

RN141 Doublement du viaduc sur la Bonneure

Etude de comparaison de solutions envisageables



RAPPORT D'ETUDE

juillet 2023

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport.

Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Site web : www.cerema.fr

RN141 Doublement du viaduc sur la Bonnieure

Etude de comparaison de solutions envisageables

Commanditaire : DREAL NOUVELLE AQUITAINE

Auteurs : CHASCO Eric ; RIZARD Fabien

Responsable du rapport

Fabien RIZARD – Département : DINF – Groupe : EOA

Tél. : +33(0)5 56 70 64 29

Courrier : fabien.rizard@cerema.fr

Adresse : Rue Pierre Ramond – 33160 Saint-Médard-en-Jalles

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	23/06/2023	Version Initiale
1	12/07/2023	Corrections suivant remarques de la DREAL
2	26/07/2023	Ajout des coupes longitudinales par solution

Références

N° d'affaire : 21-SO-0267

Partenaires : DREAL, DIRCO

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
RIZARD	DINF/EOA	Auteur principal	22/06/2023	
CHASCO	DINF/EOA	Contributeur	22/06/2023	
CHASCO	DINF/EOA	Relecteur	23/06/2023	
LOSSET	DINF/EOA	Relecteur	23/06/2023	

Résumé de l'étude

Etude comparative des solutions envisageables pour le doublement du viaduc sur la Bonniere.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Bipoutre mixte	Doublement ouvrage d'art
Impact environnemental	Estimation
Comparaison de solutions	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Sommaire

1	Présentation générale du projet	6
1.1	Introduction	6
1.2	Plan de situation	6
2	Identification des contraintes du site	7
2.1	Données naturelles	7
2.2	Contexte géotechnique – Choix des fondations	9
2.3	Données fonctionnelles propres à l’ouvrage	10
3	Solutions envisageables	14
3.1	Etablissement des solutions envisageables	14
3.2	Solution du doublement à l’identique à 5 travées	15
3.3	Solution à 2 travées	16
3.4	Solution à 3 travées	17
3.5	Solution à 4 travées	19
4	Estimation financière	21
4.1	Grille des prix unitaires	21
4.2	Estimation des solutions envisagées	22
4.3	Synthèse des estimations	23
5	Comparaison des solutions	24
5.1	Tableau multicritères	24
5.2	Analyse comparative	25
5.3	Synthèse et proposition	26
6	ANNEXES	27
6.1	Coupe longitudinales des différentes solutions	27

1 PRESENTATION GENERALE DU PROJET

1.1 Introduction

La présente étude préliminaire (EPOA) concerne le franchissement du lit majeur de la Bonnieure dans le cadre de la mise à deux fois deux voies de la section Chasseneuil-Roumazières par le doublement du viaduc actuel de la Bonnieure portant la RN141.

L'étude préliminaire a pour but de définir la solution technique la mieux adaptée pour ce franchissement.

La maîtrise d'ouvrage est assurée par la DREAL Nouvelle Aquitaine, la maîtrise d'œuvre par le SIR de la DIR Centre Ouest, assisté du Cerema SO.

1.2 Plan de situation

Nom de l'ouvrage : Viaduc de doublement sur la Bonnieure

Voie portée : RN 141

Franchissement : lit majeur de la Bonnieure

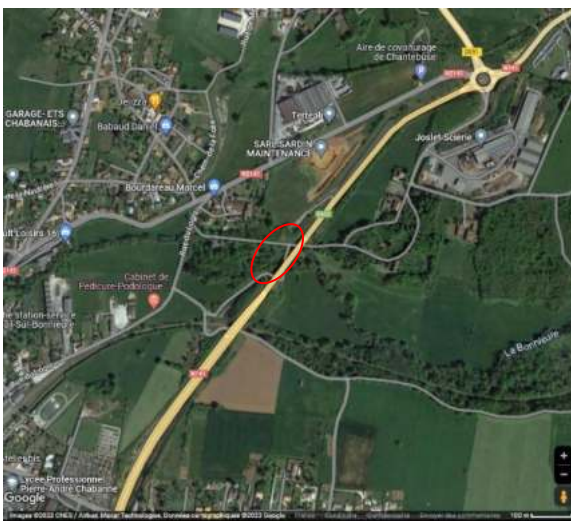


Figure 1 : Vue aérienne, localisation de l'ouvrage de franchissement de la Bonnieure.

2 IDENTIFICATION DES CONTRAINTES DU SITE

2.1 Données naturelles

2.1.1 Description générale du site

L'ouvrage se situe au nord-est de la commune de Chasseneuil-sur-Bonnieure. Il fait partie d'un projet routier dont le but est la mise à deux fois deux voies de la RN141.

L'ouvrage franchit la rivière de la Bonnieure : le doublement se fera en aval de l'ouvrage existant. L'ouvrage est droit et parallèle à l'ouvrage existant.

Deux remblais sont présents depuis la construction de l'ouvrage existant.

Deux chemins permettent d'accéder au bas de ces remblais, dans le lit majeur de la Bonnieure : un chemin longe la Bonnieure et le remblai côté Angoulême, et un chemin agricole au niveau du remblai côté Limoges.

Au droit de l'ouvrage, il n'y a pas de maison ou bâtiment à déplacer.

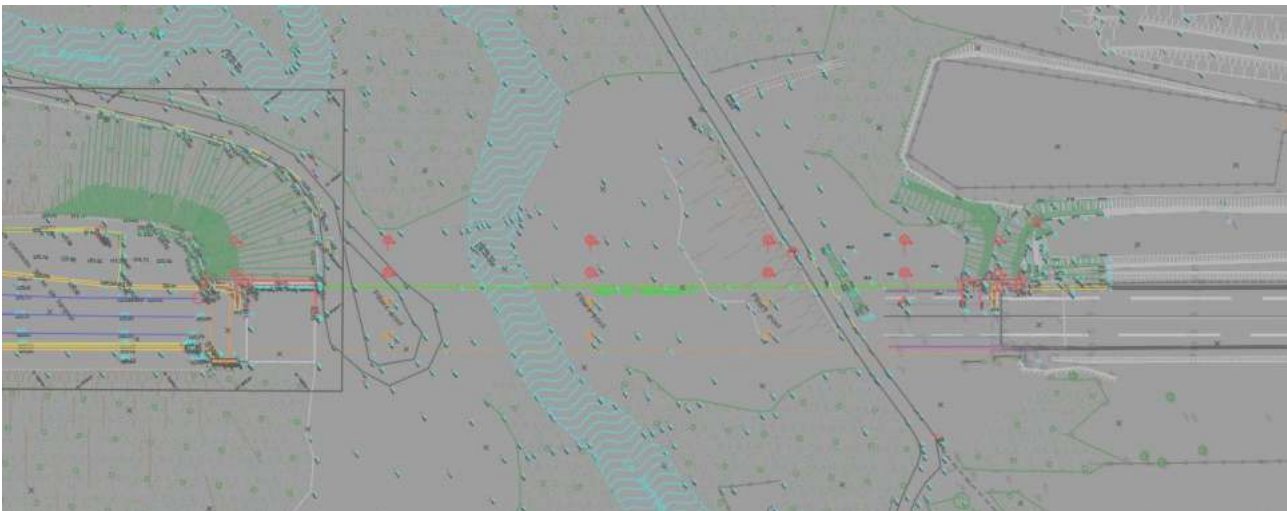


Figure 2 : Extrait du levé tonométrique de 2023.

2.1.2 Les remblais existants

Lors de la construction de l'ouvrage existant, les remblais ont été implantés en prévision d'un doublement de l'ouvrage.

La conservation des remblais impose la position des lignes d'appuis des culées de l'ouvrage de doublement.

Dans un souci d'homogénéité des culées du doublement avec l'existant, les lignes d'appuis des culées seront donc au droit des lignes d'appuis des culées existantes.

La brèche à franchir fait 150,00 m entre lignes d'appuis des culées.

2.1.3 La Bonnieure

Le doublement de l'ouvrage existant présente des travaux dans le lit majeur de la Bonnieure. Le niveau de la crue théorique centennale de la Bonnieure est $Z_{100} = 114,51 \text{ m}_{\text{NGF}}$.

La distance de mise en défens (distance par rapport aux berges du lit mineur de la Bonnieure) est au minimum de 5,0 m en phase travaux.

Une distance de mise en défens de 7,0 m est visée.

Cette distance impose des contraintes d'implantation des lignes d'appuis intermédiaires.

En plaçant un repère au droit de l'ouvrage de doublement tel que : 0,00 m est l'abscisse au droit de la ligne d'appui au niveau de la culée côté Angoulême et 150,00 m est l'abscisse au droit de la ligne d'appui au niveau de la culée côté Limoges ; une distance de défens de 5,00 m impose de ne pas planter d'appui entre les abscisses 41,00 m et 63,40 m ; soit sur une longueur de 22,40 m.

Une distance de défens de 7,00 m impose de ne pas planter d'appui entre les abscisses 39,00 m et 65,40 m ; soit sur une longueur de 26,40 m.

Les zones de longueur 22,40 m et 26,40 m sont des zones où aucun empiètement ne sera possible : ni fouille, ni semelle, ni engins de chantier.

2.1.4 Les chemins d'accès

Le chemin d'accès côté Angoulême est au niveau du terrain naturel. Son dévoiement ou l'implantation d'un appui à son emplacement actuel n'est pas problématique.

Le chemin agricole côté Limoges est en remblais : le terrain naturel est à une altitude de 114-114,50m et le chemin agricole a une altimétrie de 117,60-118,30m.

L'implantation d'un appui à son emplacement actuel implique soit un dévoiement pour dégager l'emprise du fond de fouille de la future semelle de fondation, soit un traitement par un soutènement permanent (le chemin agricole représente un obstacle d'une largeur de 15,00 m entre les abscisses 106,50 m et 121,50 m par rapport à la ligne d'appui de la culée côté Angoulême).

Une solution pourrait enfin consister à éviter le chemin agricole et son remblai. Par rapport à la ligne d'appui côté Angoulême, ceci impose d'éviter une implantation au droit des abscisses comprises entre 87,40 m et 121,50 m ; soit 34,10 m de largeur.

2.2 Contexte géotechnique – Choix des fondations

2.2.1.1 Historique des études géotechniques

Le dossier d'archives présente des études géotechniques réalisées lors de la construction de l'ouvrage amont entre 1996 et 2002.

Ces études comprennent deux séries de sondages réalisées sur l'axe de l'ouvrage existant, ainsi que sur l'axe du doublement envisagé à l'époque.

Dans le cadre de l'aménagement à 2 x 2 voies, une étude géotechnique préliminaire a été réalisée au deuxième trimestre 2014 par le département Laboratoire de Bordeaux groupe géologie géotechnique. Cette étude a fait l'objet du dossier EQ-CT33-14-151-FR et la partie relative à l'ouvrage sur la Bonnieure.

Une étude géotechnique Avant-Projet des Ouvrages d'art a été réalisée en novembre 2018 par le laboratoire de Bordeaux, Cerema Sud-Ouest.

Une étude géotechnique complémentaire est en cours pour évaluer le risque de présence de karst.

2.2.1.2 Fondations retenues

Les sondages du rapport géotechnique de 2018 (destructifs, carottés et pressiométriques) mettent à jour un substratum calcaire dur, surmonté d'une couche d'alluvion d'épaisseur variant de 8 m en fond de vallée en rive gauche, à 18 m en rive droite à flan de versant. Ces sondages montrent également la compacité (absence de cavité) des épaisseurs de calcaire traversées (8 à 10m).

Des fondations profondes sur pieux sont préconisées dans le rapport, conformément à ce qui a été réalisé pour l'ouvrage existant. La longueur des pieux est définie de telle sorte qu'ils soient ancrés d'au moins 5 diamètres dans le calcaire du bajocien.

2.2.2 Contexte sismique

La commune de Chasseneuil-sur-Bonnieure est située en zone d'aléa sismique faible (zone de sismicité 2). Cela correspond à la prise en compte d'une accélération nominale de 0,7 m/s².

La prise en compte de l'effet sismique nécessitera la réalisation de butées transversales sur tous les appuis, et de butées longitudinales au niveau des culées.

L'effet sismique sera évalué pour l'ensemble des justifications des appuis.

2.2.3 Contraintes relatives à la construction

Les méthodes de réalisation de l'ouvrage de doublement devront permettre de minimiser l'impact environnemental, notamment pour la construction des piles (accès, fouilles...) et la mise en place du tablier.

Concernant la réalisation des appuis intermédiaires, des voies d'accès sont déjà existantes et permettent d'accéder de part et d'autre de la Bonnieure. La réalisation des fouilles respectera les distances de mise en défens, conformément au paragraphe 2.1.3.

Une plateforme de surface importante est disponible côté Limoges : la plateforme coté Limoges fait environ 120 m de long sans impacter le fonctionnement des bretelles de l'échangeur de Chasseneuil-sur-Bonnieure.

Compte tenu du phasage des travaux de mise à deux fois deux voies de la RN141 (l'ouvrage de doublement sera réalisé en dernier), la plateforme routière sera déjà disponible et pourra servir d'aire d'assemblage et de lancement du futur tablier.

L'opération de lancement ne nécessitera donc pas d'aménagement spécifique.

2.3 Données fonctionnelles propres à l'ouvrage

2.3.1 Géométrie routière

2.3.1.1 Profil en long

Le profil en long de la RN 141 au niveau du doublement est droit. La pente longitudinale est de 0,53% avec un point bas-côté Angoulême.

2.3.1.2 Tracé en plan

Le tracé en plan du pont est droit et ne présente pas de biais avec ses appuis.

2.3.1.3 Implantation

Conformément à ce qui a été prévu lors de la construction de l'ouvrage existant en 2001, l'axe d'implantation du projet routier est fixé à 0,06 m du bord aval de l'ouvrage existant.

Les axes de profils en long des deux ouvrages (existant et de doublement), distants de 3,69 m, ont des altimétries identiques et permettent de définir les niveaux NGF de l'ouvrage de doublement.

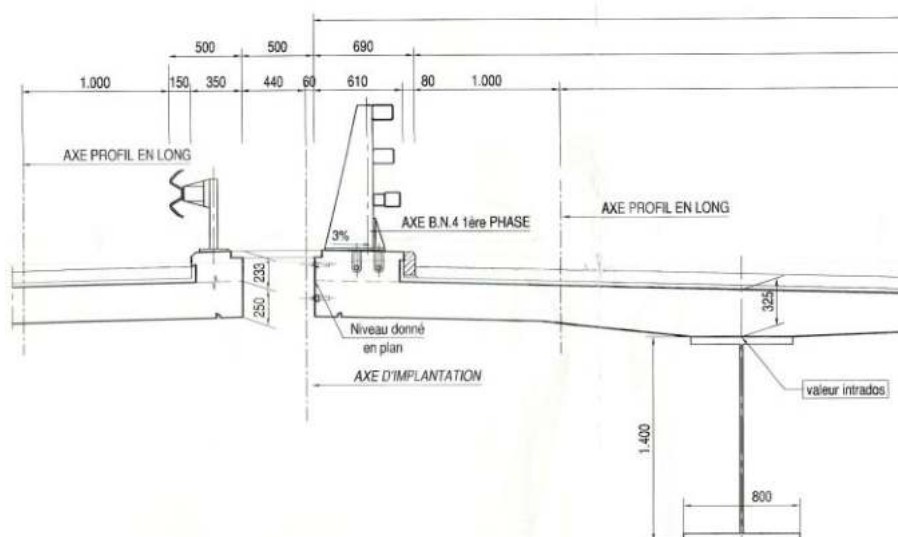


Figure 3 : Extrait du plan de récolement Plan 00699 COF ENS 2 Indice R du 28-05-2022.

2.3.1.4 Profil en travers

Le tracé s'inscrit dans le cadre de la RN 141 qui comporte une chaussée bidirectionnelle.

La coupe transversale de 12,55 m de large, dans le sens de circulation Limoges-Angoulême est composée de :

- Un écran acoustique de 1,00 m et de 0,20 m de largeur,
- Un caniveau en béton armé de 0,50 m de largeur,
- Une longrine de 0,90 m de large portant un dispositif de retenu de niveau H2,
- Une bande dérasée droite de 2,00m de largeur,
- Une chaussée de 7,00m (deux voies de 3,50 m chacune),
- Une bande dérasée gauche de 0,75 m,
- Une longrine de 0,90 m portant un dispositif de retenue de niveau H2.

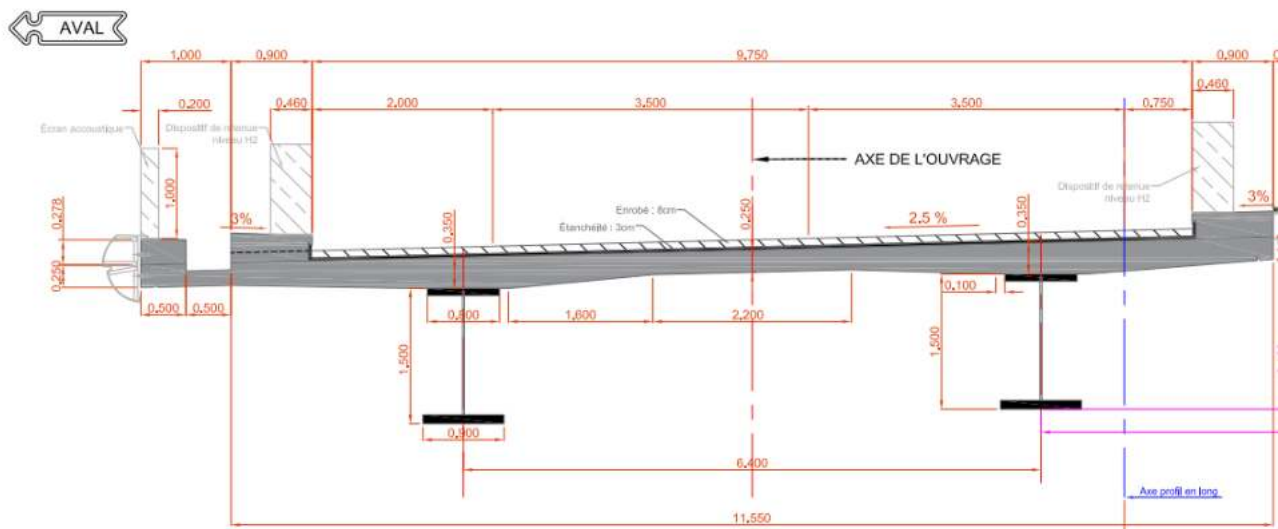


Figure 4 : Coupe transversale de l'ouvrage de Doublement.

2.3.1.5 Dévers

Le tablier présente une pente unique sur la chaussée de 2,5 %.

2.3.1.6 Gabarit à respecter

Le niveau de la plus haute crue théorique centennale est très éloigné de l'intrados du tablier. Ce niveau ne constituera pas une contrainte de gabarit pour l'ouvrage.

Néanmoins, et afin de ne pas déstabiliser les culées existantes, l'altimétrie des futurs chevêtres sera proche de l'altimétrie des chevêtres existants.

2.3.2 Charges de trafic

2.3.2.1 Charges d'exploitation

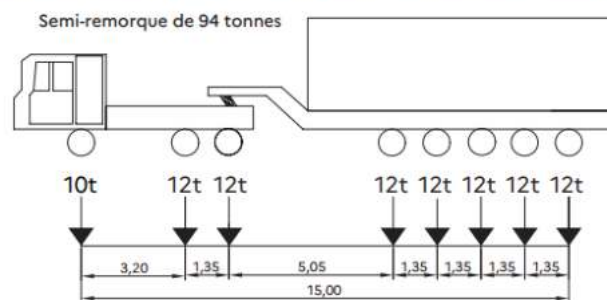
Cet ouvrage est conçu pour supporter les charges routières UDL et TS de l'Eurocode 0 (classe 2), et le MC120 du Fascicule 61 titre II de 1971.

D'après la DUP de 1998, la RN141 est classée en 3^{ème} catégorie C2, elle permet le passage des convois exceptionnels de largeur > 4 m, de longueur > 25 m et de poids > 70 tonnes.

La RN141 au nord de la Bonnieure est sur le réseau TE120 et est au sud (ouvrages inclus), sur le réseau 94T.

Les convois à considérer sont détaillés dans le Guide Transport Exceptionnel du Cerema de décembre 2022. Les convois sont donnés ci-dessous :

Figure 19 : Deux convois types de 94 tonnes pour la vérification des ouvrages existants



Le semi-remorque de 94 tonnes peut être considéré selon la modélisation simplifiée suivante :

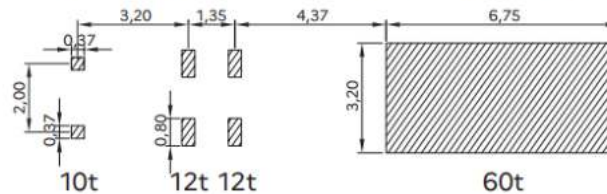
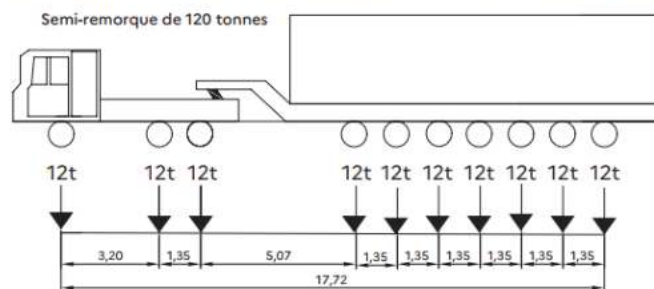


Figure 5 : Convoi TE 94.

Figure 24 : Deux convois types de 120 tonnes pour la vérification des ouvrages existants



Le semi-remorque de 120 tonnes peut être considéré selon la modélisation simplifiée suivante :

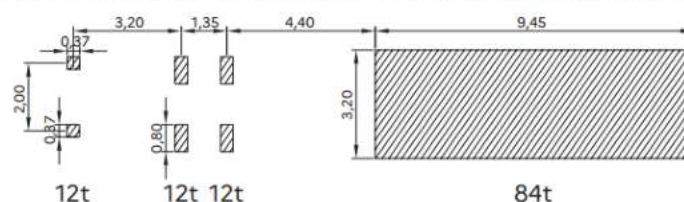


Figure 6 : Convoi TE120

2.3.2.2 Charges de chantier

Il n'y a pas de surcharge de chantier spécifique à prendre en compte pour cet ouvrage.

2.3.3 Exigences architecturales

Une notice architecturale « Opération RN 141 mise à 2x2 voies entre Chasseneuil et Exideuil – note architecturale – V.3 » a été émise et devra être respectée.

2.3.4 Equipements

2.3.4.1 Dispositifs anti-bruit

Un écran acoustique d'une hauteur de 1,00 m est prévu en bord de l'ouvrage.

2.3.4.2 Recueil des eaux

L'eau de l'ouvrage sera évacuée par un caniveau fil d'eau, côté Angoulême, qui en aval se rejettent dans les cunettes béton de la section courante. Actuellement des cunettes sont présentes côté Angoulême, mais elles suivent le rétrécissement du passage de deux fois deux voies à bidirectionnelle. Les cunettes seront reprises pour être en bord de la section courante à deux fois deux voies.

2.3.4.3 Dispositifs de retenue

Les dispositifs de retenue seront de niveau H2 de chaque côté de l'ouvrage.

2.3.4.4 Couche de roulement

Le tablier de l'ouvrage reçoit une couche de roulement constituée par 8 cm de béton bitumineux.

2.3.4.5 Etanchéité

L'étanchéité sera assurée par une chape en asphalte coulé bicouche de 3 cm d'épaisseur ou des feuilles préfabriquées de 1 cm d'épaisseur. Les relevés d'étanchéité sont réalisés en feuilles préfabriquées protégées par des solins en aluminium.

2.3.4.6 Réseaux sur ouvrage

Aucun réseau n'est prévu sur l'ouvrage de doublement.

3 SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Ce chapitre permet de recenser les solutions techniques pour le doublement de l'ouvrage existant, adaptées aux contraintes du site et d'en donner les principales caractéristiques.

3.1 Etablissement des solutions envisageables

Les solutions envisageables résultent de l'analyse des contraintes relatives à ce projet.

3.1.1 Choix du tablier

- Les tabliers les mieux adaptés au franchissement du lit majeur de la Bonnieure, sur une brèche de 150,00 m, sont des ouvrages mixtes de type bipoutre. La charpente pourra être lancée depuis la rive côté Limoges,
- Au vu du profil en travers, d'une largeur totale de 12,55 m, l'espacement transversal des poutres de la charpente sera de 6,40 m quelles que soient les travures envisagées,
- Les épaisseurs de dalle seront identiques quelles que soient les travures retenues : 0,35 m au droit des poutres, 0,25 m à mi-distance des poutres et en bords de dalle. La coupe transversale de la dalle est constante longitudinalement. La coupe transversale de la dalle figure en 2.3.1 2.3.1.4.

3.1.2 Nombre de travées

L'ouvrage existant est un bipoutre mixte de 5 travées. Ses travures, d'Angoulême à Limoges, sont les suivantes : 30,00 m ; 40,00 m, 35,00 m, 27,00 m ; et 18,00 m.

Un doublement à l'identique est naturellement envisageable.

Toutefois, les solutions suivantes ont été analysées :

- Doublement à l'identique à 5 travées,
- Ouvrage à 2 travées,
- Ouvrages à 3 travées,
- Ouvrages à 4 travées.

3.2 Solution du doublement à l'identique à 5 travées

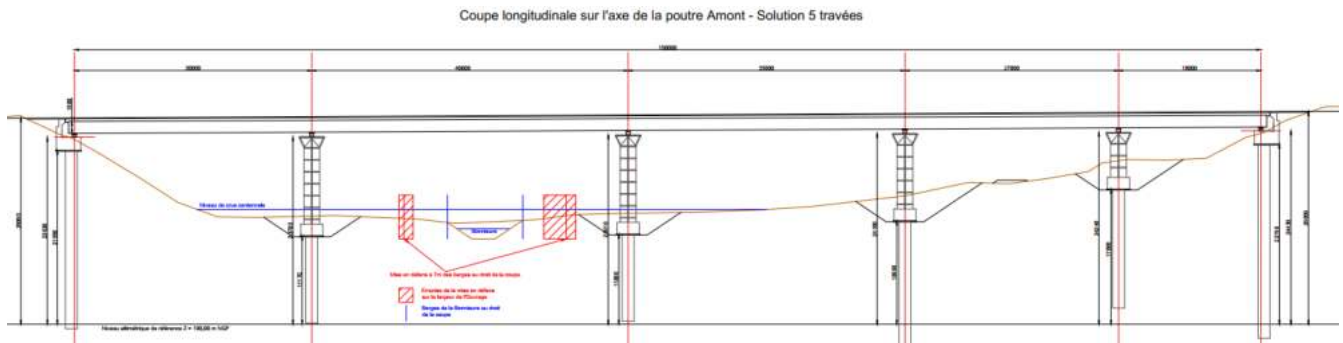


Figure 7 : Coupe Longitudinale de la solution à 5 travées.

Dans le cas du doublement d'un ouvrage existant, un doublement à l'identique est naturel car il présente les avantages suivants :

- Alignement des appuis, ce qui engendre un impact faible sur l'écoulement hydraulique, comme le montre le rapport « Modélisation Hydraulique » du 07-09-2021 par Egis,
- Conserver les travées permet d'obtenir une hauteur de poutre proche des poutres existantes (les sections peuvent légèrement varier compte tenu des évolutions réglementaires). Cette disposition aboutit à une homogénéité d'ensemble et favorise l'insertion paysagère,
- Cette solution permet aussi d'obtenir des réactions d'appuis proche de l'existant et ainsi de reconduire les géométries des appuis (culées et piles).

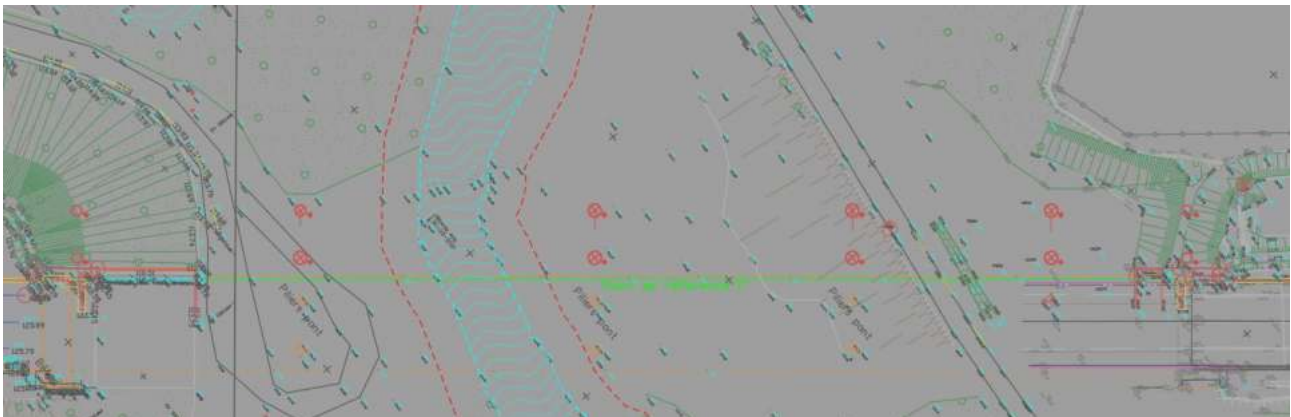


Figure 8 : Implantation des lignes d'appuis en rouge, de l'ouvrage de doublement. En pointillé rouge figure la distance minimale de 5,00 m de mise à défens.

Cette solution a été étudiée. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Les distances des lignes d'appuis adjacentes à la Bonnieure par rapport aux berges sont : côté Angoulême, la ligne d'appui P1 est à 16,00 m de la berge ; côté Limoges, la ligne d'appuis P2 est à environ 12,00 m de la berge,
- La ligne d'appui P3 tombe en revanche en tête du remblai support du chemin agricole et d'accès situé du côté Limoges.
- Cette solution a pu être dimensionnée avec une hauteur de poutre de 1,50 m. Les épaisseurs maximales obtenues pour les tôles sont de : 20 mm pour l'âme, 80 mm pour la semelle supérieure et 100 mm pour la semelle inférieure. Toutes les tôles sont en S355. La charpente (poutres, entretoises et raidisseurs) représente un poids total de 302 t.

Les premières conclusions de cette solution sont les suivantes :

- Contraintes vis-à-vis de la Bonnieure :
La solution est bien adaptée vis-à-vis du respect des distance de mise en défens. L'objectif d'une distance minimale de mise en défens de 7,00 m sera aisément atteint. Les appuis étant réalisés au droit de ceux existant, aucun obstacle supplémentaire n'est généré vis-à-vis de l'écoulement des eaux.
- Contraintes vis-à-vis du chemin agricole :
La position de la ligne d'appui P3 impose soit de dévier le chemin agricole et son fossé, soit de mettre en place un soutènement définitif d'environ 4,00 m de hauteur autour de la semelle de la pile,
- Principaux résultats :
Les études préliminaires ont mis en avant que les réactions d'appuis minimales au niveau de la culée C5 (côté Limoges) sont proches d'un décollement en raison d'une longueur faible de la travée de rive, de 18,00 m. Une dénivellation d'appui pourra être envisagée afin d'augmenter cette valeur minimale.
Cette solution ne présente pas de difficulté de dimensionnement particulière : les épaisseurs de tôle obtenues sont raisonnables (épaisseurs inférieures à 120 mm).
Les réactions d'appuis sont compatibles avec des fondations profondes avec des pieux de 1500 mm de diamètre : une seule file de deux pieux par appuis (culées et piles).
- Mode de construction :
Les longueurs des travées ne présentent pas de difficultés au lancement de la charpente depuis la culée côté Limoges : le lancement pourra aisément être réalisé en deux phase.

3.3 Solution à 2 travées

Coupe longitudinale sur l'axe de la poutre Amont - Solution 2 travées

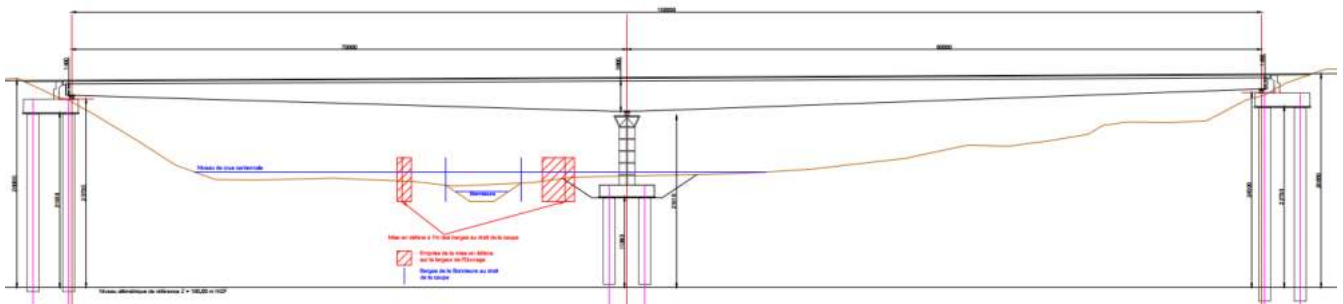


Figure 9 : Coupe Longitudinale de la solution à 2 travées.

Une solution à 2 travées est compatible avec une brèche de 150,00 m.

Deux travées équilibrées de 75,00 m auraient pu être envisagées. Toutefois, un alignement avec les appuis existants a été privilégié, ce qui conduit à des travées de 70,00 et 80,00 m.

L'axe de la pile est alors situé à une distance d'environ 12,00 m de la berge côté Limoges.

Le prédimensionnement conduit à une hauteur de poutre de 3,80 m ; bien supérieur à la hauteur de 1,40 m de l'ouvrage existant.

Afin de conserver des niveaux de chevêtre proches, entre le doublement et l'existant, une hauteur linéairement variable de 1,40 m sur culée et 3,80 m sur pile a été retenue pour l'étude.

Le dimensionnement de cette solution a montré que la mise en place d'une dénivellation d'appui sur pile, habituellement favorable aux zones de moment négatif, n'est pas envisageable en raison de la variation de hauteur de la poutre car elle conduit à des moments positifs excessifs en milieu de la travée la plus longue.

En l'absence de dénivellation d'appui, le dimensionnement conduit à un tronçon en acier S460 d'environ 30 m de long, centré sur l'appui intermédiaire. La solution peut donc être justifiée mais avec de l'acier S460 et des épaisseurs importantes de tôle de 120 mm pour la semelle inférieure sur environ toute la longueur de l'ouvrage. La charpente (poutres, entretoises et raidisseurs) représente un poids total de 433 t.

La solution à deux travées de 70 et 80,00 m présente les caractéristiques suivantes :

- **Contrainte paysagère :**
Le doublement à deux travées présente des caractéristiques géométries très différentes de l'ouvrage existant. Ces différences engendrent une hétérogénéité visuelle qui nuit à l'insertion paysagère,
- **Contraintes vis-à-vis de la Bonnieure :**
La solution est bien adaptée vis-à-vis du respect des distance de mise en défens. L'objectif d'une distance minimale de mise en défens de 7,00 m sera aisément atteint. L'appui est réalisé au droit d'un appui existant, aucun obstacle supplémentaire n'est généré vis-à-vis de l'écoulement des eaux.
- **Contraintes vis-à-vis du chemin agricole :**
Cette solution ne présente aucune gêne vis-à-vis des chemins d'accès.
- **Principaux résultats :**
La stabilité des fondations n'a pas été étudiée pour cette solution. Cependant, au vu de l'intensité des réactions d'appui et des efforts horizontaux sur culées, il sera nécessaire de passer à deux files de 2 pieux de 1500 mm de diamètre par culée. Ceci conduit à élargir le chevêtre, actuellement de 3,10 m, à au moins 5,00 m de large. Ceci est difficilement compatible avec la géométrie actuelle des culées et des remblais : des adaptations sont nécessaires et pourrait conduire à fonder les culées plus profondément. Ce qui complique leur réalisation en présence de la culée existante.
Le dimensionnement en service de cette solution est à la limite de la faisabilité : les épaisseurs de tôle sont importantes et un tronçon en S460 est nécessaire (nous sommes à la limite du domaine d'emploi de ce type de structure).
Le poids de la charpente est élevé et aura un impact financier non négligeable.
- **Mode de construction :**
Le lancement devra faire l'objet d'une étude approfondie.
La longueur de la plateforme de lancement est estimée à ce jour à environ 120,00 m, ce qui est incompatible avec un lancement sans palée provisoire.
Des surcoûts sont donc à prévoir pour l'opération de lancement

3.4 Solution à 3 travées

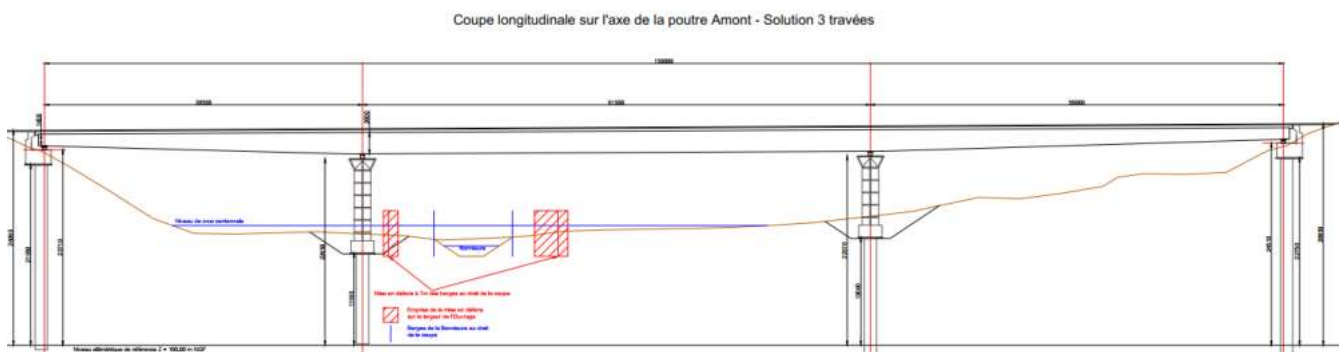


Figure 10 : Coupe Longitudinale de la solution à 3 travées.

La brèche à franchir fait 150,00 m.

En l'absence de l'ouvrage existant et de contraintes de site, une solution à trois travées est optimale pour un tel franchissement avec des travures de 45,00 m, 60,00 m et 45,00 m (balancement de 0,75).

Le balancement (rapport de la travée de rive sur la travée principale) optimum d'un ouvrage à trois travées est compris entre 0,6 et 0,8.

La position de la Bonnieure et du chemin d'accès agricole nécessite de s'éloigner de ce balancement idéal.

Seules des solutions, où le balancement est en dehors ou en limite de la plage de balancement technico-économique (0,6 ; 0,8) sont compatibles avec les contraintes de site. Dans tous les cas, un alignement des appuis intermédiaires avec les appuis existants n'est pas possible.

Pour cette étude, la solution 38,50 m, 61,50 m, 50,00 m a été retenue. Ce choix résulte du raisonnement suivant :

- Respecter une distance minimale de mise en défens de 5,00 m avec la Bonnieure en phase travaux impose une longueur maximale de la travée de rive côté Angoulême de 38,50 m,
- Côté Limoges, une longueur de 50,00 m de la travée de rive a été retenue afin de réduire l'impact le remblai du chemin d'accès agricole, tout en respectant le balancement maximum de 0.8 (le balancement obtenu est de 0.81).
- La longueur de la travée centrale est compatible avec le balancement minimum de la travée de rive côté Angoulême (le balancement obtenu est de 0,62)

Le prédimensionnement des poutres conduit à une hauteur totale de 2,60 m. Comme pour le 2 travées, une variation linéaire de la hauteur des poutres est envisagée pour les travées de rive : de 1,40 m sur culées à 2,60 m sur appuis intermédiaires.

A ce stage, cette solution à 3 travées présente les inconvénients suivants :

- La distance minimale de 5,00m de mise à défens en phase travaux est tout juste respectée avec des dispositions particulières de blindage hors des fouilles. Une distance plus importante (7,00 m visée par le maître d'ouvrage) ne peut pas être envisagée,
- Les appuis intermédiaires ne sont pas alignés avec ceux de l'existant. Les appuis constituent des obstacles supplémentaires vis-à-vis de l'écoulement des eaux,
- L'impact vis-à-vis du chemin d'accès agricole côté Limoges est diminué par rapport à un doublement à l'identique mais n'est pas totalement évité. Des adaptations restent donc à apporter (dévoisement ou soutènement définitif),
- Les balancements retenus sont dans le domaine d'emploi non optimal pour un ouvrage à trois travées. Ce point est accentué par la présence d'hauteur variable des travées de rives.

Au vu de ces inconvénients, l'étude approfondie de cette solution n'apparaît pas pertinente.

Toutefois, en vue de pouvoir intégrer cette solution dans une comparaison financière avec les autres solutions :

- Le poids de charpente a été calculé à l'aide de formule de prédimensionnement,
- Les dimensions des piles et de leurs fondations sont similaires à celle du 4 et du 5 travées,
- La géométrie des culées a été prise identique à celle du 2 travées, la longueur des pieux a toutefois été réduite (coefficient de 0,85).

3.5 Solution à 4 travées

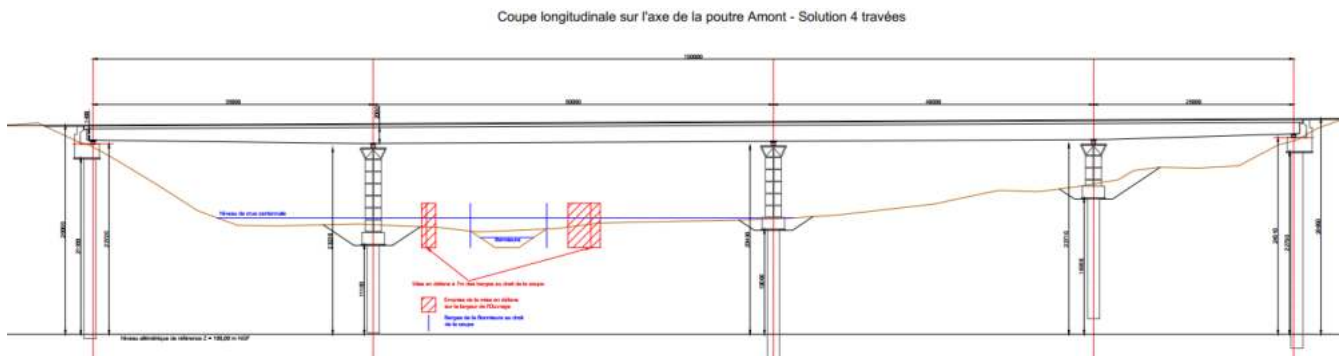


Figure 11 : Coupe Longitudinale de la solution à 4 travées.

Compte tenu des travures de l'ouvrage existant, et pour respecter l'alignement des appuis intermédiaire, un ouvrage à 4 travées de 30 m, 40 m, 35 m et 45 m peut être envisagé.

Cependant, de telles travures présentent les inconvénients suivants :

- Cette solution est mal équilibrée (balancement supérieure à 1 côté Limoges),
- Un appui tombe au droit du remblai du chemin d'accès agricole.

Une solution 4 travées avec ces travures est donc à écarter car elle n'apporte pas d'avantage par rapport à la solution à 5 travées et conduit à des hauteurs de poutre plus importantes.

Un balancement favorable et qui respecte les contraintes de site conduit à retenir les travures suivantes : 35 m, 50 m, 40 m et 25 m (les balancements sont respectivement de 0,70 et 0,63).

Cette solution a l'avantage de respecter à la fois les distances de mises à défens de la Bonnière (la distance minimale entre axe d'appui intermédiaire P1 et la berge est de 6,00 m) et le chemin d'accès agricole (pas de perturbation du chemin agricole et de son remblai ; distance minimale de 4,90 m entre l'axe de l'appui intermédiaire P3 et le fossé du chemin agricole).

Seules deux lignes d'appuis intermédiaires (P1 et P2) sont dans le lit majeur de la Bonnière (cas d'une crue théorique centennale à une altimétrie $Z_{100} = 114,51 \text{ m}_{\text{NGF}}$), tout en étant éloigné du lit mineur.

Cette solution a été étudiée. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Les distances des lignes d'appuis adjacentes à la Bonnière par rapport aux berges sont : côté Angoulême, la ligne d'appui P1 est à 6,00 m de la berge ; côté Limoges, la ligne d'appuis P2 est à environ 21,60 m de la berge,
- La ligne d'appui P3 tombe en revanche en dehors du chemin agricole et d'accès situé du côté Limoges (distance minimale de 4,90m entre l'axe de l'appui intermédiaire P3 et le fossé du chemin agricole),
- Cette solution a pu être dimensionnée avec une hauteur de poutre de 2,00 m. Afin de conserver un niveau de chevetre proche entre l'ouvrage de doublement et l'existant, la hauteur des poutres des travées de rive varie linéairement de 1,40 m sur culées à 2,00 m sur appuis intermédiaires. Les épaisseurs maximales obtenues pour les tôles sont de : 24 mm pour l'âme, 90 mm pour la semelle supérieure et 120 mm pour la semelle inférieure. Toutes les tôles sont en S355. La charpente (poutres, entretoises et raidisseurs) représente un poids total de 433 t.

Les premières conclusions concernant cette solution sont les suivantes :

- Contraintes vis-à-vis de la Bonnière :
L'objectif d'une distance minimale de mise en défens de 7,00 m n'est pas atteint, et le critère de 5,00m minimum est difficilement respecté : la distance minimale entre l'axe de l'appui intermédiaire P1 et la berge étant de 6,00 m.
Des obstacles supplémentaires sont créés par l'ajout de 2 appuis intermédiaires dans le lit majeur de la Bonnière (les appuis n'étant pas alignés avec ceux de l'existant).
- Contraintes vis-à-vis du chemin agricole :

La position de la ligne d'appui P3 est compatible avec la position du chemin et de son fossé.

- Principaux résultats :
Cette solution ne présente pas de difficulté de dimensionnement particulière : les épaisseurs de tôle obtenues sont raisonnables (épaisseurs inférieures à 120 mm).
La stabilité des fondations n'a pas été étudiée pour cette solution, les résultats doivent être proches d'un doublement à l'identique.
- Mode de construction :
Les longueurs des travées ne présentent pas de difficultés au lancement de la charpente depuis la culée côté Limoges.

4 ESTIMATION FINANCIERE

4.1 Grille des prix unitaires

L'estimation de chacune des solutions est établie sur la base des principaux prix unitaires synthétisés.

Ces prix unitaires, servant de base à l'établissement de l'estimation des solutions proposées, sont en ligne avec les prix proposés par les Entreprises pour des marchés de travaux récents majorés pour tenir compte du niveau de détails des études préliminaires.

Libellé - Nature des travaux	Unité	Prix Unitaire H.T.
blindages provisoires degagement emprise	m2	200
blindages definitif	m2	700
Déblais de fouilles	m3	40
Fouilles dans blindage définitif	m3	100
pompage	m3	200
Demolition de Béton Armé	m3	250
béton de proprete	m2	30
Béton C35/45	m3	300
Béton pour tablier	m3	400
Coffrage	m2	180
Outil Coffrant pour tablier	ft	400000
Ferailage	kg	2
Pieux ϕ 1500m	ml	1650
Fourniture tube forage	kg	2.5
Charpente		
Fourniture, faconnage et transport des toles	kg	4
Assemblage, montage de l'ossature du tablier	kg	0.7
Plus-value S460	kg	0.6
Protection anti-corrosion (C4ANV)	m2	50
Fortait lié a la réalisation	ft	150000
Superstructure Equipement		
Bossage et Appareil d'Appui	u	3000
butee anti-sismique longitudinale	u	5000
butee anti-sismique transversale	u	5000
Joint de Chaussée	ml	2000
Dispositif de retenu BN-H2	ml	300
Etancheite	m2	80
Etanchéité latéral	ml	200
Etanchéité caniveau BA	m2	80
Etanchéité Lateral caniveau BA	ml	200
Avaloir	u	350
chaussée sur ouvrage	t	200
Repere de nivellement	ft	5000
corniches architecturales	ml	500
ecran anti-bruit	m2	580
caillebotis	m2	400

4.2 Estimation des solutions envisagées

Les estimations des coûts de génie-civil des solutions pour le doublement de l'ouvrage sur la Bonniere sont données ci-dessous :

Libellé	Unite	P.U. [€ H.T.]	5 Travées		2 Travées		3 Travées		4 Travées	
			30m - 40m - 35m - 27m - 18m		70m - 80m		38,5m - 61,5m - 50,0m		35m - 50m - 40m - 25m	
			Q	Montant	Q	Montant	Q	Montant	Q	Montant
Installations, Etudes, Divers			15% 803 406		15% 1 140 360		15% 900 042		15% 843931	
			<i>total</i> 803 406		<i>total</i> 1 140 360		<i>total</i> 900 042		<i>total</i> 843931	
Culées			600 120 000		600 120 000		600 120 000		600 120 000	
blindages provisoires degagement emprise	m2	200	600	120 000	600	120 000	600	120 000	600	120 000
Demolition de Béton Armé	m3	250	20	5 000	20	5 000	20	5 000	20	5 000
béton de propreté	m2	30	16	480	18	540	18	540	16	480
Déblais de fouilles	m3	40	3 500	140 000	3 500	140 000	3 500	140 000	3 500	140 000
Coffrage	m2	180	200	36 000	248	44 640	248	44 640	200	36 000
Béton C35/45	m3	300	284	85 200	406	121 800	406	121 800	284	85 200
Ferrailage (220kg/m3)	kg	2	62 480	124 960	89 320	178 640	89 320	178 640	62 480	124 960
Pieux φ1500m	ml	1 650	104	171 600	208	343 200	178	293 700	109	180 180
Fourniture tube forage	kg	2.5	62 976	157 440	125 952	314 880	103 460	258 650	66 876	167 190
			<i>total</i> 840 680		<i>total</i> 1 268 700		<i>total</i> 1 162 970		<i>total</i> 859 010	
Piles										
<i>blindage provisoire - deblois</i>										
blindage provisoire/définifitif	m2	200/700	387	144 900	98	19 600	112	22 400	211	42 200
fouilles/fouilles dans blindage définitif	m3	40/100	562	34 240	207	8 280	155	6 200	293	17 660
pompage	m3	200	80	16 000	53	10 600	40	8 000	75	15 000
<i>pieux - beton proprete - semelle</i>										
Pieux φ1500m	ml	1 650	158	260 700	76	125 400	72	118 800	114	188 100
Fourniture tube forage	kg	3	88 468	221 170	41 984	104 960	38 986	44 985	62 977	157 443
béton de propreté	m2	30	12	360	7	210	6	180	9	270
Coffrage	m2	180	128	23 040	47	8 460	74	13 320	111	19 980
Béton C35/45	m3	300	160	48 000	87	26 100	80	24 000	120	36 000
Ferrailage (190kg/m3)	kg	2	30 400	60 800	16 530	33 060	15 200	30 400	22 800	45 600
<i>fûts et chevrete</i>										
Coffrage	m2	180	454	81 720	129	23 220	246	44 280	342	61 560
Béton C35/45	m3	300	301	90 300	83	24 900	160	48 000	226	67 800
Ferrailage (220kg/m3)	kg	2	66 220	132 440	18 260	36 520	35 200	70 400	49 720	99 440
			<i>total</i> 1 113 670		<i>total</i> 421 310		<i>total</i> 430 965		<i>total</i> 751 053	
TABLIER										
<i>Charpente</i>										
Fourniture, façonnage et transport des tole	kg	4	302 000	1 208 000	750 000	3 000 000	519 000	2 076 000	433000	1732000
Assemblage, montage de l'ossature du tabl	kg	0.7	302 000	211 400	750 000	525 000	519 000	363 300	433000	303100
Plus-value S460	kg	0.6	0	0	151 000	90 600	0	0	0	0
Protection anti-corrosion (C4ANV)	m2	50	1 985	99 250	3 235	161 750	2 320	116 000	2280	114000
Fortait lié a la réalisation	ft	150 000	1	150 000	3	450 000	1	150 000	1	150000
			<i>total</i> 1 668 650		<i>total</i> 4 227 350		<i>total</i> 2 705 300		<i>total</i> 2299100	
<i>Hourdis</i>										
Outil Coffrant pour tablier	ft	400 000	1	400 000	1	400 000	1	400 000	1	400000
Béton pour tablier	m3	400	580	232 000	580	232 000	580	232 000	580	232000
Ferrailage (300kg/m3)	kg	2	174 000	348 000	174 000	348 000	174 000	348 000	174000	348000
			<i>total</i> 980 000		<i>total</i> 980 000		<i>total</i> 980 000		<i>total</i> 980000	
Superstructure Equipement										
Bossage et Appareil d'Appui	u	3 000	12	36 000	6	18 000	8	24 000	10	30000
butee anti-sismique longitudinale	u	5 000	2	10 000	2	10 000	2	10 000	2	10000
butee anti-sismique transversale	u	5 000	12	60 000	6	30 000	8	40 000	10	50000
Joint de Chaussée	ml	2 000	26	52 000	26	52 000	26	52 000	26	52000
Dispositif de retenu BN-H2	ml	300	300	90 000	300	90 000	300	90 000	300	90000
Étancheité	m2	80	1 463	117 040	1 463	117 040	1 463	117 040	1463	117040
Étanchéité latéral	ml	200	300	60 000	300	60 000	300	60 000	300	60000
Étanchéité caniveau BA	m2	80	75	6 000	75	6 000	75	6 000	75	6000
Étanchéité Lateral caniveau BA	ml	200	300	60 000	300	60 000	300	60 000	300	60000
Avaloir	u	350	16	5 600	16	5 600	16	5 600	16	5600
chaussée sur ouvrage	t	200	281	56 200	281	56 200	281	56 200	281	56200
Repere de nivellement	ft	5 000	1	5 000	1	5 000	1	5 000	1	5000
corniches architecturales	ml	500	150	75 000	150	75 000	150	75 000	150	75000
ecran anti-bruit	m2	580	150	87 000	150	87 000	150	87 000	150	87000
caillebotis	m2	400	83	33 200	83	33 200	83	33 200	83	33200
			<i>total</i> 753 040		<i>total</i> 705 040		<i>total</i> 721 040		<i>total</i> 737040	
TOTAL [€ H.T.]			6 159 446		8 742 760		6 900 317		6 470 134	

4.3 Synthèse des estimations

Récapitulatif par postes principaux - Montant € H.T.				
	5 Travées	2 Travées	3 Travées	4 Travées
Installations, Etudes, Divers	803 406	1 140 360	900 042	843 931
Culée C0	390 340	604 350	551 485	399 505
Pile P1	245 935	421 310	241 115	249 883
Pile P2	260 030		189 850	260 120
Pile P3	383 563			241 050
Pile P4	224 143			
Culée C5	450 340	664 350	611 485	459 505
Tablier - Charpente	1 668 650	4 227 350	2 705 300	2 299 100
Tablier - Hourdis	980 000	980 000	980 000	980 000
Superstructures, Equipements	753 040	705 040	721 040	737 040
TOTAL [€ H.T.]	6 159 446	8 742 760	6 900 317	6 470 134
Aléas 5%	307 973	437 138	345 016	323 507
TOTAL [€ H.T.]	6 467 419	9 179 898	7 245 333	6 793 641

L'analyse comparative montre qu'une réduction du nombre d'appui engendre des économies faibles (fondations et piles) en comparaison aux surcoûts de charpente.

La solution à 5 travées est de fait la moins chère. La solution à 4 travées est également économique et affiche un prix similaire à la solution à 5 travées. En revanche, les solutions à 2 travées et 3 travées engendrent des surcoûts importants qui peuvent être estimés à environ 40% pour la solution à 2 travées, et environ 10% pour la solution à 3 travées.

5 COMPARAISON DES SOLUTIONS

Une comparaison des solutions est réalisée à partir d'une analyse technique issue du chapitre 3 et de l'analyse financière issue du chapitre 4.

5.1 Tableau multicritères

		A l'identique 5 Travées					2 Travées		3 Travées			4 Travées							
		C0	P1	P2	P3	P4	C5	C0	P1	C2	C0	P1	P2	C3	C0	P1	P2	P3	C4
		30,00	40,00	35,00	27,00	18,00		70,00	80,00		38,50	61,50	50,00		35,00	50,00	40,00	25,00	
Berges Bonnieure	Objectif : mise visé défens de 7,00m ; minimum de 5,00m	distance axe P1 : 16,00m distance axe P2 : 12,00 m Distance de mise en défens de 7 m respectée Appuis alignés avec l'existant : pas d'obstacle supplémentaire.					distance axe pile : 12,00m Distance de mise en défens de 7 m respectée Appui aligné avec l'existant : pas d'obstacle supplémentaire.		Distance de mise en défens de 5,00m tout juste respectée. Objectif visé de 7,00m non-atteint. Appuis non-alignés avec l'existant : obstacles supplémentaires dans le lit majeur de la Bonnieure.			distance axe P1 : 6,00m distance axe P2 : 21,60 m Distance minimale de mise en défens de 5,00m sera difficile à respecter. Appuis non-alignés avec l'existant : 2 obstacles supplémentaires dans le lit majeur de la Bonnieure (P1 et P2).							
Chemin d'accès et fossé		Appui intermédiaire P3 tombe en tête du remblais					pas d'appuis - OK		Adaptations légères à prévoir. Impact moindre que le doublement à l'identique.			OK - distance minimale de 4,90m entre l'axe de l'appui P3 et le fossé du chemin							
Charpente	hauteur totale poutre	1,50m					Variation linéaire de 1,40m sur culées à 3,80m sur appui intermédiaire.		Variation linéaire de 1,40m sur culées à 2,60m sur appuis intermédiaires. Balancement hors plage économique.			Variation linéaire de 1,40m sur culées à 2,00m sur appuis intermédiaires. Balancement OK							
	épaisseur max. âme	20mm					28mm		/			24mm							
	épaisseur max. semelle sup.	80mm					80mm		/			90mm							
	épaisseur semelle inf.	100mm					120mm		/			120mm							
	nuance	tout en S355					S355 et 30,00m en S460		/			tout en S355							
Poids de la charpente (poutres+entretoises+raideurs)		302t					744t (594t en S355 et 150t en S460)		/			433t							
Fondations		1 file de 2 pieux φ1500 par appui					Non étudiées. Certainement 2 files de 2 pieux φ1500 sur culées soit augmentation des dimensions des chevêtres.		/			Non étudié mais les résultats devraient être proche d'un doublement à l'identique.							
Lançage		Depuis culée C5 côté Limoges sans difficulté particulière					Devra faire l'objet d'une étude approfondie. Palées provisoires seront nécessaires.		/			Depuis culée C5 côté Limoges.							
Insertion paysagère		Favorable (hauteur du tablier proche, travures identiques)					Forte variation d'hauteur des poutres Mais un unique appui aligné.		Appuis non-alignés et variation de la hauteur des poutres			Appuis non-alignés. Faible variation de la hauteur des poutres.							

5.2 Analyse comparative

5.2.1 Aspect hydraulique

Quel que soit l'implantation des piles intermédiaires dans le lit majeur de la Bonnieure, leurs impacts sur l'écoulement hydraulique sont faibles. En effet, ce sont les remblais, et notamment le remblai de la culée côté Angoulême qui influent sur l'écoulement des eaux.

Les remblais ayant été réalisés au moment de la construction de l'ouvrage existant, leurs impacts ne peuvent être imputés au doublement de l'ouvrage.

L'impact hydraulique d'un doublement est donc faible. L'impact sera d'autant plus faible que l'implantation des nouveaux appuis seront au droit des appuis de l'ouvrage existant, ce sont donc les solutions à 2 et 5 travées qui respectent au mieux ce critère.

5.2.2 Aspect environnemental

L'impact écologique est surtout lié au respect de la distance de mise en défens vis-à-vis des berges de la Bonnieure. Seules les solutions à 2 et 5 travées respectent ce critère de manière optimale.

La présence du chemin d'accès côté Limoges complique la réalisation des appuis pour la solution 5 travées, et de manière moindre pour la solution à 3 travées. Pour ces solutions, des soutènements définitifs ou un dévoiement du chemin d'accès sont nécessaires.

A ce titre, une étude du dévoiement du chemin a été réalisée par la DIRCO. L'impact environnemental du dévoiement sera évalué par un bureau d'études spécialisé.

Pour les estimations, un soutènement définitif a été retenu.

5.2.3 Aspect technique

Les solutions présentent les avantages et inconvénients suivants :

- La solution à 5 travées est la seule solution qui permet de conserver des poutres à hauteur constante, ce qui facilite la réalisation des poutres et le lançage de la charpente,
- La solution à 2 travées présente des hauteurs de poutres très importantes et nécessite l'utilisation d'acier de nuance S460. Le lançage est compliqué en raison de la longueur à franchir (distance entre la pile et la culée côté Limoges), de la longueur de la plateforme, et de la hauteur variable des poutres sur toute la longueur de l'ouvrage. Une étude approfondie du lançage doit être menée : elle pourrait s'avérer dimensionnante concernant l'épaisseur des tôles et conduire à la mise en place de palées provisoires.
Concernant les appuis et fondations, les réactions d'appuis obligent à passer à 2 files de pieux, ce qui compliquera la réalisation des culées en modifiant leurs géométries par rapport à celles existantes.
- La solution à 3 travées n'apparaît pas intéressante car les possibilités d'implantation des appuis ne permettent pas un balancement correct des travées. La structure obtenue ne fonctionne pas dans sa plage idéale ce qui conduit à un surplus de charpente. De plus, les autres critères (distance de mise en défens et impact sur le chemin d'accès côté Limoges) sont difficilement atteints,
- La solution à 4 travées est intéressante techniquement : son balancement est correct, et elle présente des variations de hauteur de poutres, mais qui sont faibles et uniquement sur les travées de rive. La solution à 4 travées ne présentera pas de difficulté de lançage.

5.2.4 Aspect économique

Les solutions à 4 et 5 travées sont les plus intéressantes du point de vue économique.

La solution à 2 travées présente un surcoût d'environ 40% lié principalement au surplus de charpente. La solution à 3 travées présente un surcoût plus faible (environ 10%), qui ne serait pas discriminant si cette solution n'intégrait pas d'autres inconvénients (balancement et implantation des appuis).

5.3 Synthèse et proposition

L'analyse multicritères montre que les solutions à 2 et 3 travées ne sont pas techniquement pertinentes et engendrent des surcoûts. Nous préconisons d'écarter ces solutions.

Du point de vue technique, les solutions à 5 et 4 travées sont les plus optimales. La solution à 4 travées permet de solder l'impact sur le chemin d'accès côté Limoges. Mais elle présente des inconvénients concernant l'impact environnemental vis-à-vis de la Bonnieure : la distance minimale (5 m au lieu des 7 m visés) de mise en défens par rapport à la Bonnieure est difficilement respectée ; et concernant l'écoulement hydraulique : les deux appuis situés dans le lit majeur de la Bonnieure ne sont pas alignés avec les appuis de l'ouvrage existant. La solution à 4 travées présente par ailleurs des hauteurs de poutre plus importantes et des appuis intermédiaires non-alignés ce qui nuit à son insertion paysagère.

Finalement, le doublement à l'identique de la Bonnieure nous semble être la solution optimale du point de vue technique, économique, hydraulique et visuel. Son impact sur le chemin d'accès a été identifié et semble mineur par rapport aux inconvénients des autres solutions (respect des distances de mise en défens, alignement des appuis avec l'existant). De plus, ce problème peut être résolu par dévoiement du chemin d'accès (dont l'analyse environnementale est en cours).

En conclusion nous préconisons de retenir la solution de doublement à l'identique, qui est aussi la solution technico-économique pour ce projet.

6 ANNEXES

6.1 Coupes longitudinales des différentes solutions



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN