

IMGC

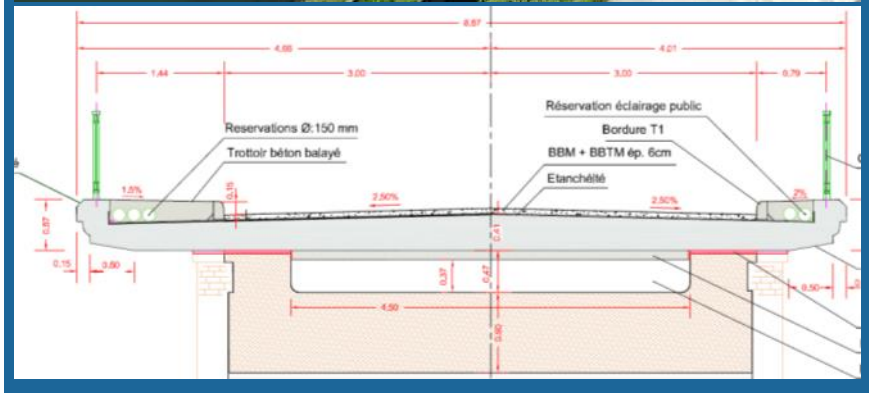
ADAPTATION DES OUVRAGES EN MAÇONNERIE AUX NOUVELLES CONDITIONS DE SERVICE

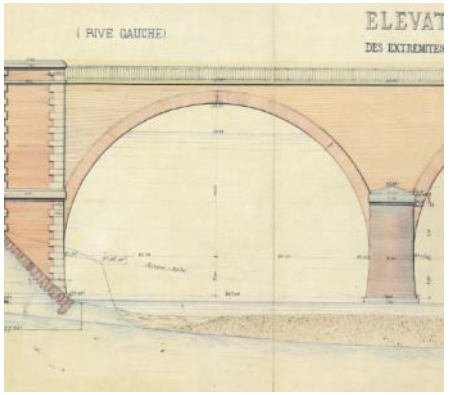
Journée Technique
Vendredi 21 septembre 2017
à l'Amphithéâtre AUGUSTE BRULÉ

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 REYNIES

2 – Définition du besoin d’élargissement de l’ouvrage

3 - Phase étude

4 - Phase travaux

5 - Conclusion

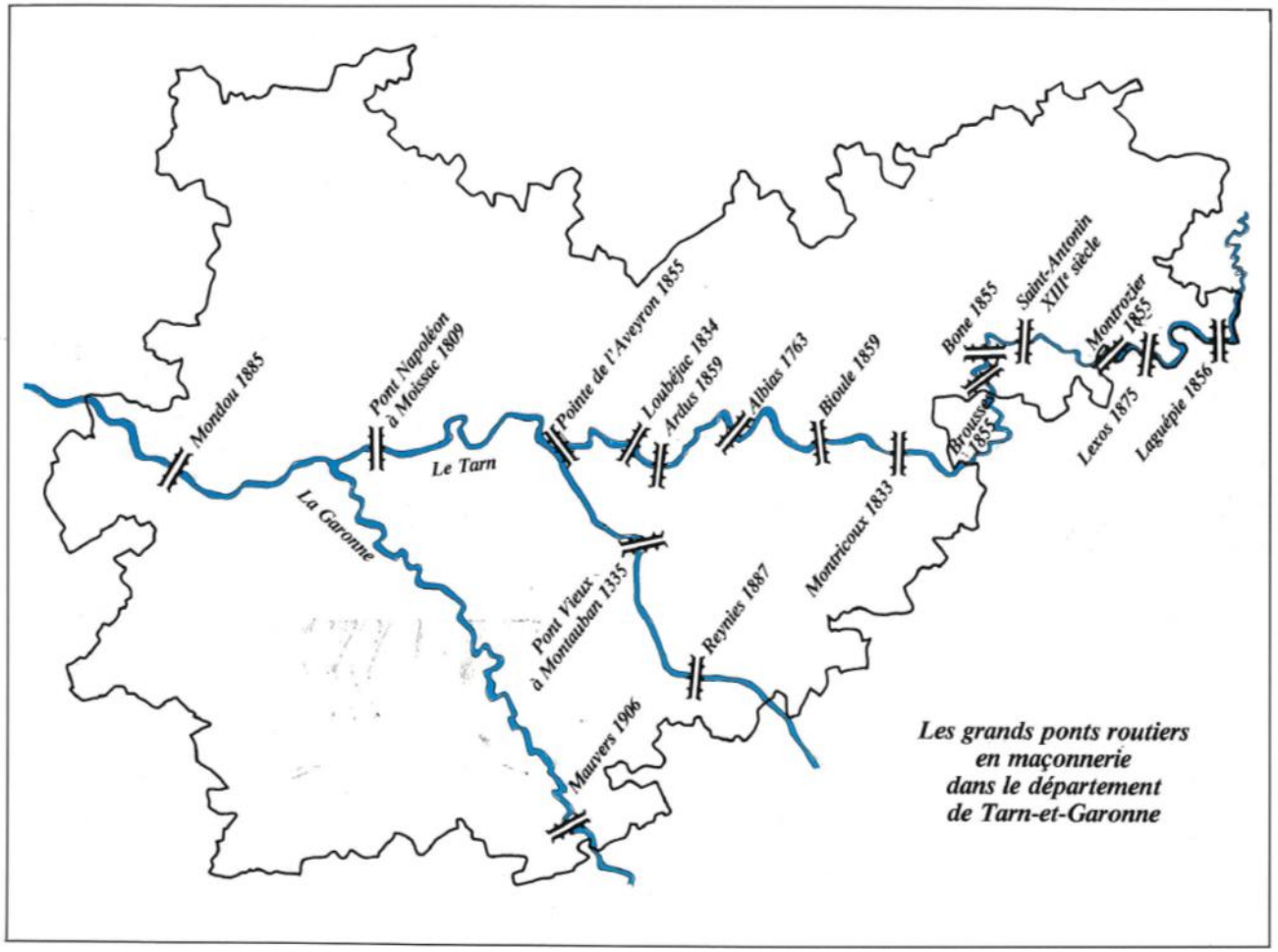
1 - Présentation du pont de REYNIES

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)

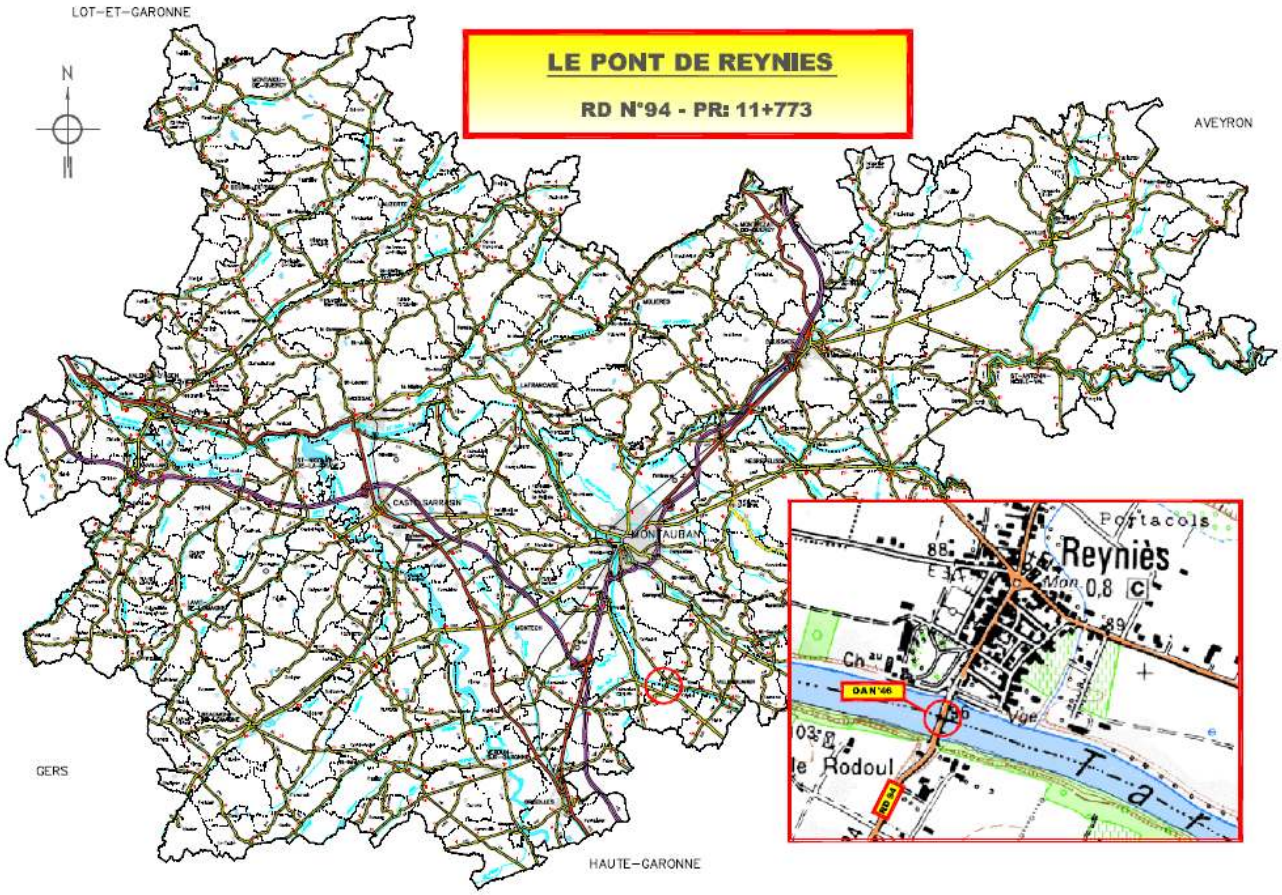
1 - Présentation du pont de REYNIES

Patrimoine Ouvrage d'Art du département du Tarn et Garonne



1 - Présentation du pont de REYNIES

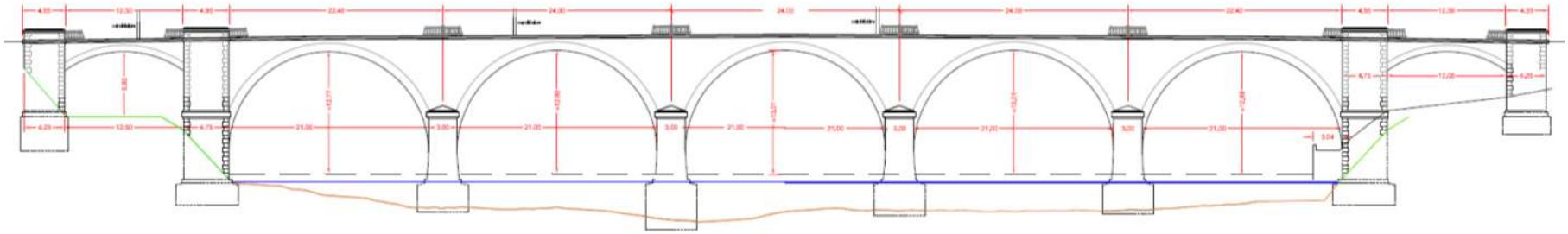
Situation de l'ouvrage

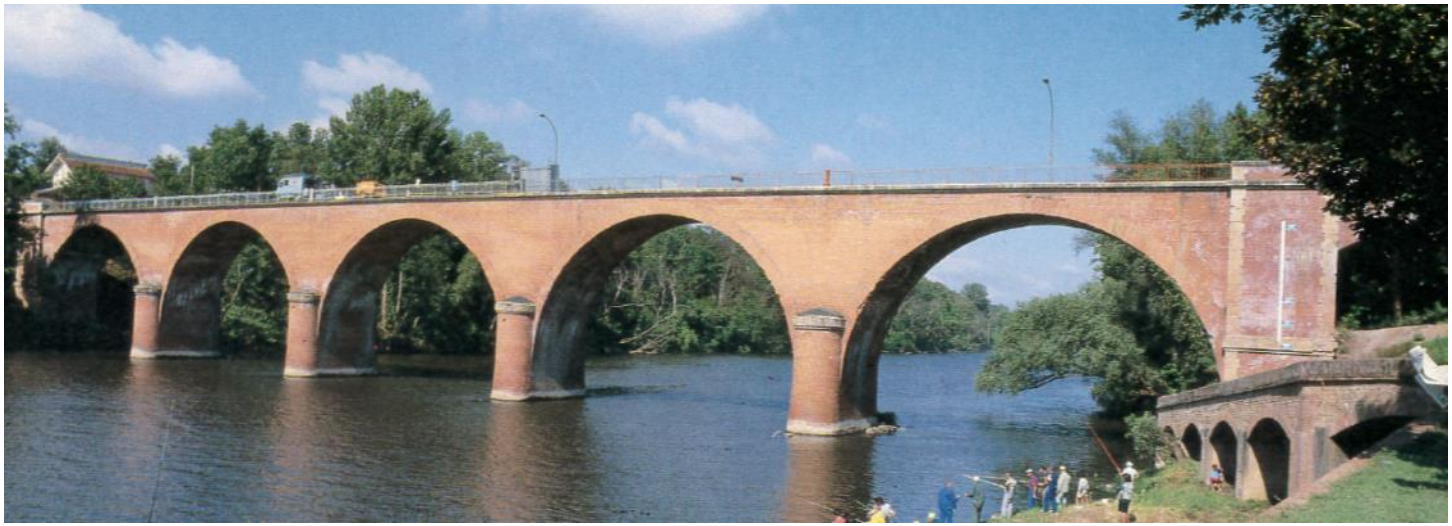


1 - Présentation du pont de REYNIES

Caractéristique de l'ouvrage

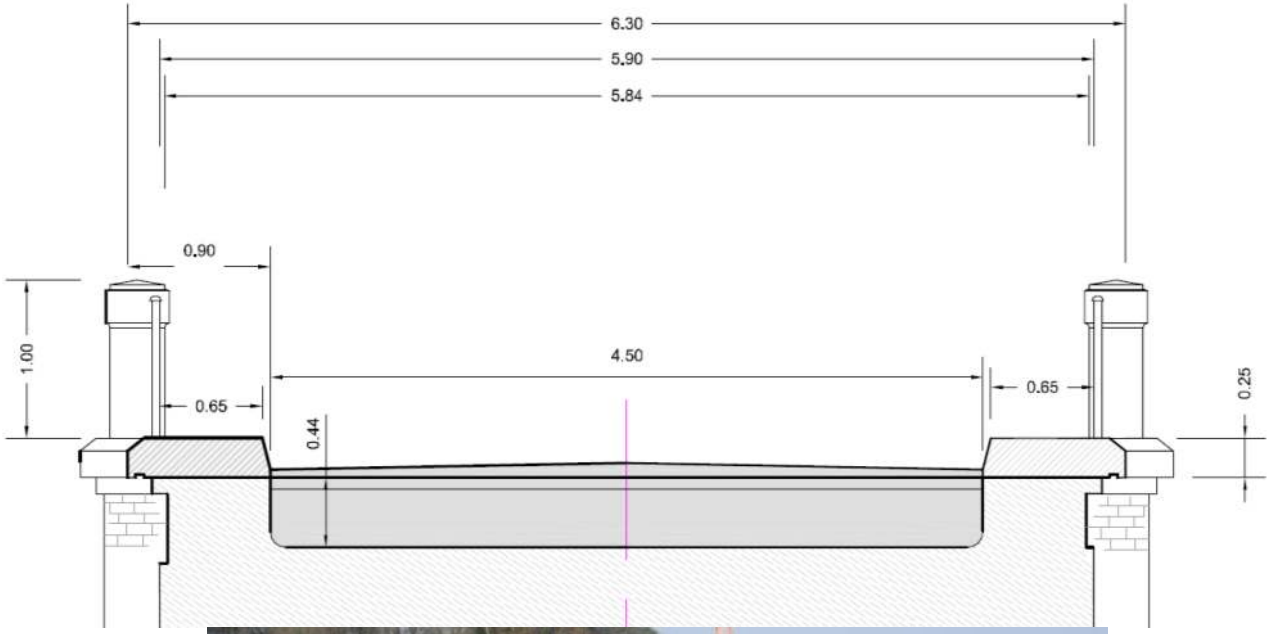
160,40 m





1 - Présentation du pont de REYNIES

Caractéristique de l'ouvrage





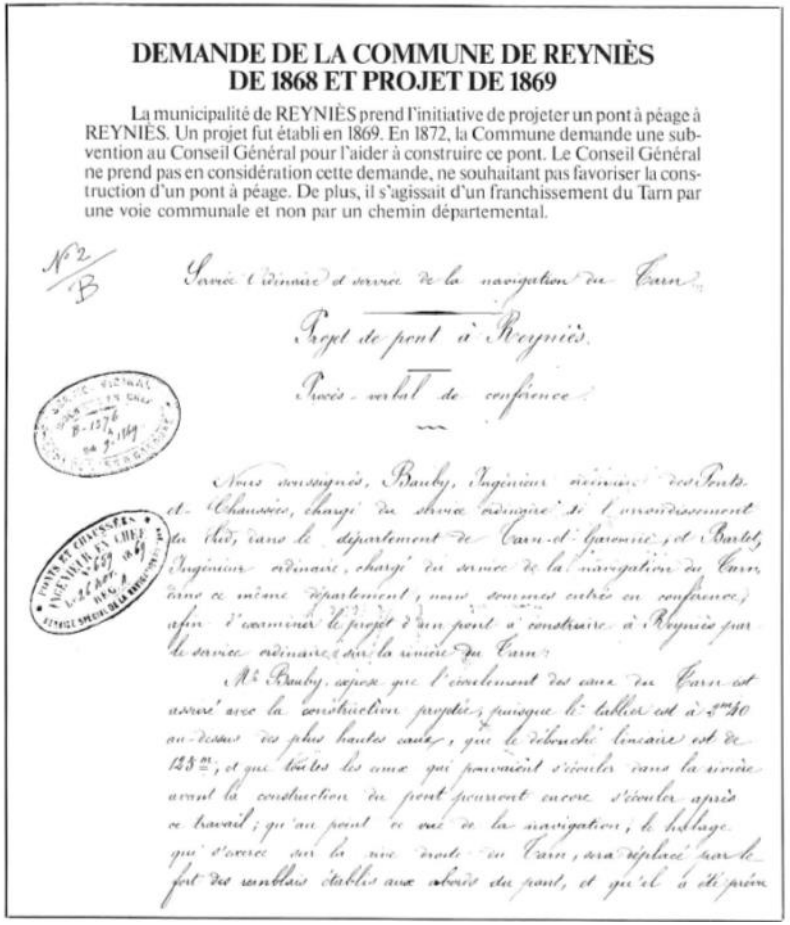
1 - Présentation du pont de REYNIES

Un peu d'histoire

1868 - Décision de la municipalité de REYNIES 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

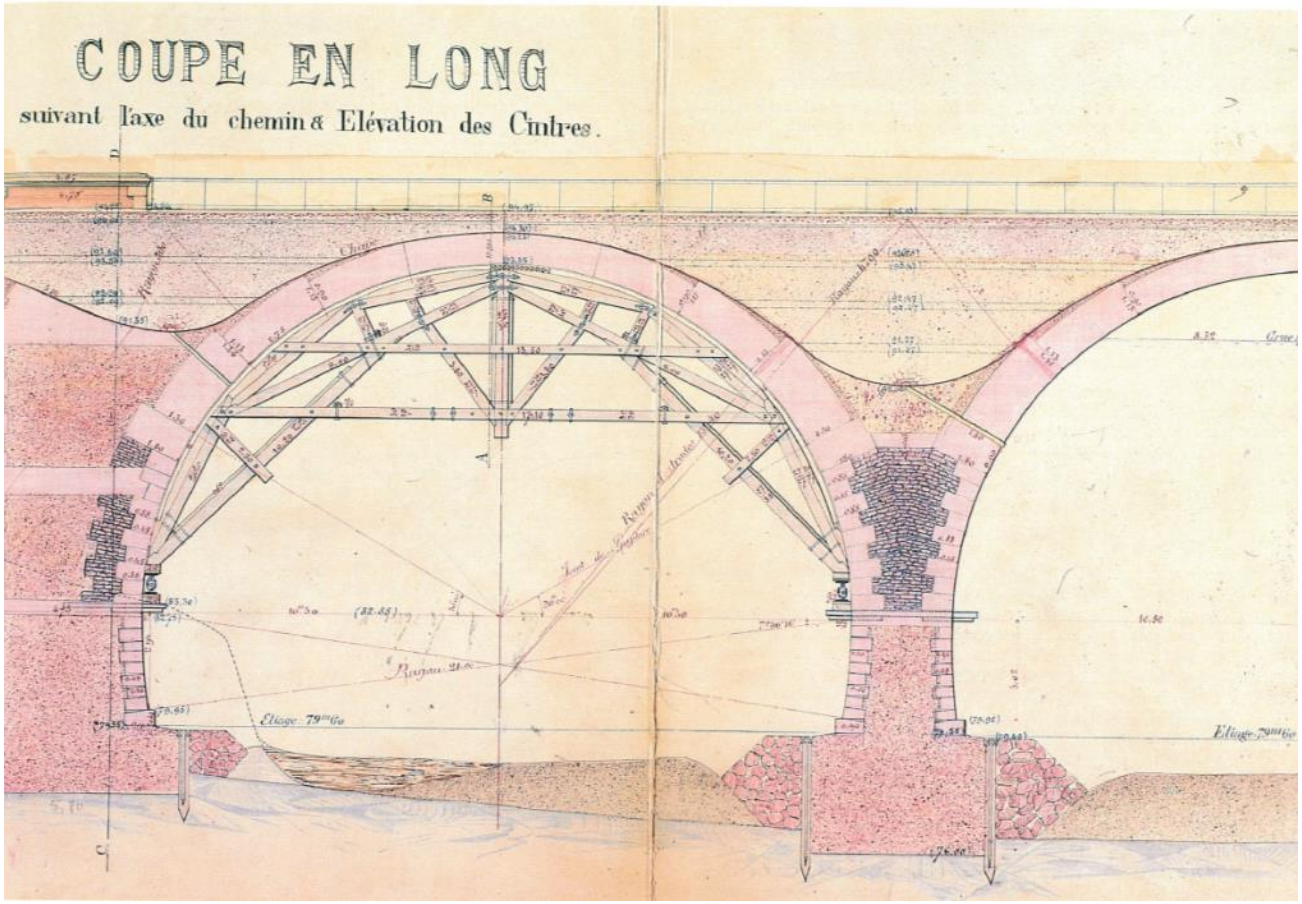


DEMANDE DE LA COMMUNE DE REYNIÈS DE 1868 ET PROJET DE 1869

La municipalité de REYNIÈS prend l'initiative de projeter un pont à péage à REYNIÈS. Un projet fut établi en 1869. En 1872, la Commune demande une subvention au Conseil Général pour l'aider à construire ce pont. Le Conseil Général ne prend pas en considération cette demande, ne souhaitant pas favoriser la construction d'un pont à péage. De plus, il s'agissait d'un franchissement du Tarn par une voie communale et non par un chemin départemental.

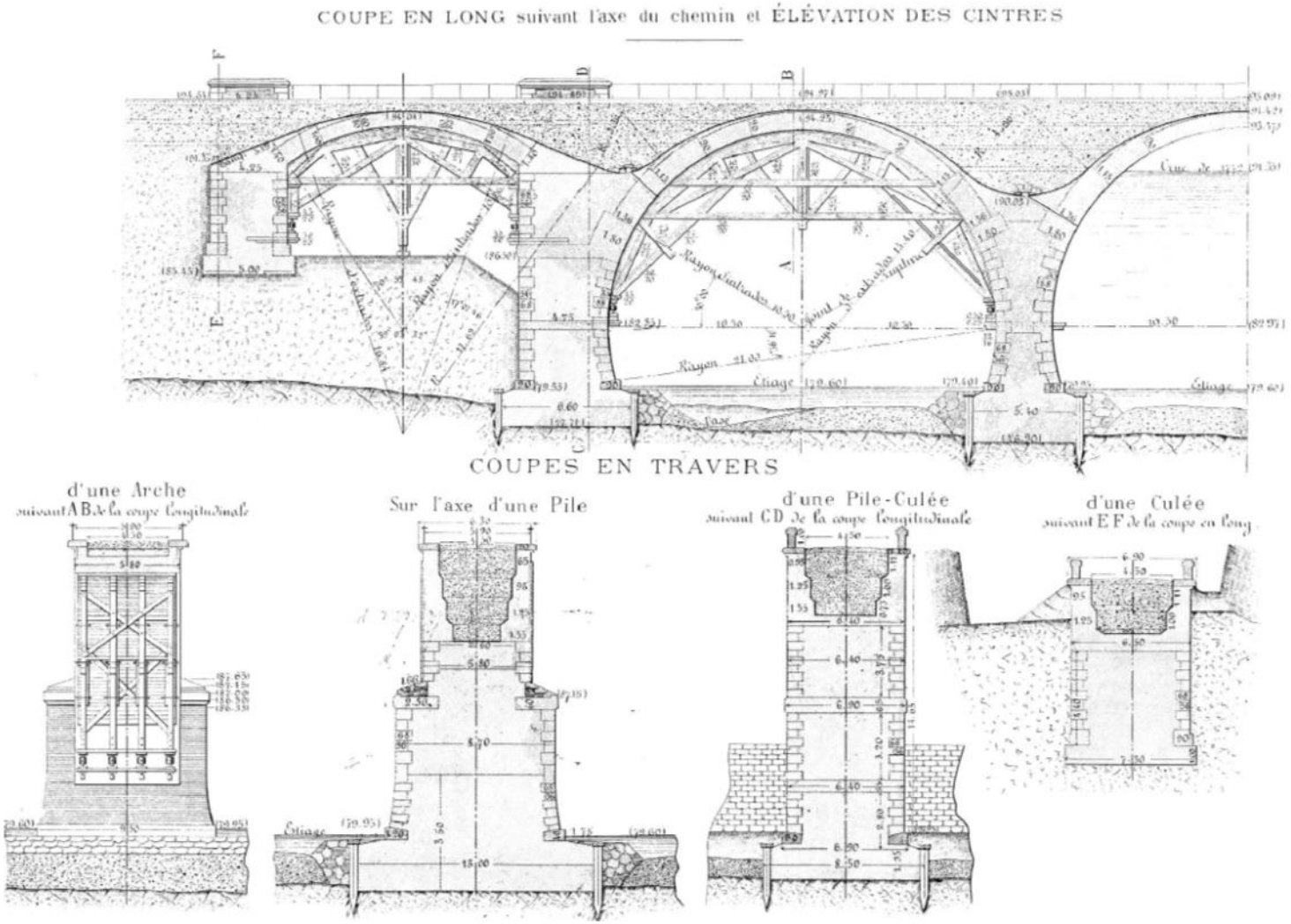
1 - Présentation du pont de REYNIES

Des documents d'archives bien fournis



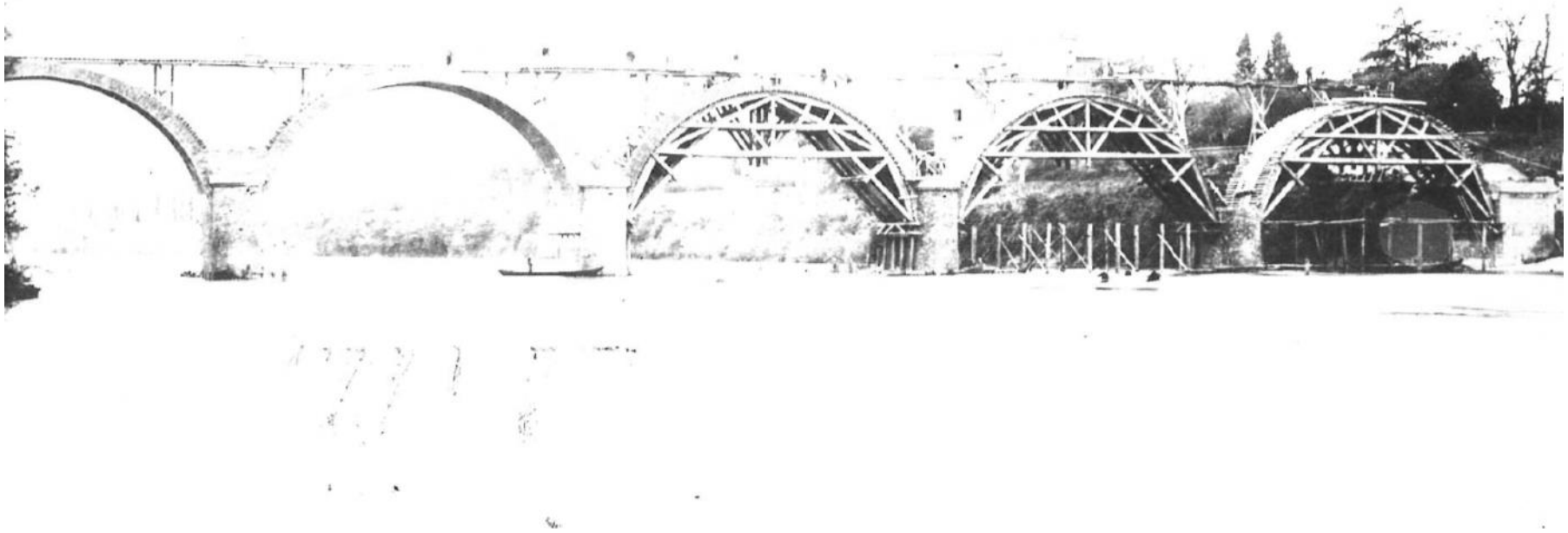
1 - Présentation du pont de REYNIES

Des documents d'archives bien fournis



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

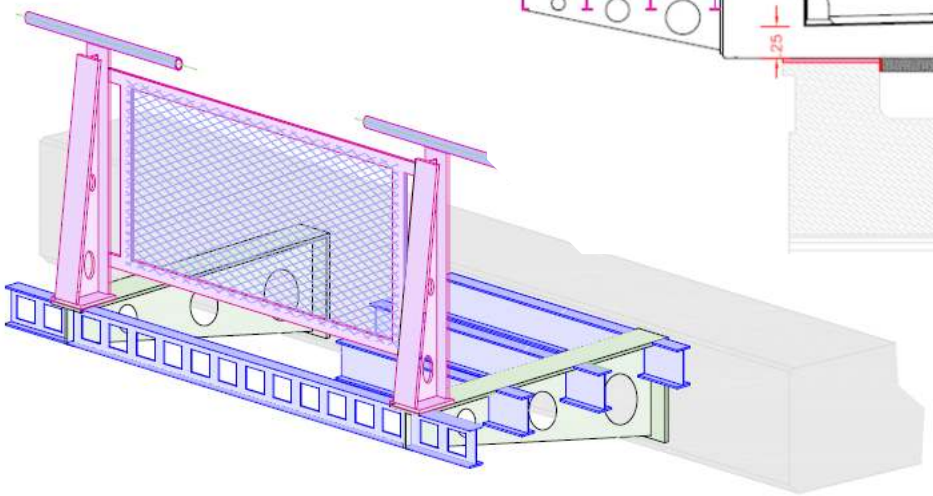
Le pont de REYNIES doit évoluer pour répondre à des nouvelles conditions de service

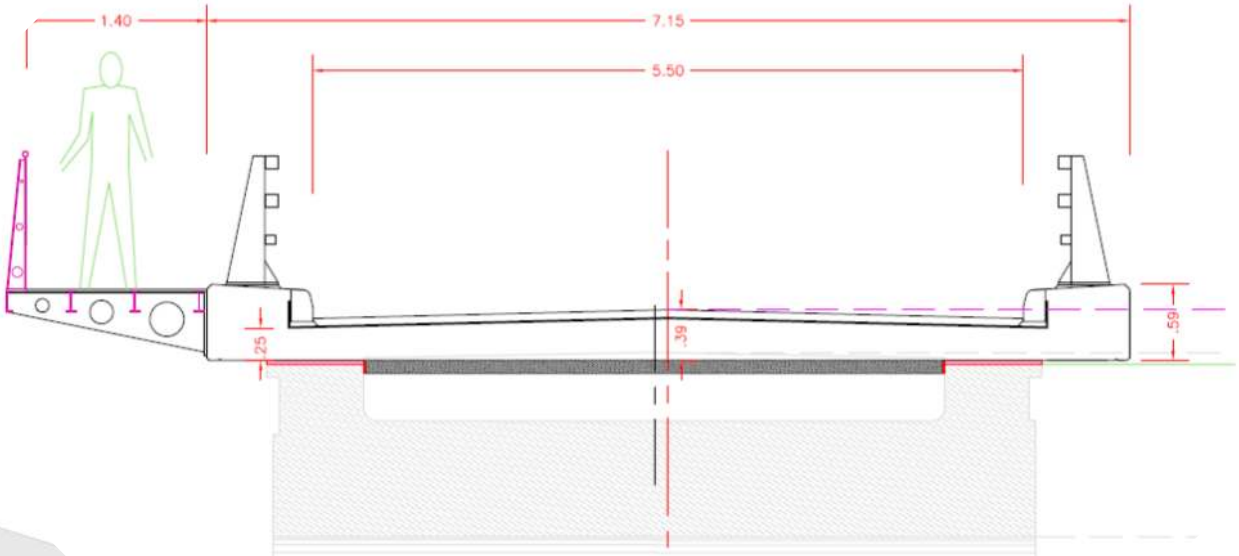
- Aménagement d'un trottoir d'une largeur utile permettant le passage des PMR (1,40 m) sur l'ouvrage et ses abords
- Porter la largeur utile de chaussée de 4,50 m à 5,50 m minimum
- Raccordement des trottoirs aux rues connexes
- Remise en état de ces superstructures

2 – Choix d'élargir l'ouvrage

Les solutions envisagées par le maître d'ouvrage

- Solution n°1 (écartée)

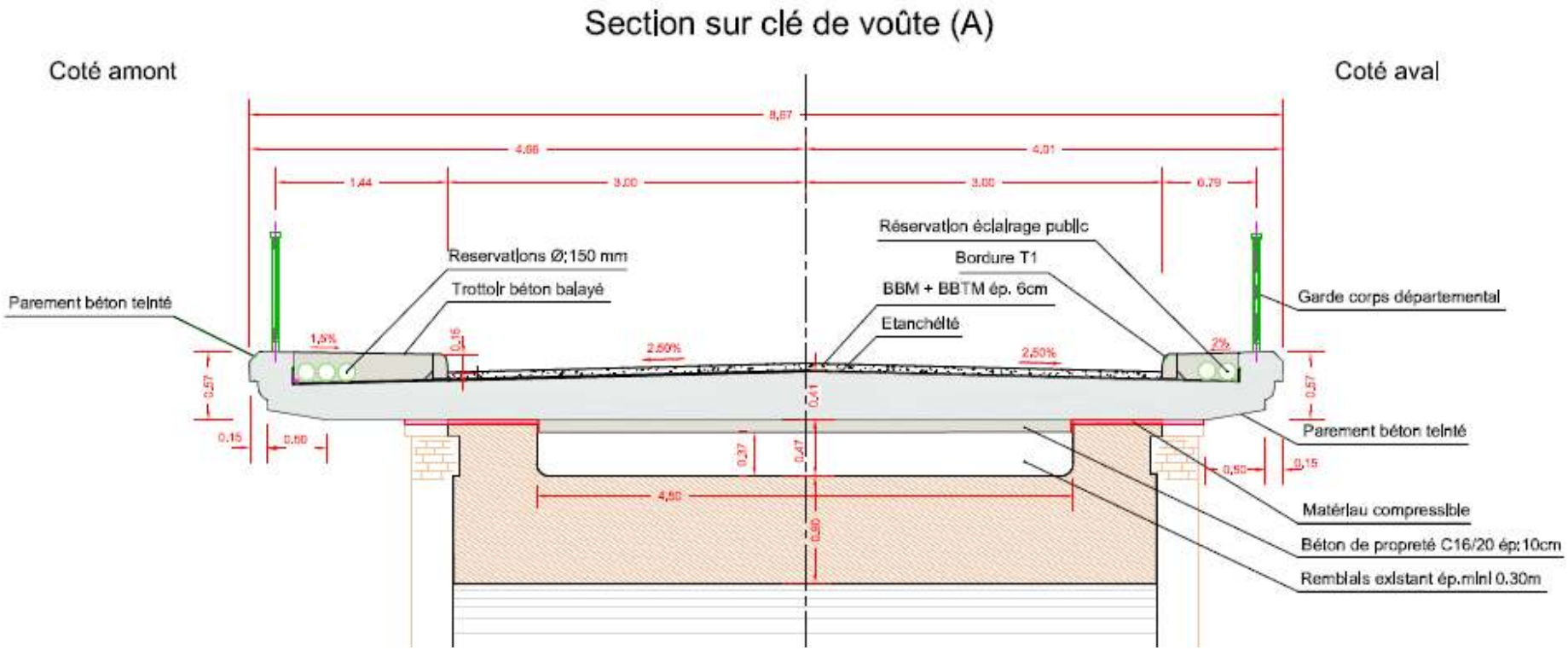




2 – Choix d'élargir l'ouvrage

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

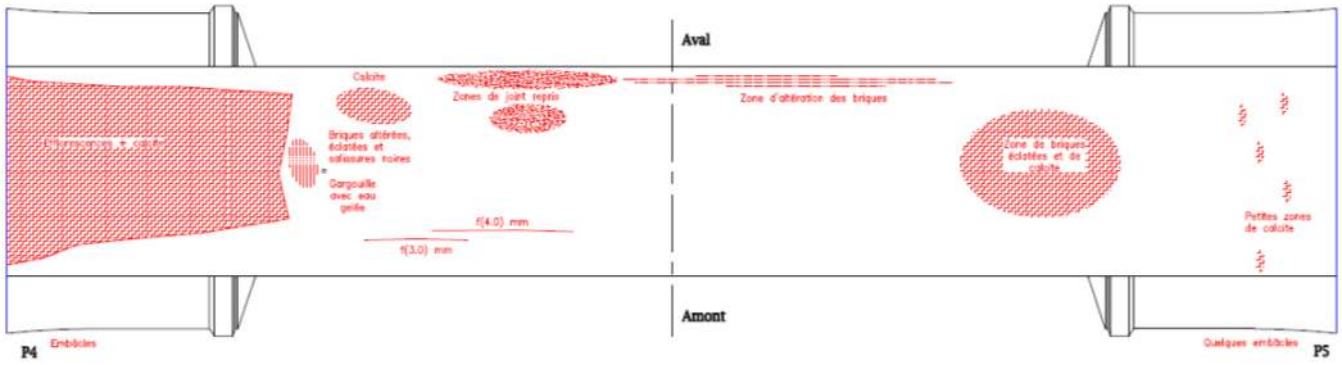
Définition de son état pathologique

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 chainages 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 :

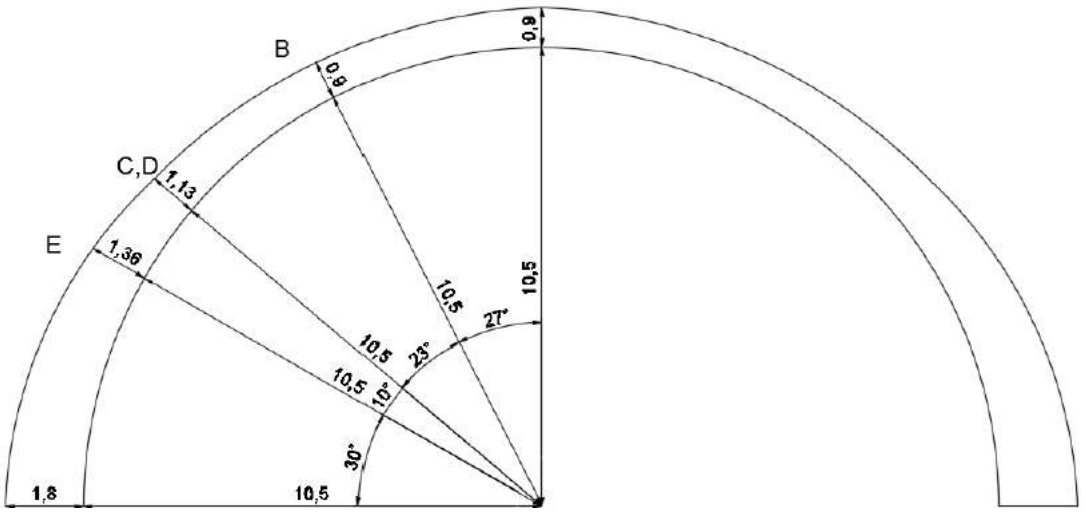
- Réponse relative « imprécise » du calcul
- La méthode ne tient pas compte des effets des dilatations thermiques ni celui des mouvements d'appui (pas nécessaire dans notre cas).

3 – Les études

Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Définition de la géométrie de la voûte

- Détermination des courbes de l'intrados et de l'extrados pour prise en compte des variations d'épaisseurs de la voûte.
- Détermination d'un nombre de voussoir « fictif » dans notre cas (maçonnerie de brique).



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 Rc
  - 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	8,2	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

Figure n°9 : Extrait de l'ouvrage : Les ponts en maçonnerie – Constitution et stabilité du SETRA

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

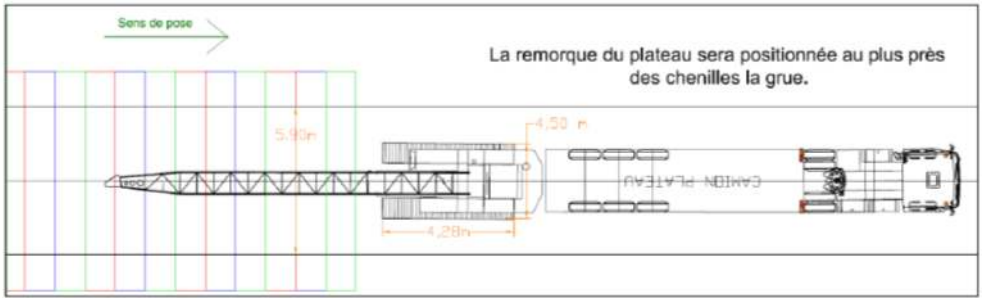
Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Définition des différentes actions de chargement

2 - <u>Provisoire</u>

- 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_{rk}) (kN/m²)
Voie n° 1	300	9
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

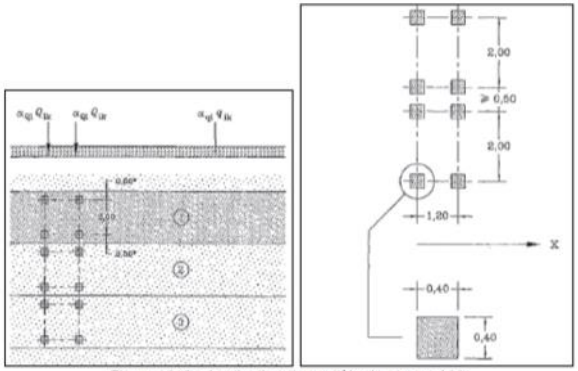


Figure n°13 : Application du modèle de charge LM1

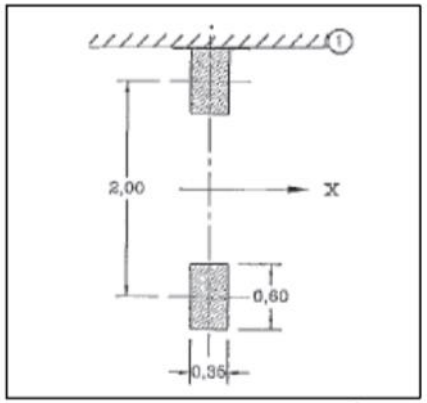


Figure n°14 : Application du modèle LM2

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

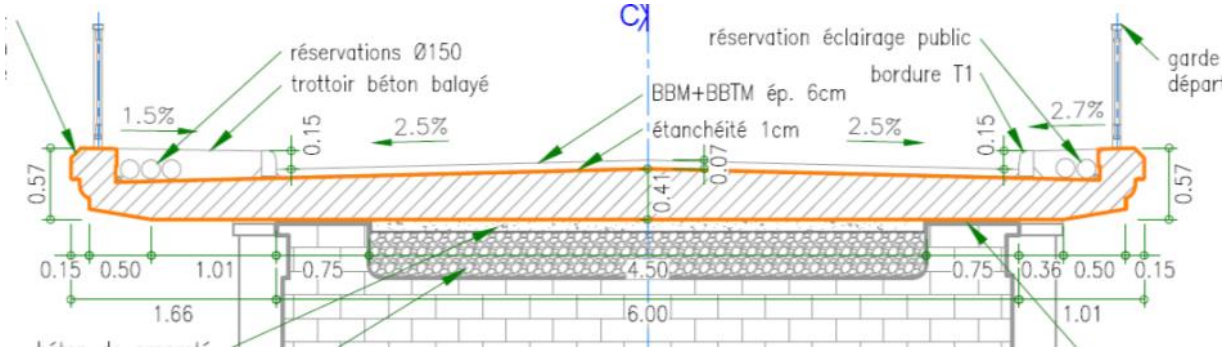
- Définition de la répartition des contraintes transversales sur le remblai par un modèle poutre sur appui élastique
- Pression de référence prise à 50 cm du nu intérieur des murs tympans

3 – Les études

Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Mode de répartition des charges

1 – Transversale



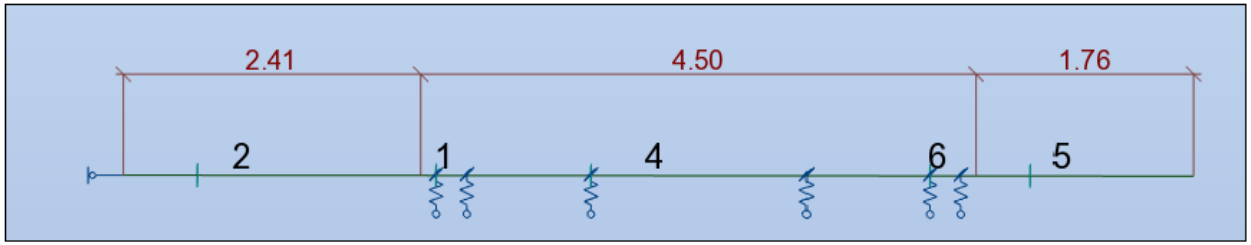


Figure n°22 : Modélisation de la dalle sur remblai et numéro des barres

3 – Les études

Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Mode de répartition des charges

1 – Transversale

LM1 UDL voie n°1 :

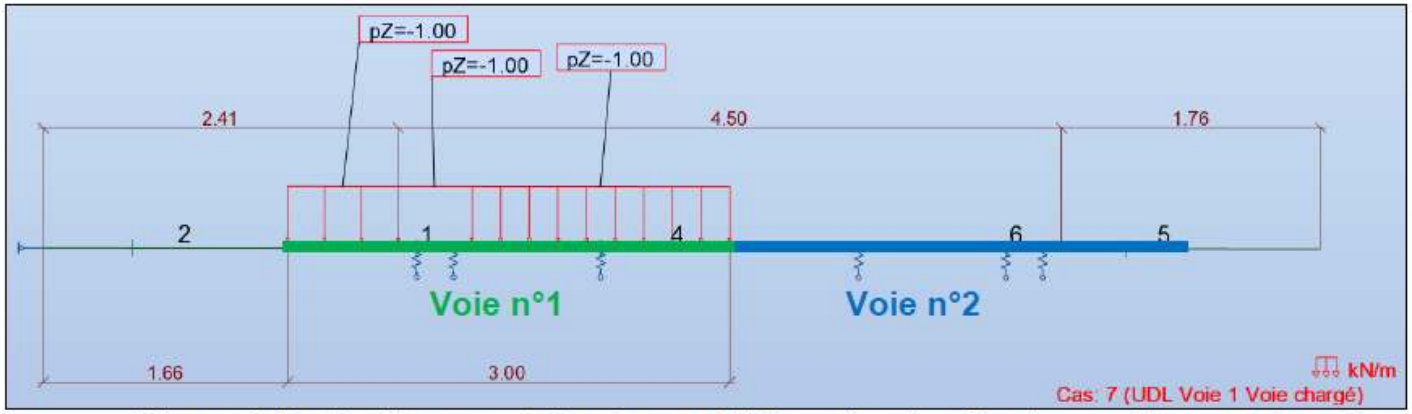


Figure n°45 : Positionnement des charges UDL sur la voie n°1 voie complétement chargé

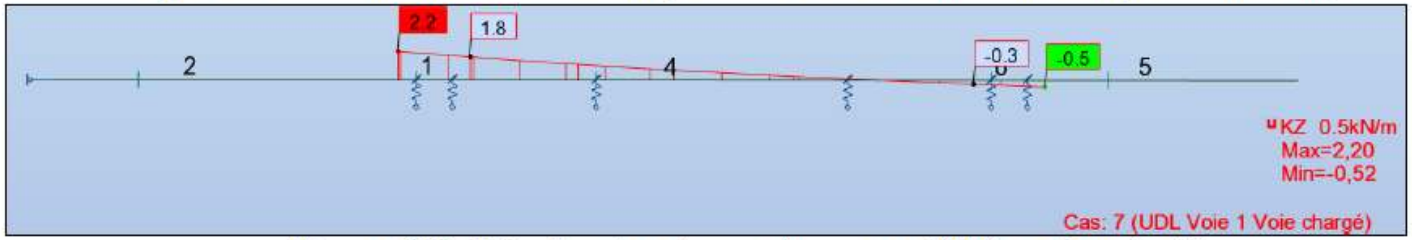


Figure n°46 : Réaction du sol sous chargement UDL sur la voie n°1

3 – Les études

Vérification de l'ouvrage avec élargissement projeté

Mode de répartition des charges

2 – Longitudinale

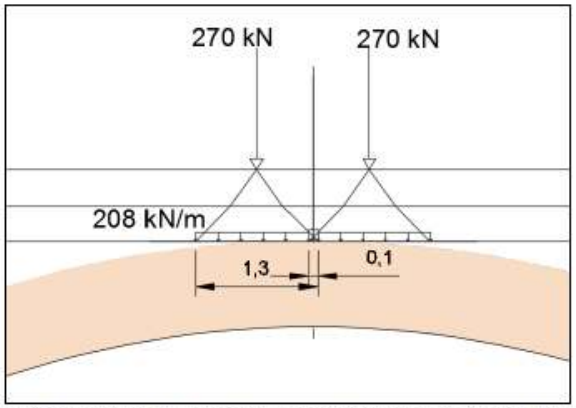


Figure n°15 : Schéma de la diffusion longitudinale de la charge TS sur

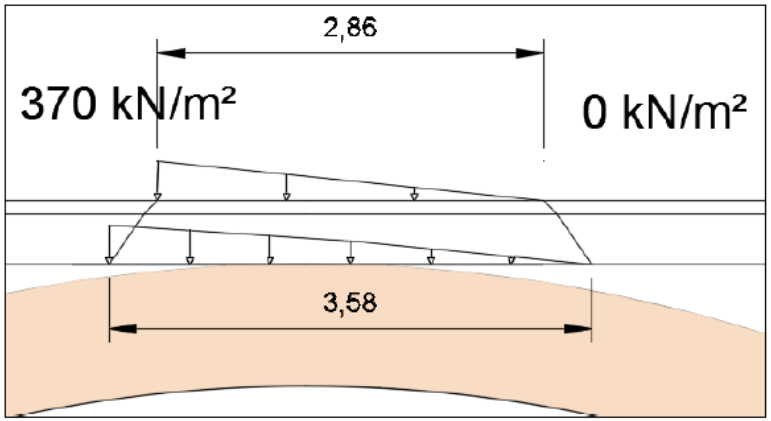


Figure n°18 : Schéma de la diffusion longitudinale de la grue lors du déchargement du camion°

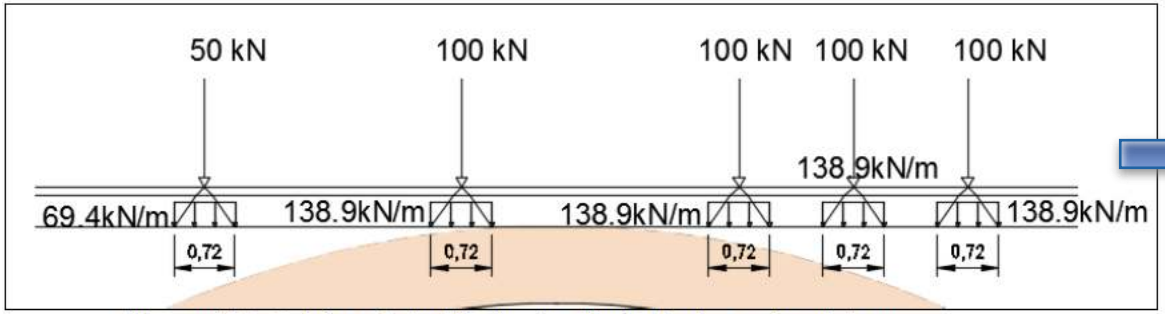


Figure n°21 : Schéma de la diffusion longitudinale du camion plateau

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

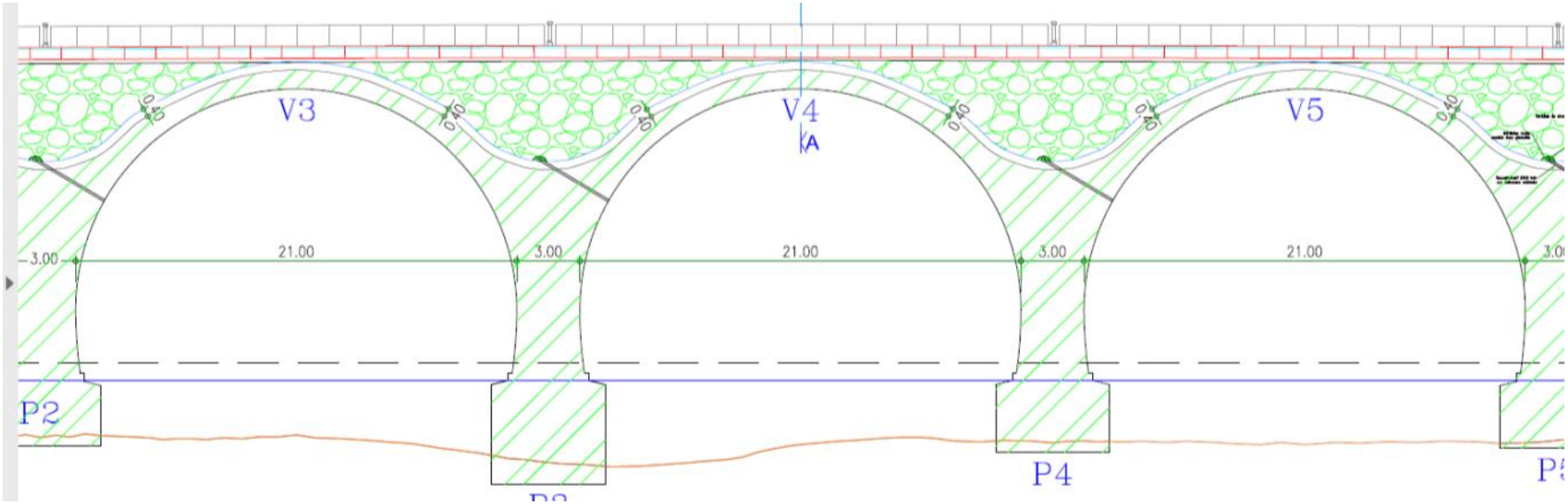
Dimensionner une solution de renfort → OUI, mais celle-ci ne doit pas dénaturer le mode de fonctionnement actuel de l'ouvrage

3 – Les études

Etude de la solution de renfort

Choix retenu pour renforcer l'ouvrage

- Epaississement 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

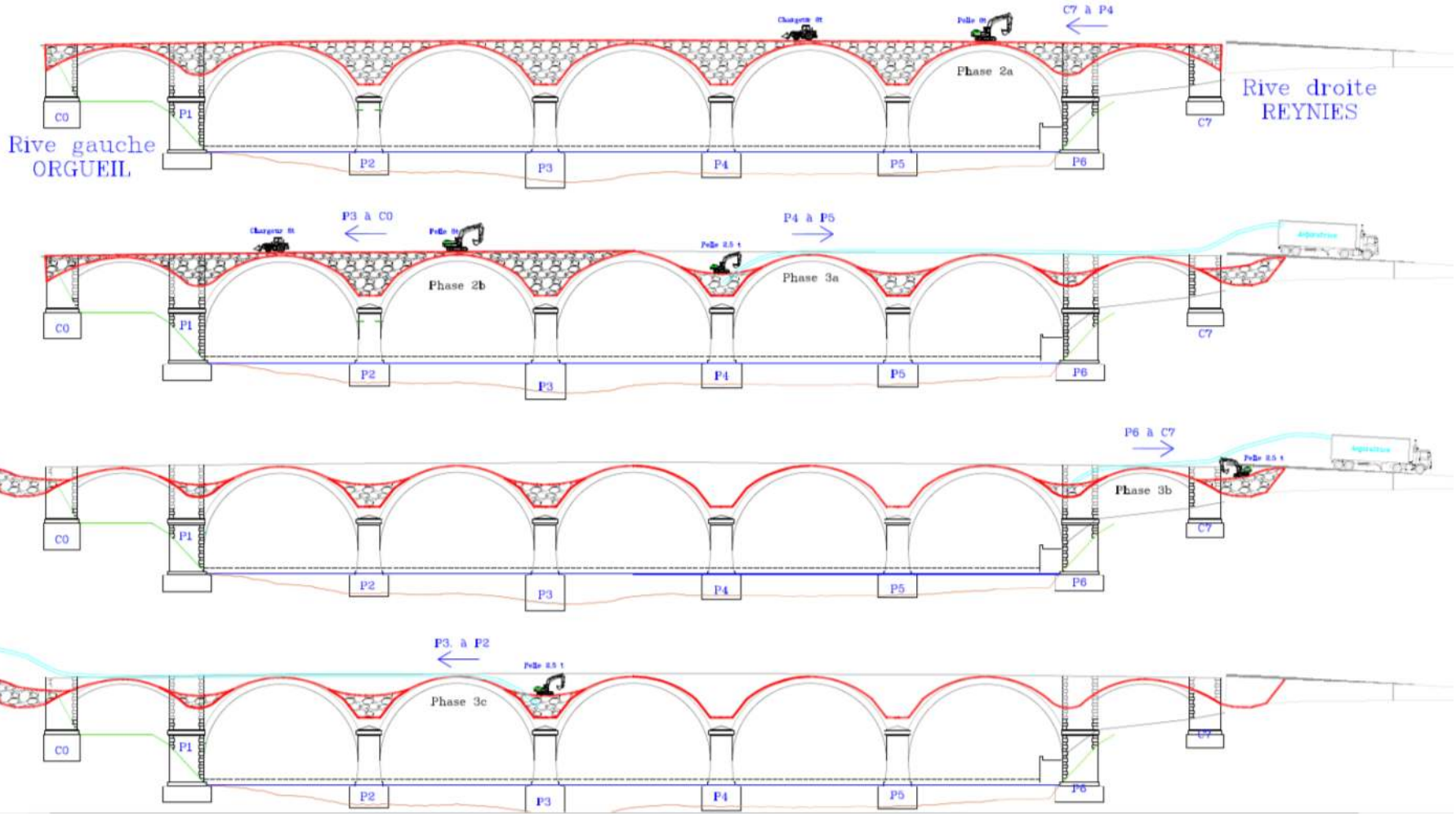
Etude de la solution de renfort

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.

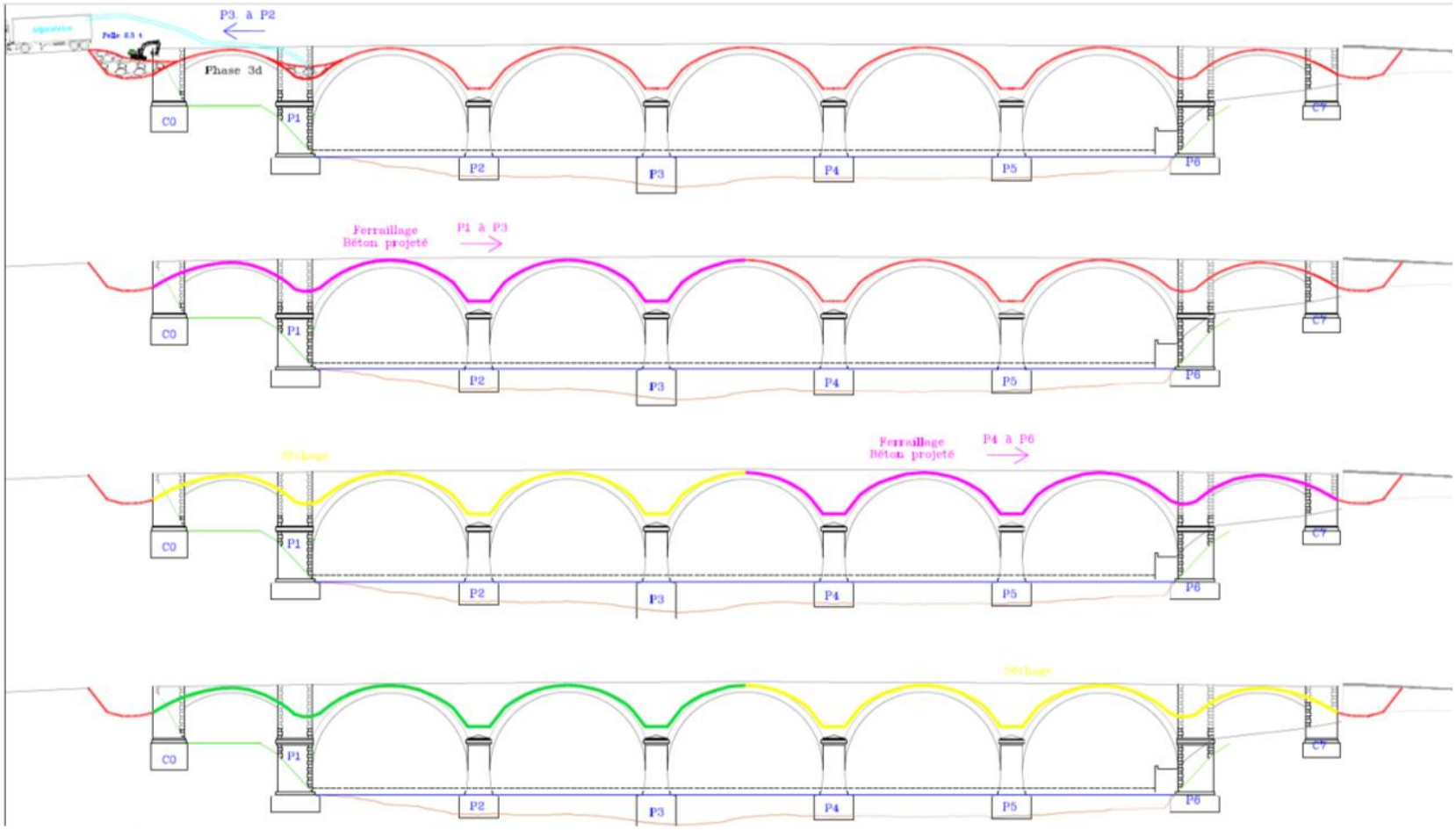
4 – Les travaux

Définition du phasage de travaux



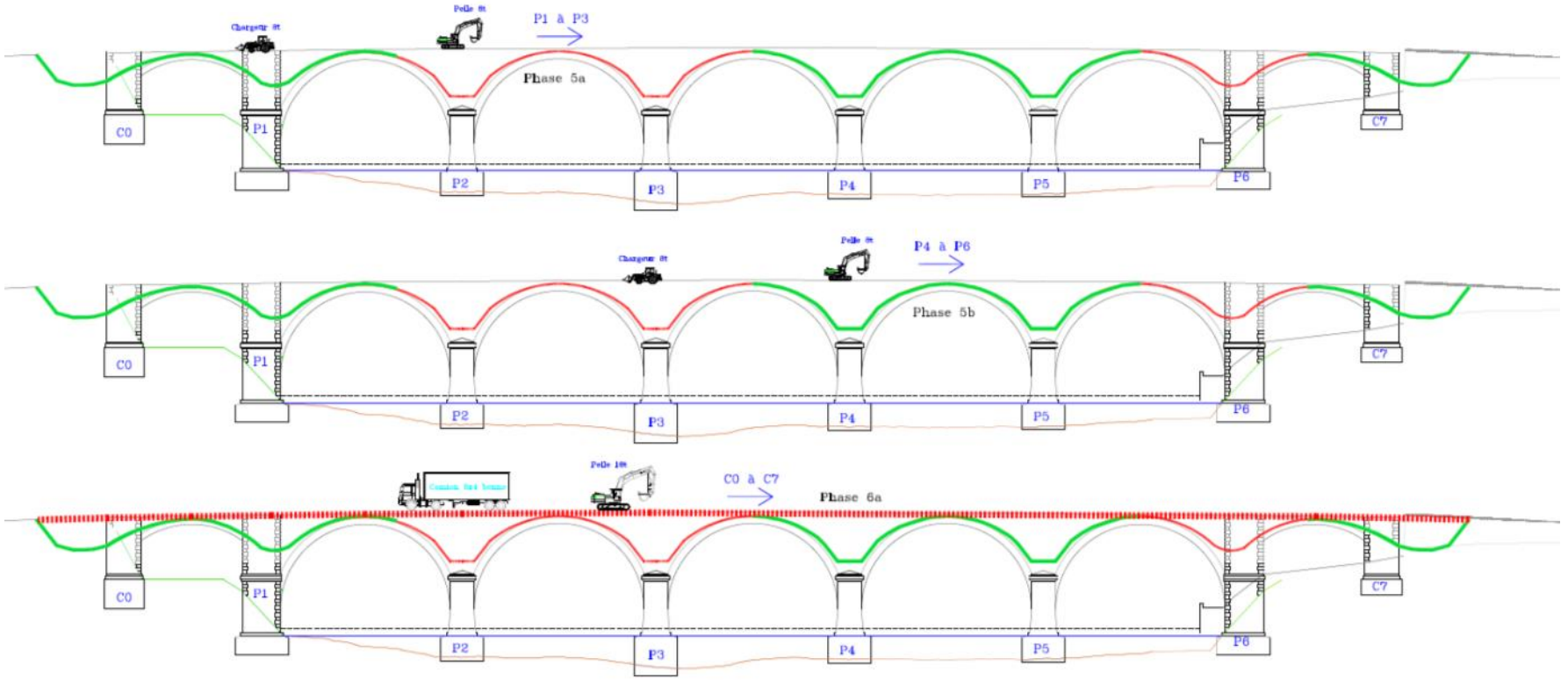
4 – Les travaux

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 ferraillage

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



Ferraillage 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 maitrise 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 :	TARN-ET-GARONNE LE DÉPARTEMENT.fr
Entreprise :	SOL TP SOLTECHNIC GROUP Travaux Publics et Particuliers
Bureau d'étude :	getec SUD OUEST

4 – Les travaux

Les acteurs et quelques chiffres

Coût des travaux (TTC) :	**1 695 952,23 €**
Durée :	**9,5 mois**
Ratio coût/surface d'élargissement :	**1 221 €/m²**
Volume de béton « dalle d'élargissement » :	**500 m3**
Volume de béton « coque de renforcement » :	**280 m3**
Remplacement de brique :	**5 000 unités**

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