et Garonne

- Plus de 1500 ponts d'ouverture de plus de 2.00 mètres
- 36 ponts franchissant les cours d'eau principaux (Garonne, Tarn et Aveyron) dont
  - 17 ponts en maçonnerie
  - 11 ponts suspendus
  - 8 ponts en béton (béton armé ou béton précontraint)

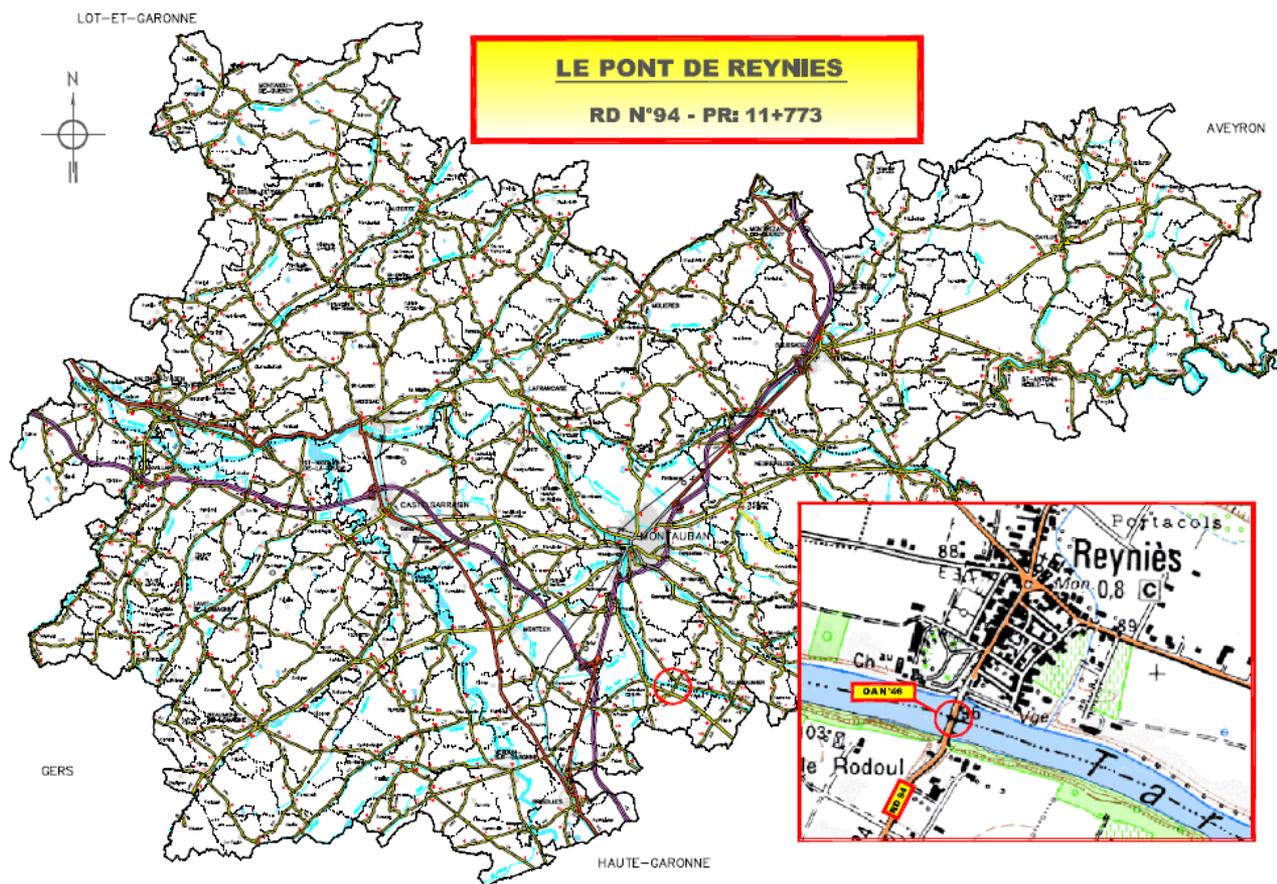
# 1 - Présentation du pont de REYNIÉS

## Patrimoine Ouvrage d'Art du département du Tarn et Garonne



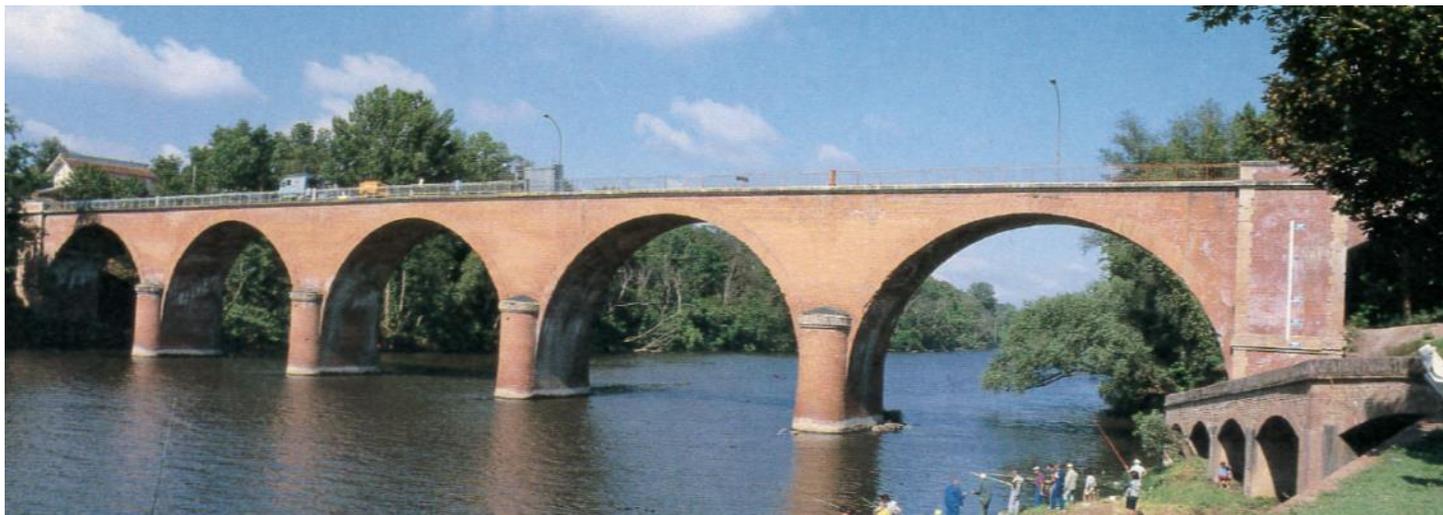
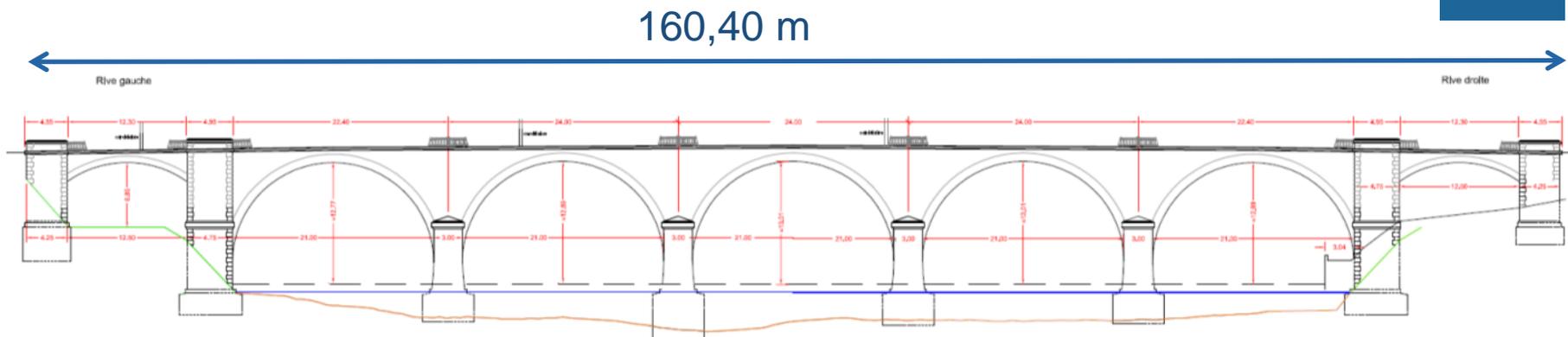
# 1 - Présentation du pont de REYNIÉS

## Situation de l'ouvrage



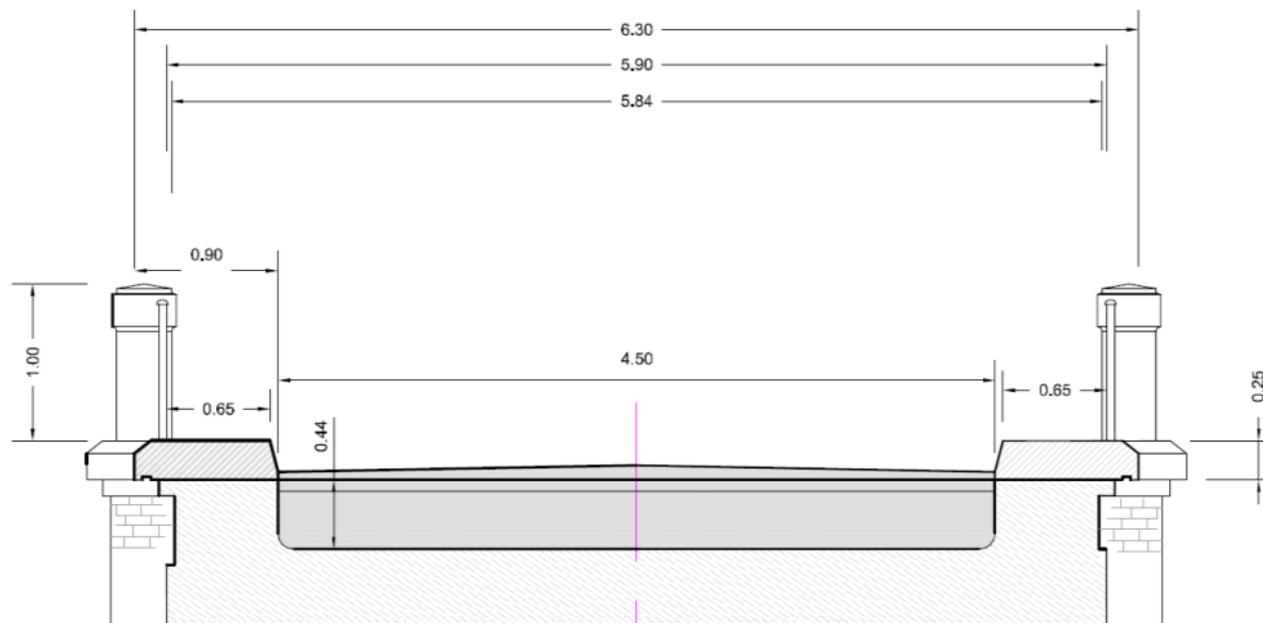
# 1 - Présentation du pont de REYNIES

## Caractéristique de l'ouvrage



# 1 - Présentation du pont de REYNIES

## Caractéristique de l'ouvrage



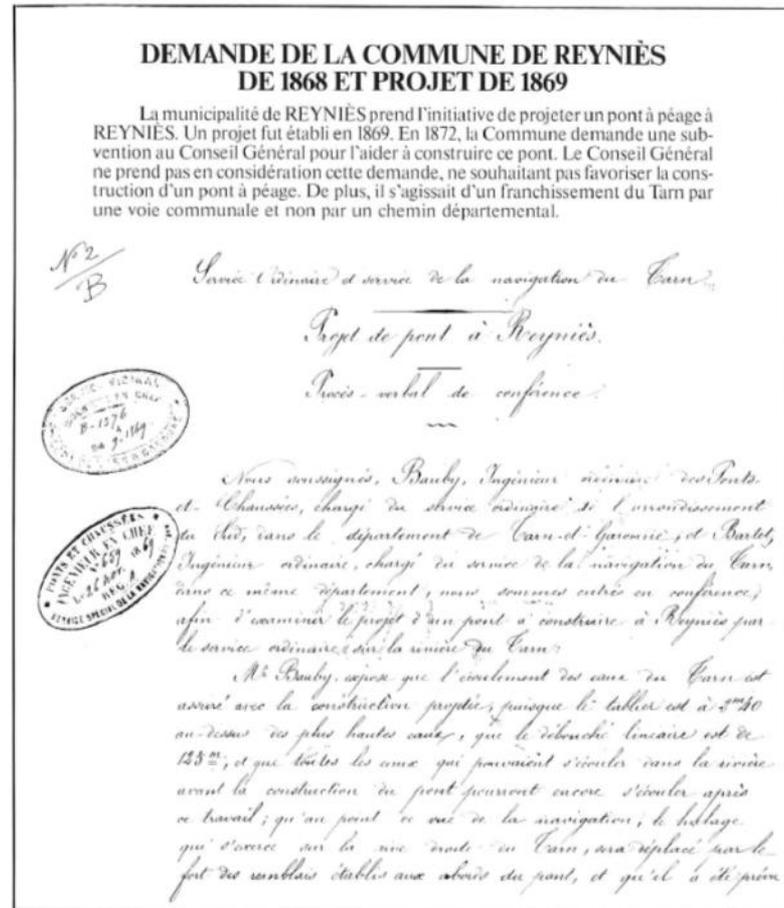
# 1 - Présentation du pont de REYNIÈS

## Un peu d'histoire

**1868** - Décision de la municipalité de REYNIÈS de projeter un pont communal sur le TARN

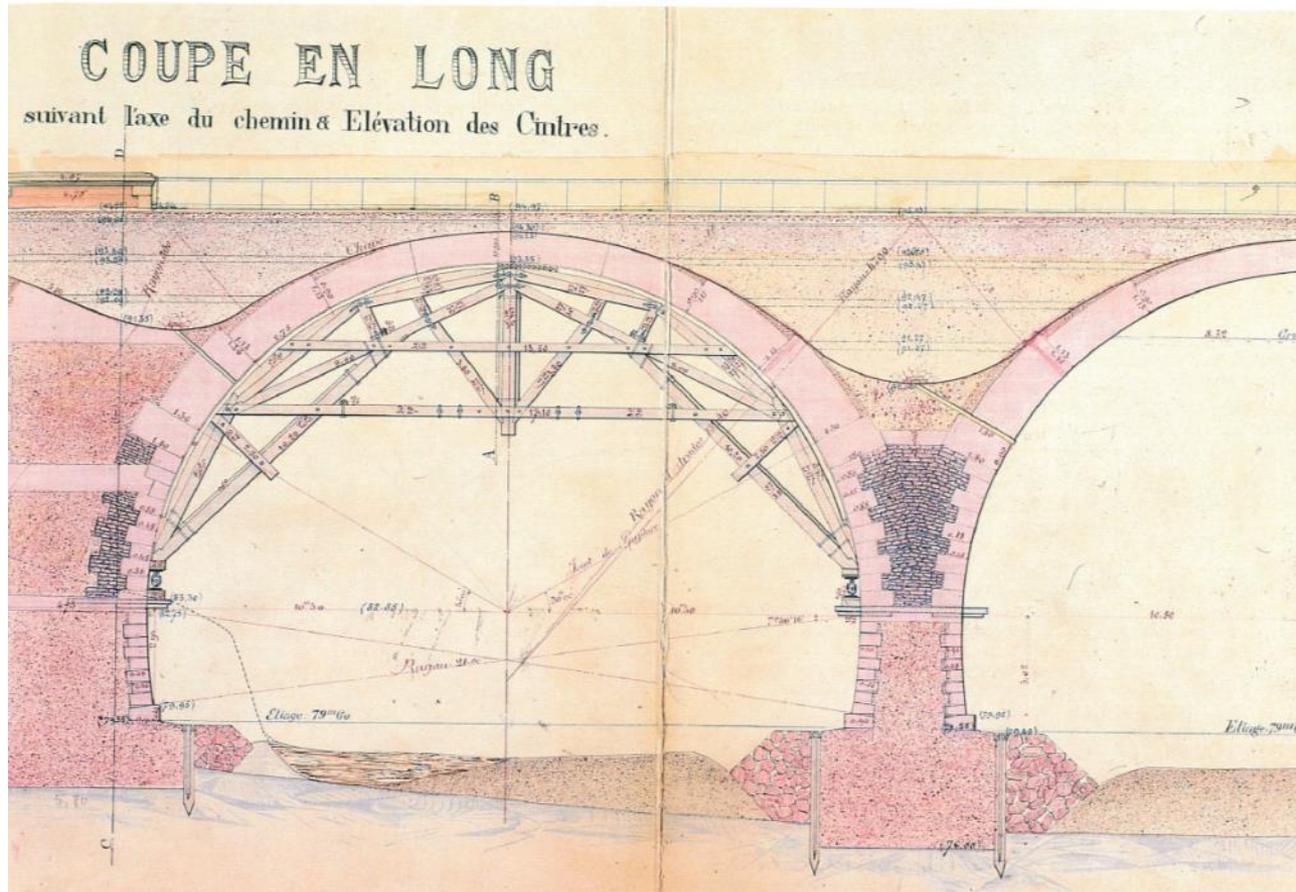
**1883** – Finalisation du projet et choix de l'entreprise pour un coût de 205 000 Francs

**1887** – Ouverture de l'ouvrage à la circulation après 4 ans de Travaux



# 1 - Présentation du pont de REYNIES

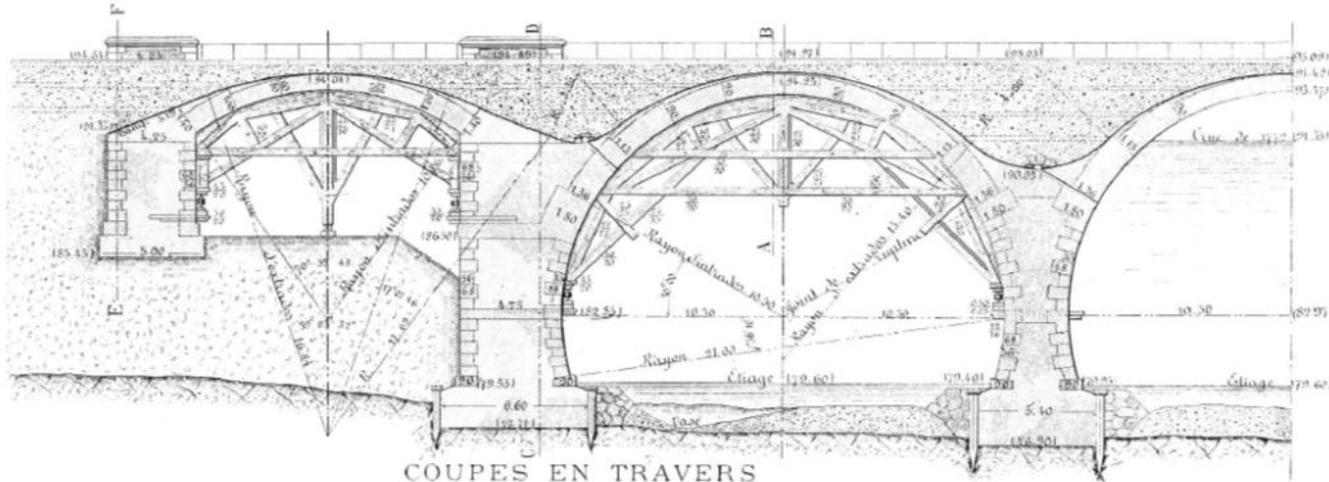
Des documents d'archives bien fournis



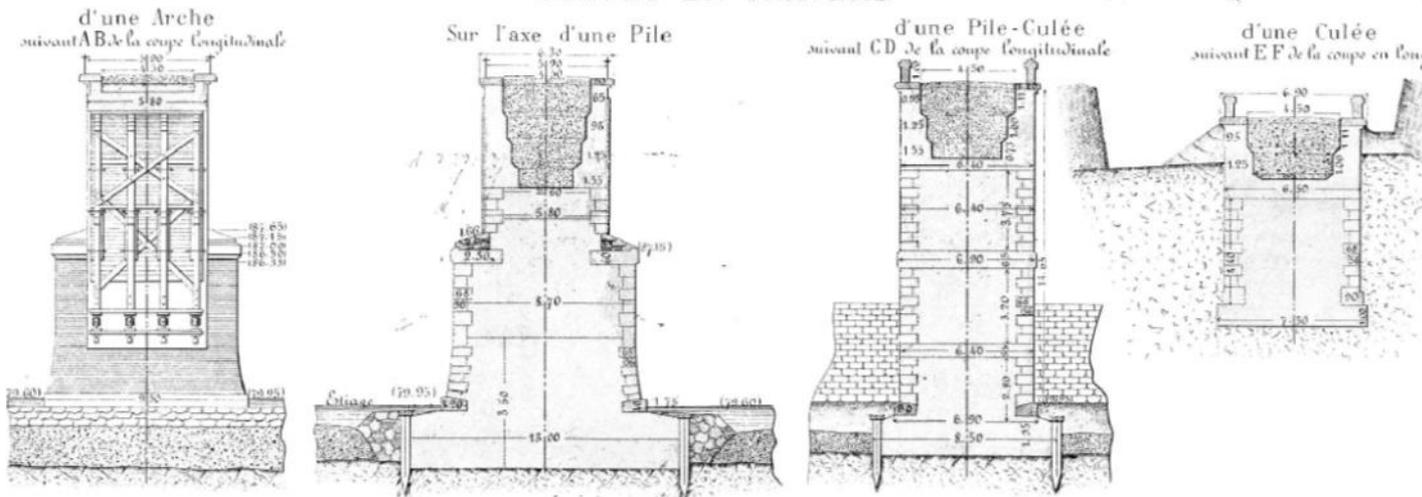
# 1 - Présentation du pont de REYNIES

Des documents d'archives bien fournis

COUPE EN LONG suivant l'axe du chemin et ÉLEVATION DES CINTRES

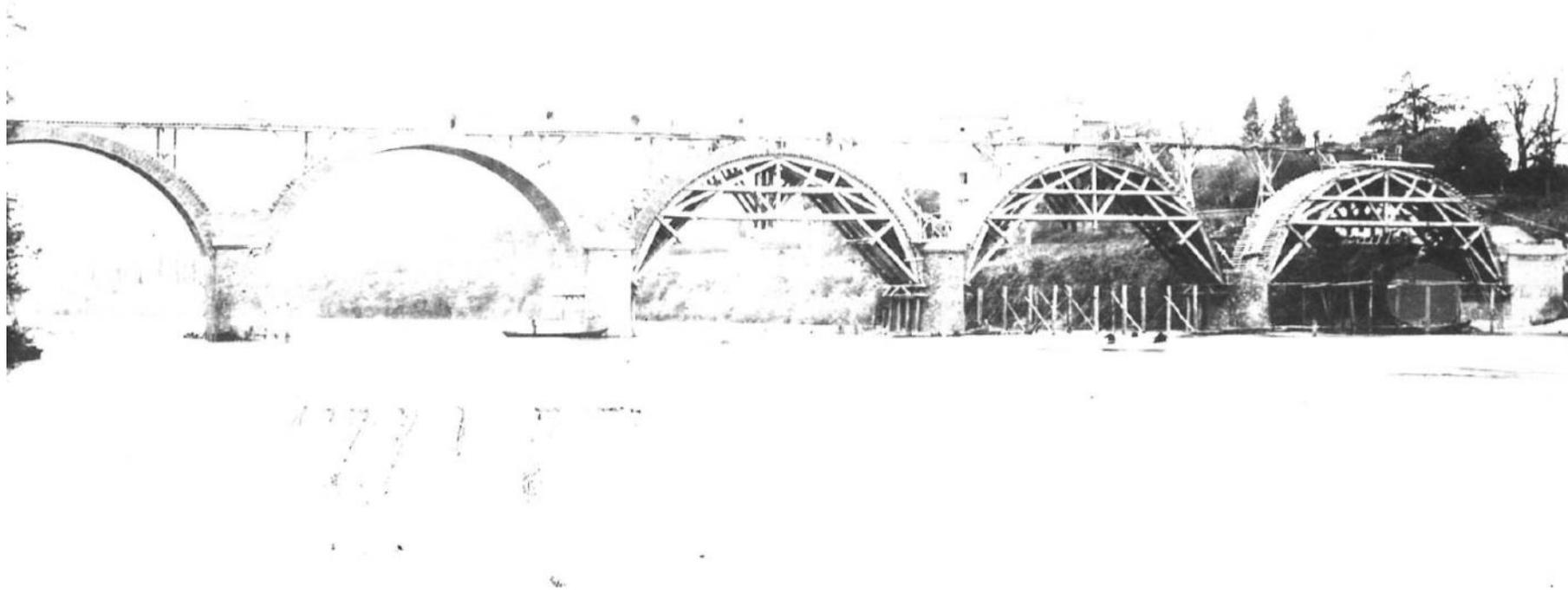


COUPES EN TRAVERS



# 1 - Présentation du pont de REYNIES

Des documents d'archives bien fournis



# 1 - Présentation du pont de REYNIES

Des documents d'archives bien fournis



## 2 – Choix d'élargir l'ouvrage

### Les besoins du maître d'ouvrage

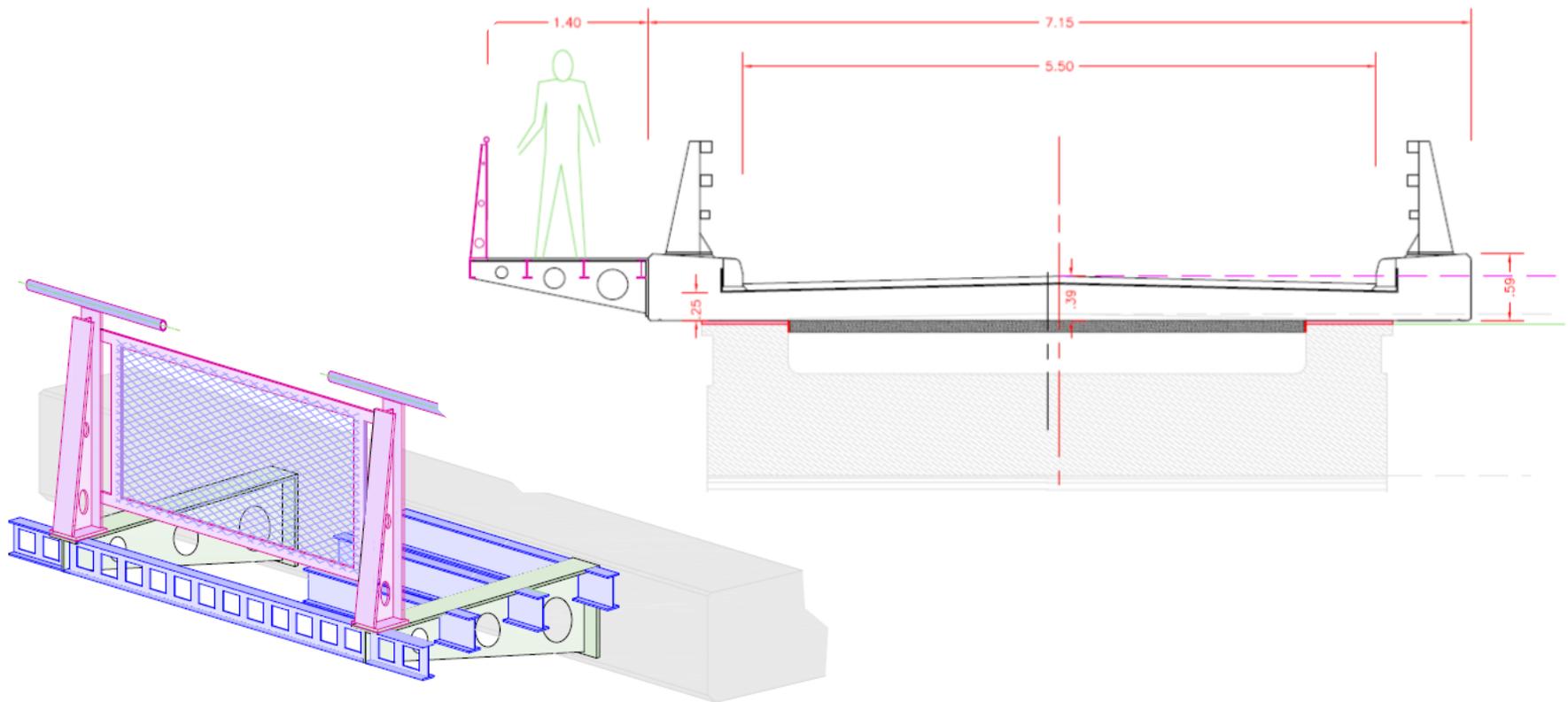
Le pont de REYNIES doit évoluer pour répondre à des nouvelles conditions de service

- Aménagement d'un trottoir d'une largeur utile permettant le passage des PMR (1,40 m) sur l'ouvrage et ses abords
- Porter la largeur utile de chaussée de 4,50 m à 5,50 m minimum
- Raccordement des trottoirs aux rues connexes
- Remise en état de ces superstructures

## 2 – Choix d'élargir l'ouvrage

### Les solutions envisagées par le maître d'ouvrage

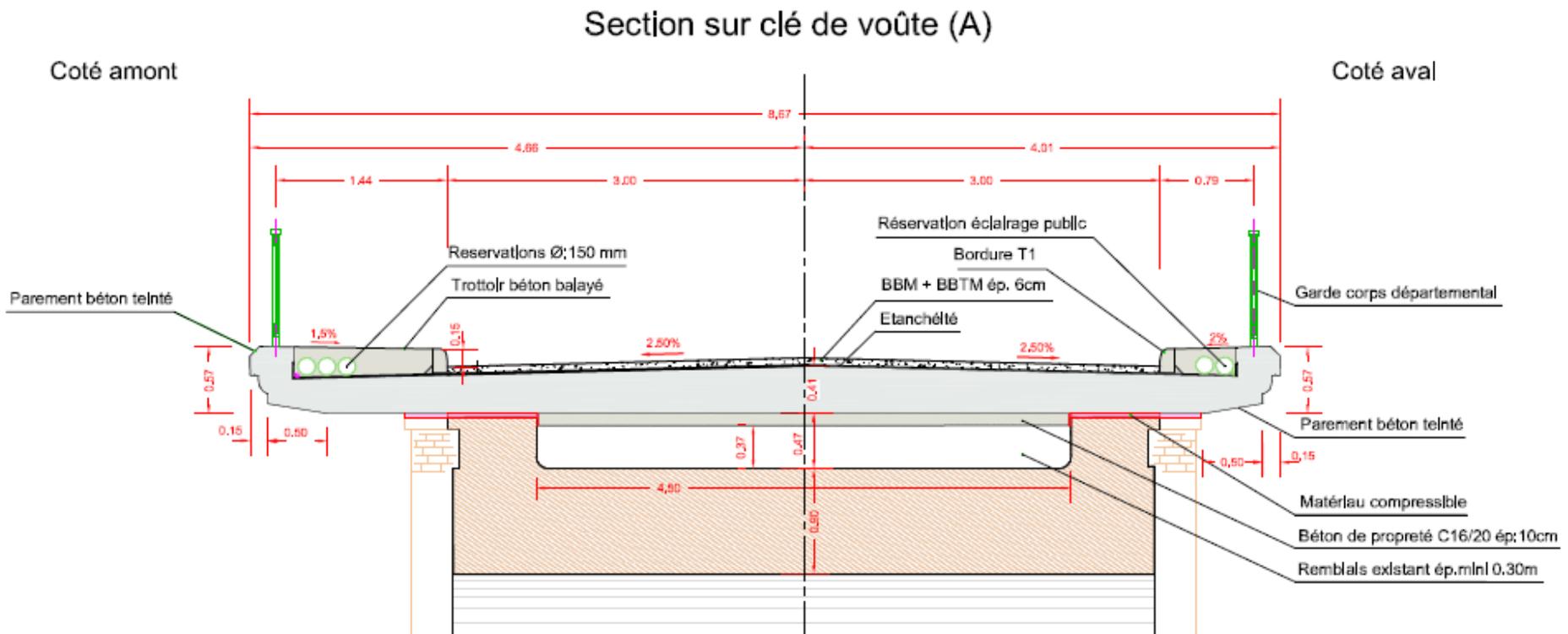
- Solution n°1 (écartée)



## 2 – Choix d'élargir l'ouvrage

### Les solutions envisagées par le maître d'ouvrage

- Solution n°2 (choisie)



# 3 – Les études

## Recueils des données d'archive



### Etape fondamentale

- Analyse critique des plans et autres éléments d'archives (de vieux et beau plans ne sont pas forcément bon...)
- Recueil des données de surveillance (Inspection détaillée, visite Subaquatique,...)
- Recherche des éventuelles investigations particulières (sondages géotechniques,...)
- Historique des travaux d'aménagement et d'entretien

**FAIRE CONNAISSANCE AVEC L'OUVRAGE ET SON HISTOIRE**

# 3 – Les études

## Définition de son état pathologique



- Dans quel état est l'ouvrage actuel ?
- Observe t-on des désordres structurels susceptibles d'évoluer avec le nouvel aménagement ?
- Profitons de l'opération! Quels sont les travaux d'entretien a effectuer sur l'ouvrage ?

# 3 – Les études

## Définition de son état pathologique

Dans notre cas, d'après l'analyse des différentes actions de surveillance :

- Nombreux éclats sur les pierres de trottoir faisant office de plinthe



# 3 – Les études

## Définition de son état pathologique

Dans notre cas, d'après l'analyse des différentes actions de surveillance :

- Nombreux chocs sur plots de garde-corps avec déformation des lisses et barreaudages

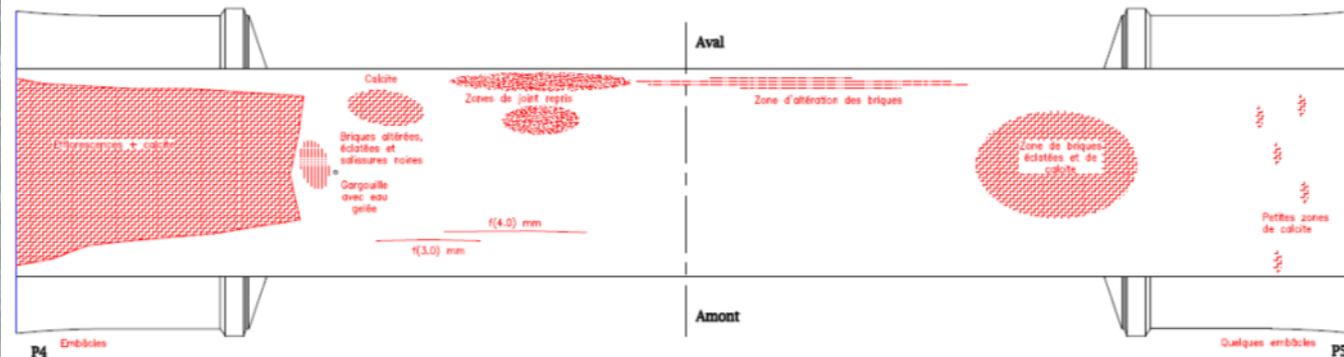


# 3 – Les études

## Définition de son état pathologique

Dans notre cas, d'après l'analyse des différentes actions de surveillance :

- Défaillance d'une étanchéité efficace. Nombreuses efflorescences en rein des voûtes



# 3 – Les études

## Définition de son état pathologique

Dans notre cas, d'après l'analyse des différentes actions de surveillance :

- Altération de la maçonnerie de brique sur les chaînages d'angle et disjointoiements relevés de manière éparses



# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Méthode de calcul utilisé : Programme **VOUTE** basé sur la théorie du calcul à la rupture.

Calcul d'un coefficient de rupture sous chaque cas de chargement (ELU). Ce coefficient représente le facteur multiplicateur à appliquer aux charges pour obtenir la rupture de façon certaine, sur la base des hypothèses retenues.

La limite théorique et arbitraire du coefficient de rupture est de 3, coefficient qui permet de s'approcher des règles empiriques des « Anciens »

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Méthode de calcul utilisé : Programme **VOUTE** basé sur la théorie du calcul à la rupture.

Avantage :

- La méthode ne nécessite que très peu d'hypothèses (géométrie, une limite de rupture de la maçonnerie et un système de chargement)
- l'analyse de l'évolution du coefficient de rupture selon les différents cas de charge permet d'avoir une bonne connaissance du comportement de la voûte

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Méthode de calcul utilisé : Programme **VOUTE** basé sur la théorie du calcul à la rupture.

Inconvénient :

- Réponse relative « imprécise » du calcul
- La méthode ne tient pas compte des effets des dilatations thermiques ni celui des mouvements d'appui (pas nécessaire dans notre cas).



# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Détermination des caractéristiques mécaniques de la maçonnerie (brique + joint)

Deux possibilités :

- 1- Réalisation de carottages au sein de l'ouvrage pour détermination du  $R_c$ 
  - Grande difficulté de prélever des carottes exploitables pour la réalisation des essais.
  - Prélèvement à faire dans le « bon sens de fonctionnement » de la maçonnerie.

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Détermination des caractéristiques mécaniques de la maçonnerie (brique + joint)

Deux possibilités :

- 2 - Détermination à partir d'abaque suivant l'état des mortiers

Résistance caractéristique à la compression simple des pierres (MPa)	Résistance caractéristique à la compression simple de la maçonnerie suivant les mortiers (MPa)				Résistance moyenne à la compression simple des pierres (MPa)
	M4	M3	M2	M1	
2,0	1,3	1,4	1,4	1,4	2,5
5,0	2,9	3,3	3,4	3,5	6,5
7,5	3,5	4,1	4,5	4,9	10,0
10,0	4,1	4,7	5,3	6,2	13,0
→ 15,0	5,1	5,9	6,7	<b>8,2</b>	20,0
20,0	6,1	6,9	8,0	9,7	26,5
30,0	7,2	8,6	10,2	12,0	40,0
40,0	8,1	10,4	12,0	14,3	53,0
60,0			16,0	18,8	80,0

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Définition des différentes actions de chargement

### 1 – Permanente

- Maçonnerie
- Remblais
- Béton de propreté
- Béton d'élargissement
- Etanchéité
- Garde-corps
- Trottoirs

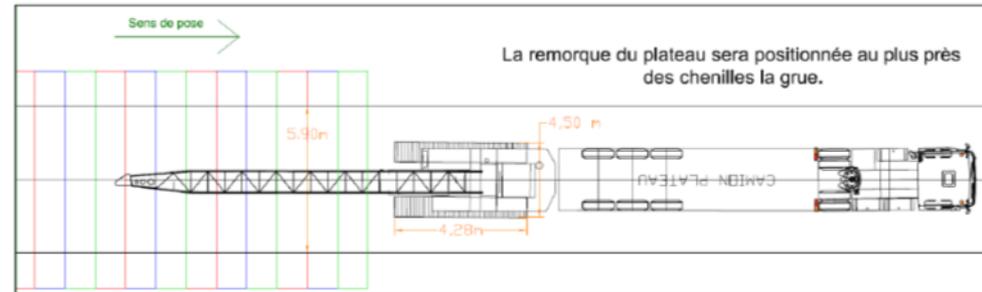
# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Définition des différentes actions de chargement

### 2 - Provisoire

- Descente de charge au droit des chenilles de la grue de manutention des éléments béton armé préfabriqué (à vide, lors du déchargement, rotation à 45°, rotation à 90°,...)
- Semi-remorque alimentant le chantier avec les dalles préfabriquées



# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Définition des différentes actions de chargement

### 3 – Exploitation

Application des charges de l'Eurocode 1 (pour le dimensionnement des dalles d'élargissement en béton armé ET la vérification des voûtes en maçonnerie)

Emplacement	Tandem TS	Système UDL
	Charges d'essieu $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (ou $q_{sk}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Voie n° 1	300	0
Voie n° 2	200	2,5
Voie n° 3	100	2,5
Autres voies	0	2,5
Aire résiduelle ( $q_{rk}$ )	0	2,5

Figure n°12 : Valeurs caractéristiques du modèle de charge LM1

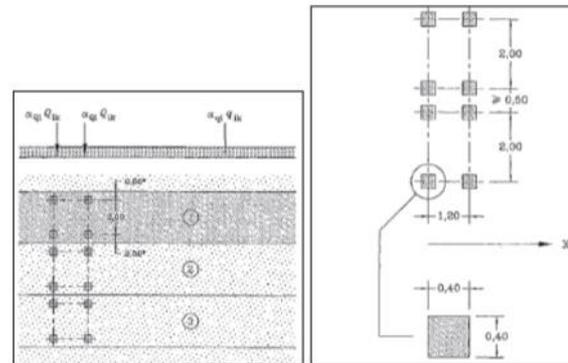


Figure n°13 : Application du modèle de charge LM1

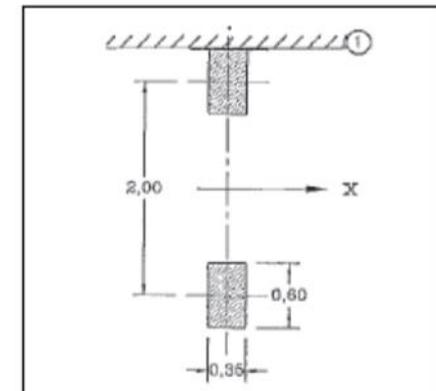


Figure n°14 : Application du modèle LM2

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Mode de répartition des charges

Vérification « Voûte » = calcul 2D d'une tranche de largeur 1 m

Nécessité de répartir précisément les charges longitudinalement  
et transversalement

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Mode de répartition des charges

### 1 – Transversale

- Définition de la répartition des contraintes transversales sur le remblai par un modèle poutre sur appui élastique
- Pression de référence prise à 50 cm du nu intérieur des murs tympans

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

### Mode de répartition des charges

#### 1 – Transversale

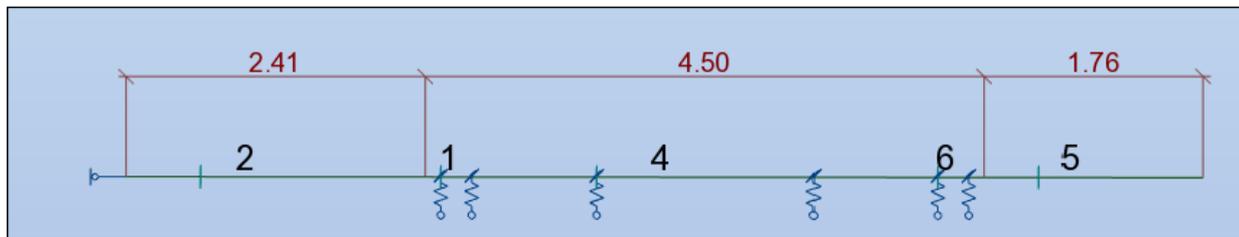
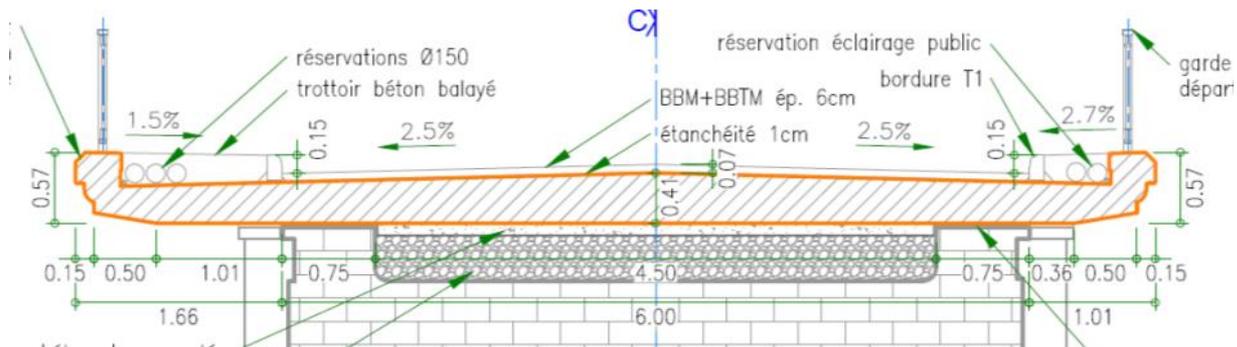


Figure n°22 : Modélisation de la dalle sur remblai et numéro des barres

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

### Mode de répartition des charges

#### 1 – Transversale

LM1 UDL voie n°1 :

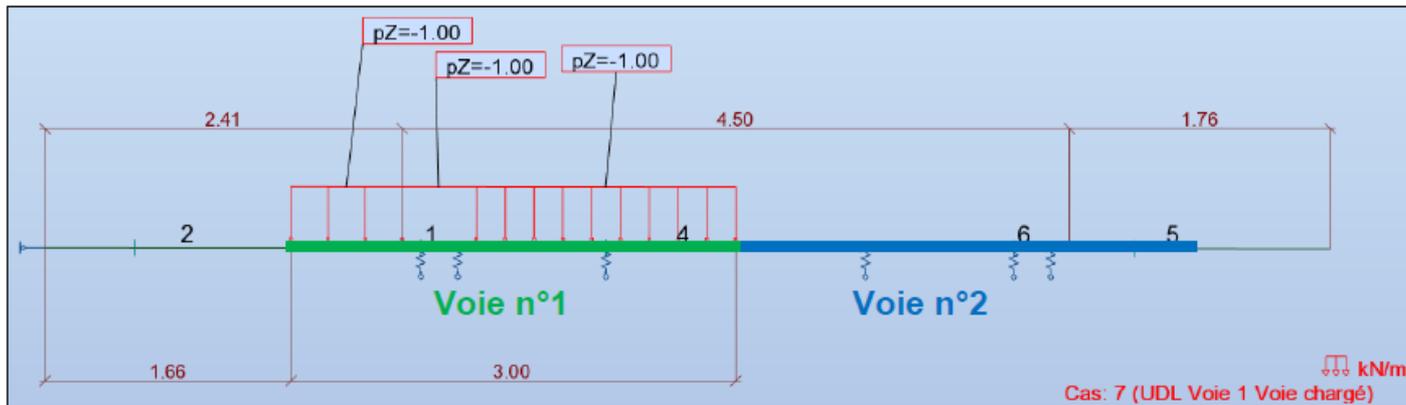


Figure n°45 : Positionnement des charges UDL sur la voie n°1 voie complètement chargé

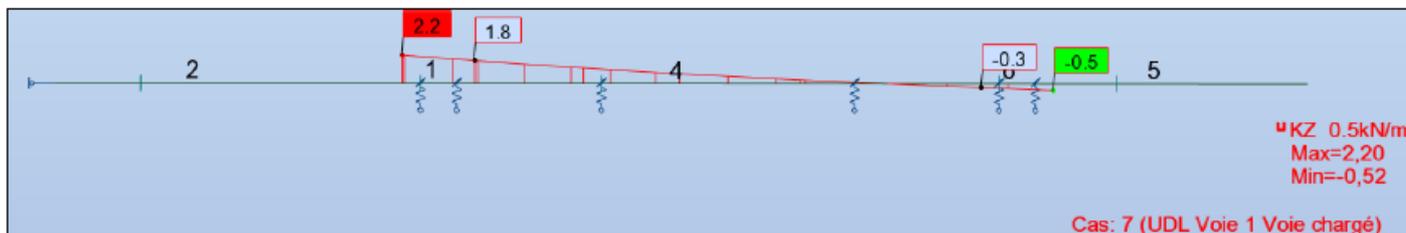


Figure n°46 : Réaction du sol sous chargement UDL sur la voie n°1

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

### Mode de répartition des charges

#### 2 – Longitudinale

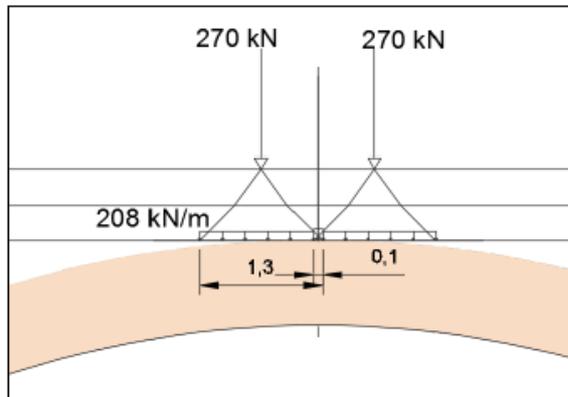


Figure n°15 : Schéma de la diffusion longitudinale de la charge TS sur

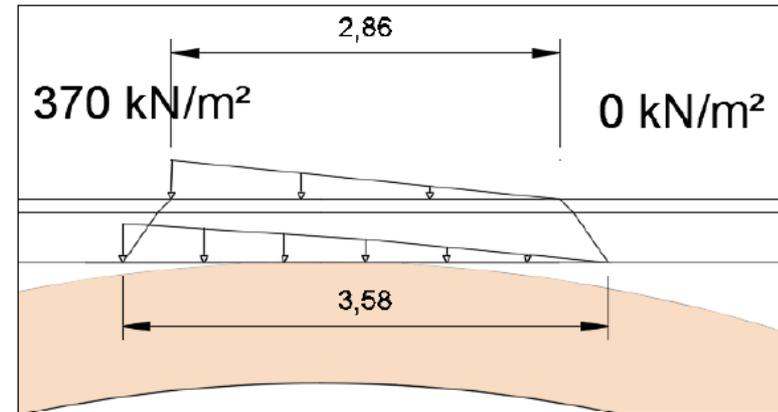


Figure n°18 : Schéma de la diffusion longitudinale de la grue lors du déchargement du camion°

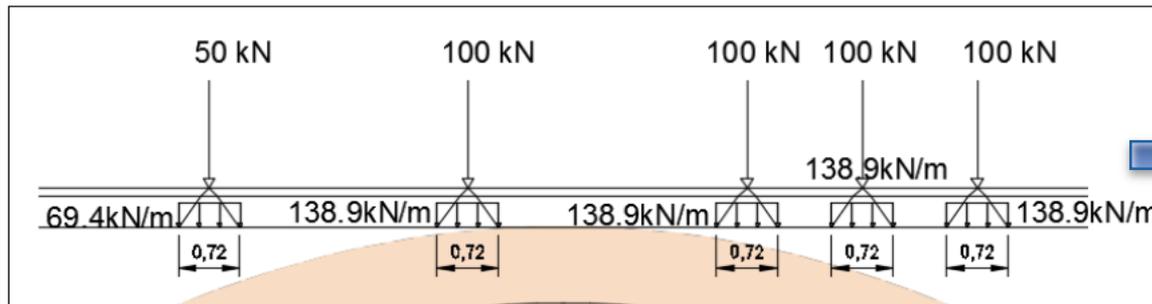


Figure n°21 : Schéma de la diffusion longitudinale du camion plateau

Ne pas oublier les cas de charge dissymétriques

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Les résultats :

Résumé du calcul		
N°	Titre du calcul	Coeff .
1	ELU N°1	2,143
2	ELU N°2	1,587
3	ELU N°3 POSITION 1	0,426
4	ELU N°3 POSITION 2	0,359
5	ELU N°3 POSITION 3	0,623
6	ELU N°3 POSITION 4	1,147
7	ELU N°3 POSITION 5	0,354
8	ELU N°3 POSITION 6	0,217
9	ELU N°3 POSITION 7	0,453
10	ELU N°3 POSITION 8	1,064



Coefficients de sécurité obtenus très faibles < 3

# 3 – Les études

## Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

QUE FAIRE ?



Affiner les données d'entrée

➔ NON. Dans notre cas la géométrie et les caractéristiques mécaniques de la maçonnerie sont bien définies.

Changer de méthodes de calculs pour assurer une justification

➔ NON. Les coefficients de sécurité sont bien trop faibles

Dimensionner une solution de renfort

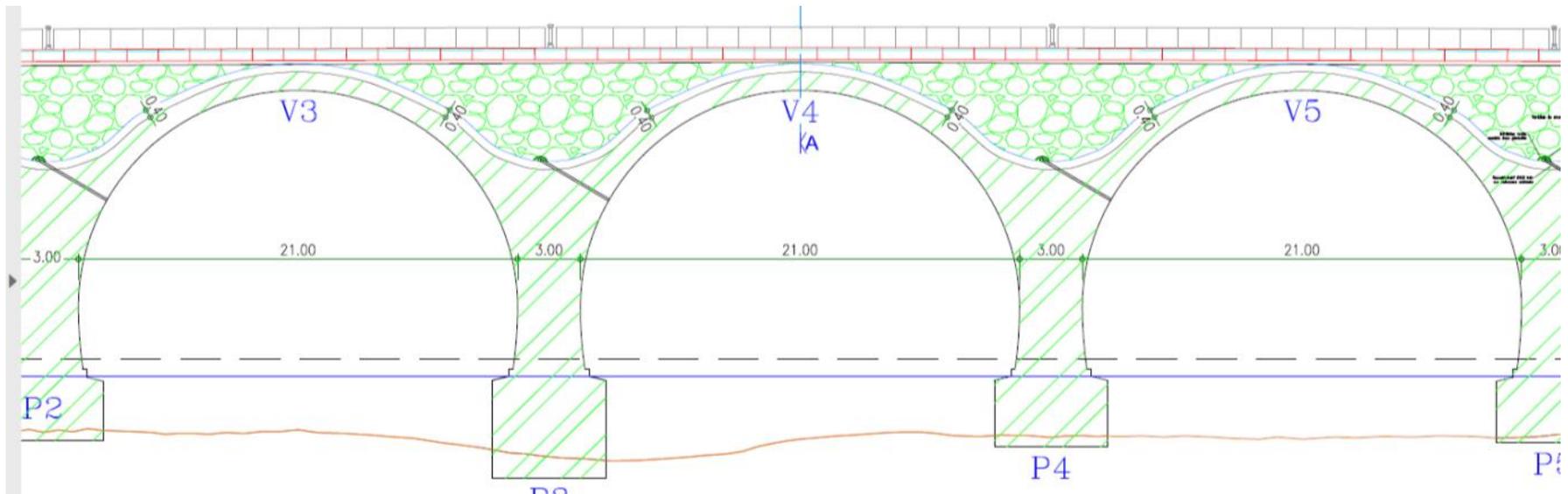
➔ OUI, mais celle-ci ne doit pas dénaturer le mode de fonctionnement actuel de l'ouvrage

# 3 – Les études

## Etude de la solution de renfort

### Choix retenu pour renforcer l'ouvrage

- Epaissement des voûtes par une coque béton NON ARME d'épaisseur 40cm sur l'extrados



# 3 – Les études

## Etude de la solution de renfort

### Choix retenu pour renforcer l'ouvrage

Avantage de la solution d'un renforcement par l'extrados :

- Pas d'intervention lourde dans le lit de la rivière
- Evite « d'enfermer » la maçonnerie à l'arrière d'une coque en béton (pérennité des briques ?)

Inconvénient majeur :

- Difficulté d'assurer la dépose de la totalité des remblais de l'ouvrage avec des voûtes plein cintre

# 3 – Les études

## Etude de la solution de renfort

Les résultats avec renfort :

N°	Titre du calcul	Coeff .
1	ELU N°1	7,842
2	ELU N°2	5,809
3	ELU N°3 POSITION 1	3,486
4	ELU N°3 POSITION 2	3,297
5	ELU N°3 POSITION 3	3,802
6	ELU N°3 POSITION 4	4,731
7	ELU N°3 POSITION 5	3,489
8	ELU N°3 POSITION 6	3,328
9	ELU N°3 POSITION 7	3,657
10	ELU N°3 POSITION 8	4,822



Coefficients de  
sécurité  
satisfaisant > 3

Les situations en phase provisoire sont les plus pénalisantes (phase de terrassement et utilisation de moyens lourds de manutention)

# 3 – Les études

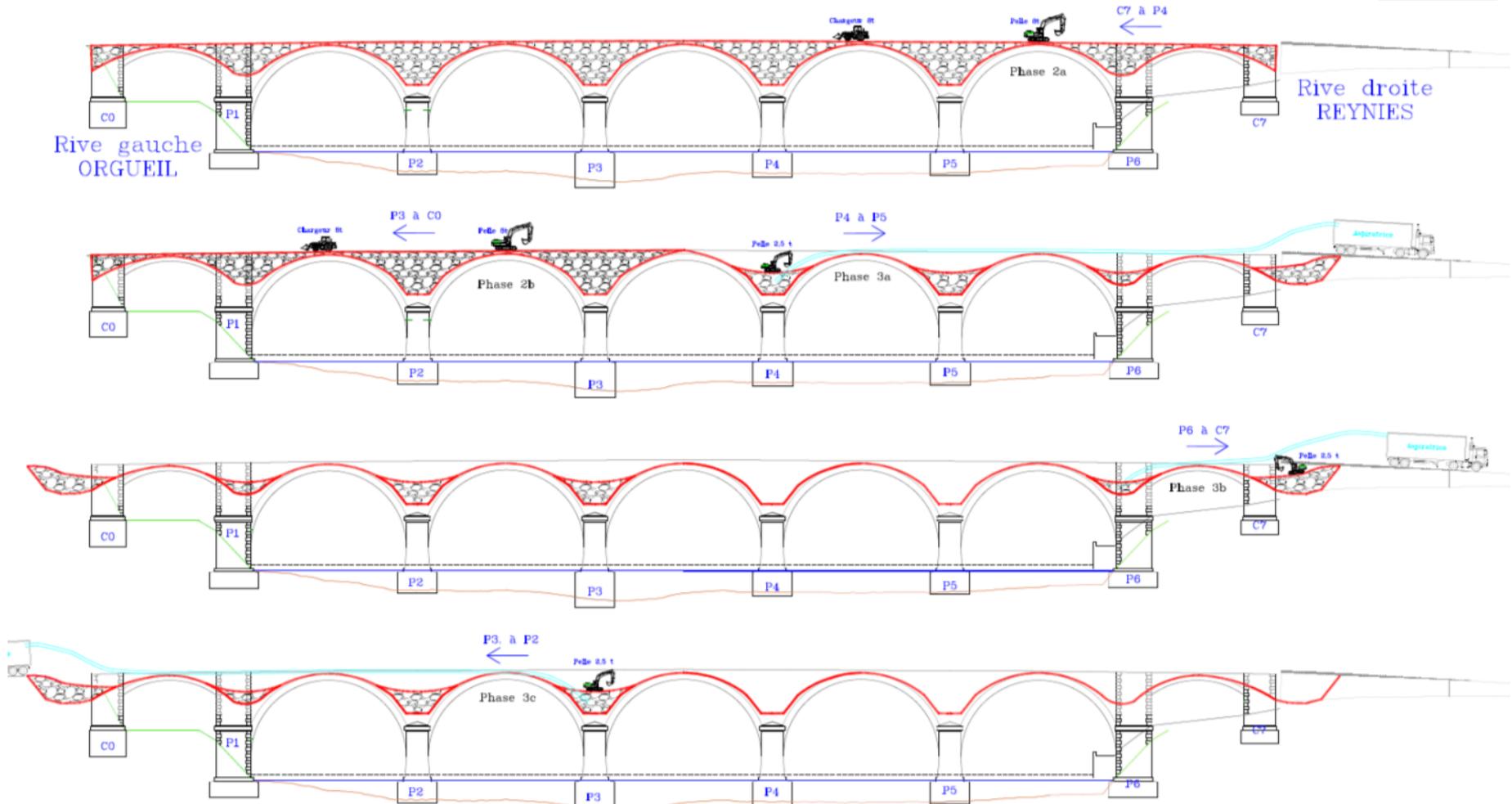
## Etude de la solution de renfort

### Limite du raisonnement et parti pris :

- Deux matériaux au sein d'une même voûte avec des caractéristiques mécaniques différentes (maçonnerie de brique et béton non armé).
- Choix volontaire de ne pas épingler la coque en béton avec l'extrados de la voûte afin de ne pas la fragiliser (doute sur le fonctionnement homogène – superposition de rouleau)
- Nécessiter d'armer sommairement la coque en béton pour permettre la mise en œuvre par béton projeté.

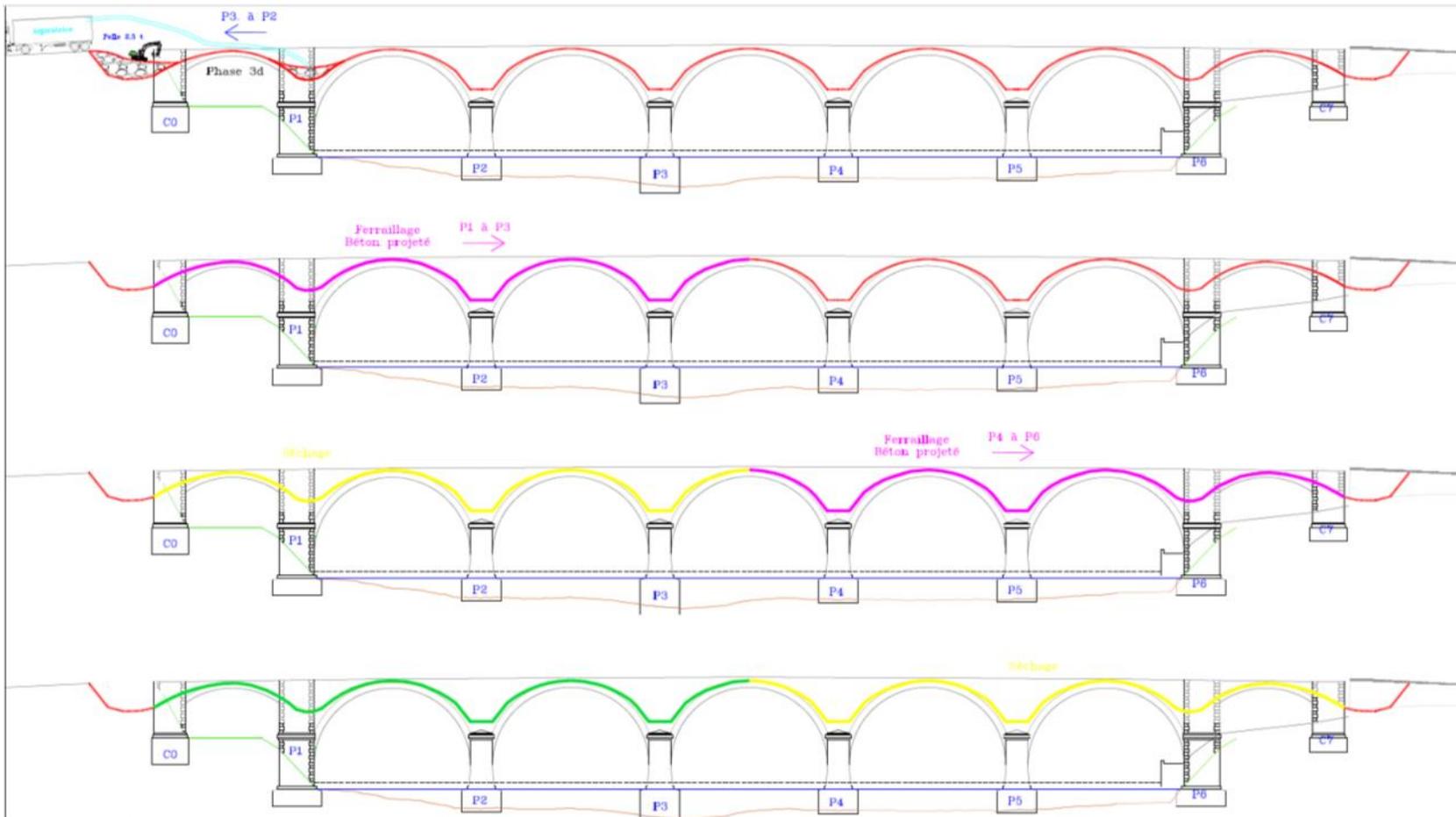
# 4 – Les travaux

## Définition du phasage de travaux



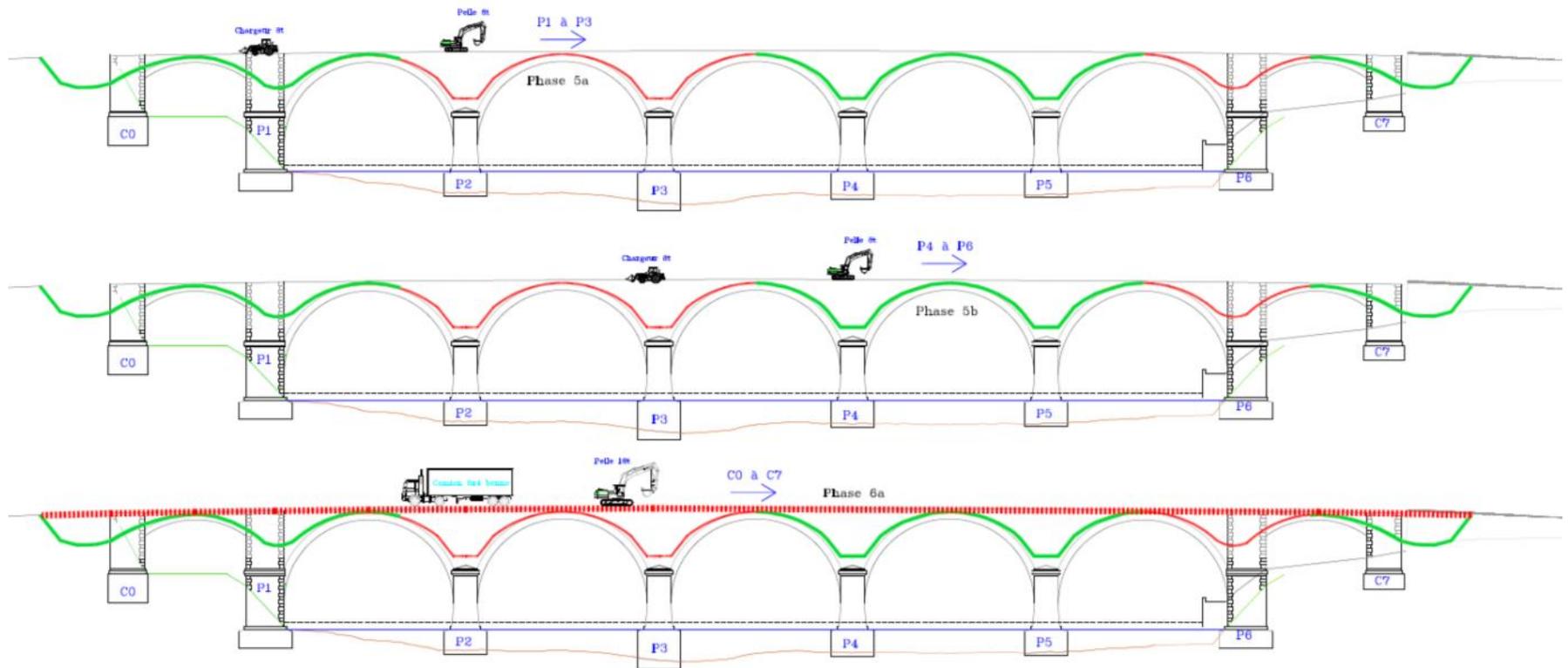
# 4 – Les travaux

## Définition du phasage de travaux



# 4 – Les travaux

## Définition du phasage de travaux



# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Refouillement et remplacement des briques altérées, régénération des maçonneries

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Décaissement de la chaussée et dépose des dispositifs de retenue

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Pendant ce temps là : Préfabrication des dalles d'élargissement

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Décaissement soignée des remblais : première phase

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Première phase de décaissement terminée

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Deuxième phase décaissement avec mini-pelle et aspiratrice

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Stockage des terres aux abords de l'ouvrage

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Ouvrage mis à nu

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Réhabilitation du système de drainage d'origine et ferrailage

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Préparation du massif de culée

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Bétonnage des massifs de culée

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Réalisation de la coque en béton projeté

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Réalisation de la coque en béton projeté

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Remblaiement à la mini-pelle

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Compactage soigné par couche

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Toujours avec une adaptation des moyens

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Reconstitution des maçonneries en tête des tympans

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Réalisation du béton de propreté

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



En parallèle : Reconstitution des maçonneries en cours

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Pose des dalles préfabriquées

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Ferrailage et préparation de la phase de bétonnage

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Bétonnage des clavages

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Pose des garde-corps

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Etanchéité et trottoirs

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Chaussée

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Choix de « segmenter » la dalle ➡ Création de joints de chaussée et de trottoir

# 4 – Les travaux

## Quelques photos



Volonté de la part de la maîtrise d'ouvrage d'effectuer des travaux de mise en lumière pour mettre en valeur son patrimoine

# 4 – Les travaux

## Les acteurs et quelques chiffres

Maitrise d'ouvrage et maitrise d'oeuvre :	 <p>TARN-ET-GARONNE LE DÉPARTEMENT.fr</p>
Entreprise :	 <p>SOL TP SOLTECHNIC GROUP Travaux Publics et Particuliers</p>
Bureau d'étude :	 <p>getec SUDOUEST</p>

# 4 – Les travaux

## Les acteurs et quelques chiffres

Coût des travaux (TTC) :	<b>1 695 952,23 €</b>
Durée :	<b>9,5 mois</b>
Ratio coût/surface d'élargissement :	<b>1 221 €/m<sup>2</sup></b>
Volume de béton « dalle d'élargissement » :	<b>500 m<sup>3</sup></b>
Volume de béton « coque de renforcement » :	<b>280 m<sup>3</sup></b>
Remplacement de brique :	<b>5 000 unités</b>

# 5 – Les conclusions

- Importance du diagnostic préalable de l'ouvrage afin de définir des hypothèses d'étude les plus proches de la réalité
- Etudier correctement toutes les phases provisoires de travaux
- Difficulté d'assurer la vérification ainsi que le dimensionnement des renforcements pour des élargissements significatifs d'ouvrage
- Si on veut sauvegarder notre patrimoine d'ouvrages en maçonnerie, il faut faire évoluer notre façon de les évaluer afin d'assurer leur justification vis-à-vis de nouvelles conditions de service



Merci de votre attention

Christophe ADRIAN

