

Le Luyer jean

Martin Olivier

Perret Olivier

Etude du
VIADUC DU
FELOIN

CONCEPTION DES PONTS

SOMMAIRE

Page de présentation	1
I / Présentation du projet	3
I.1 / Le projet A45	3
I.2 / Les caractéristiques du viaduc.....	3
I.3 / Les contraintes du milieu.....	5
II / Choix du nombre de travée	7
II.1 / Première solution à 4 travées.....	7
II.2 / Deuxième solution à 6 travées	8
II.3 / Solution choisie	9
III / Calcul des fondations	10
III.1/ Calcul des charges	10
III.1.1/ Trafic.....	10
III.1.2 Poids du tablier	10
III.1.3 Epaisseur du tablier.....	10
III.1.4 Dimensionnement de la pile la plus haute	11
III.2 / Calcul de résistance des pieux.....	12
III.3/ Calcul du nombre de pieux nécessaires	13
III.4/Choix de la fondation	19
IV/ Etudes des coûts	21
V/ Conclusion	22

I / Présentation du projet

I.1 / Le projet A45

Le viaduc du Féloin s'inscrit dans le projet A45 entre Saint-Etienne et Lyon. L'A45 devrait relier l'A72 au Nord de Saint-Etienne à l'A450 à Brignais. Ce projet a pour but d'améliorer les échanges entre les agglomérations lyonnaise et stéphanoise. En effet, à l'heure actuelle l'A47 ne réponds pas convenablement aux échanges entre Saint-Etienne et Lyon. Les embouteillages sont récurrents et rendent la circulation très lente aux heures de pointe. L'épisode de crue du Gier de décembre 2003 a notamment montré les faiblesses de cette liaison.

Le projet A45 est d'une longueur de 48 kilomètres, il passe dans la vallée du Gier au nord de l'A72. Il est composé notamment de 4 tunnels et de 11 viaducs qui coûteront à eux seuls la moitié du budget du projet soit 600 M d'euros. Dans notre projet nous allons nous intéresser au viaduc du Féloin.

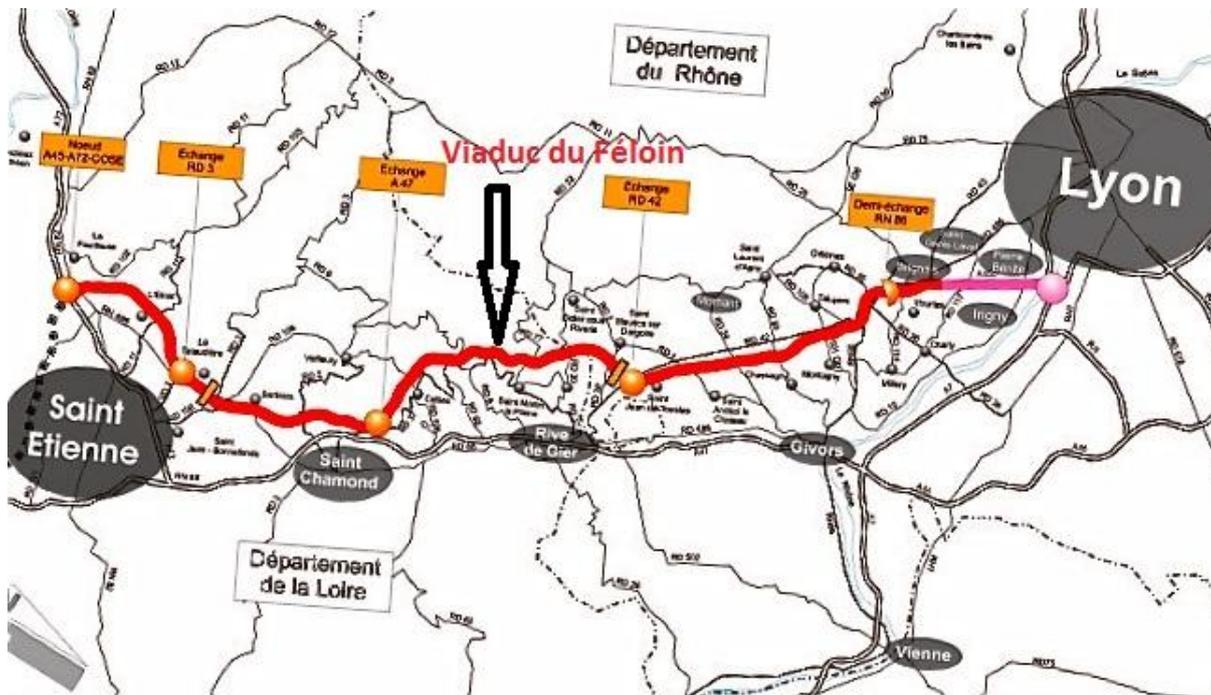


Figure 1 : Ligne de projet A45

I.2 / Les caractéristiques du viaduc

Le viaduc du Féloin se situe entre les abscisses curvilignes 24875 et 25215 du tracé Saint-Etienne→Lyon soit une longueur de 340 mètres entre les appuis de culée. Le tracé en plan du Viaduc a déjà été tracé. Ainsi on peut voir qu'il se compose d'un rayon $R=500m$ sur une longueur de 267,68m et d'une clothoïde sur le reste de l'ouvrage.

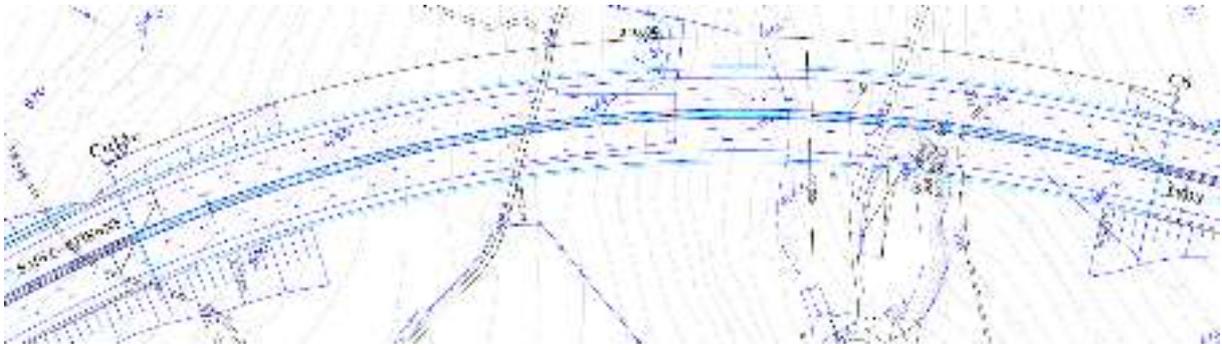


Figure 2 : Tracé en plan du Viaduc du Féloin

On nous a également fournis le profil en long de l'ouvrage. Le viaduc franchit ainsi la vallée du Féloin, un ruisseau, à une hauteur maximale de 39,30m. Les remblais au niveau des culées font 5,40 m de hauteur. On voit également que la ligne rouge présente une pente de 1,5% sur la première partie de l'ouvrage (37,05m) et de 2% sur le reste de l'ouvrage (302,95m) dans le sens Saint-Etienne→Lyon.

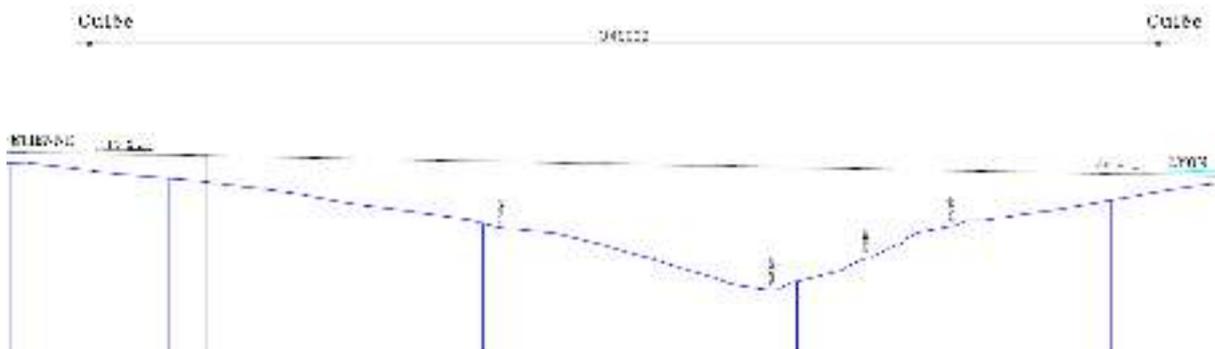


Figure 3 : Profil en long du Viaduc du Féloin

On nous fournis également des données sur le tablier ou plutôt des tabliers. En effet le viaduc se compose de 2 tabliers indépendants séparés de 60cm dont on nous fournis un plan en coupe. Chaque tablier fait 15,5m de large dont :

- 10,5m de chaussée composée de 2 voies élargissables en 3 voies de 3,5m
- 3m de bande d'arrêt d'urgence
- 1m de bande dérasée de gauche
- 0,5m de dispositif de sécurité BN4 de part et d'autre de la chaussée.

Les tabliers sont également inclinés vers l'extérieur avec une pente de 2,5% : des dispositifs de retenue d'eau de type corniche-caniveau seront également installés à l'extérieur de chaque tablier.

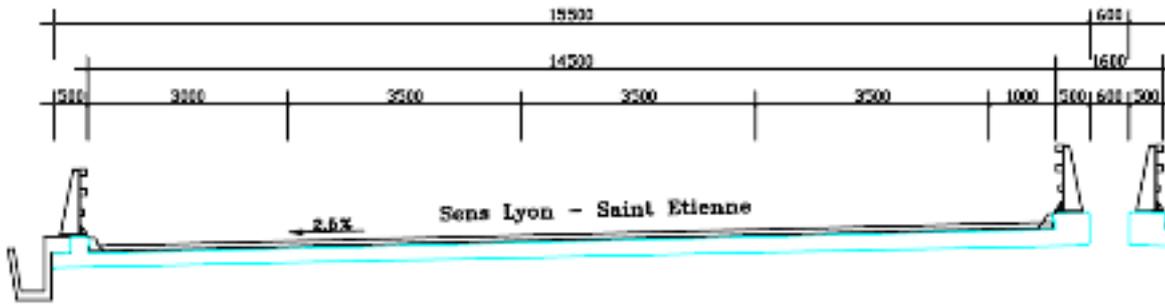


Figure 4 : Profil en travers du tablier sens Lyon-Saint-Etienne du viaduc du Féloin

I.3 / Les contraintes du milieu

Le site du viaduc présente très peu de contraintes de croisements avec d'autres axes ; en effet, il ne va surplomber seulement un chemin communal à l'abscisse 25007 m, et 2 chemins agricoles que l'on pourra éventuellement déplacer de quelques mètres aux abscisses 25123 et 25150. De plus on ne peut construire au niveau du ruisseau du Féloin : les piles ne pourront pas approcher de moins de 10 m le ruisseau soit entre les abscisses 25082 et 25102m. On peut identifier tous ces obstacles sur le tracé en plan et le profil en long.

Les études géotechniques portant sur le sol de la brèche n'ont révélé aucune contrainte particulière : on trouve un substratum sain dès 1m50 de profondeur.

Cependant, le site du viaduc du Féloin doit s'insérer dans un paysage rural et assez pittoresque. Comme on peut le voir sur les vues satellites et les photos ci-dessous, le site est très naturel : un chemin en terre qui sillonne au milieu des champs et des prés. Il faudra donc faire en sorte que le viaduc s'insère au mieux dans ce paysage pour qu'il ne perde pas de son charme.



Figure 5 : Photographie satellite du site du Féloin



Figure 6 : Photographie du site du Féloin

II / Choix du nombre de travée (voir aussi l'annexe)

II.1 / Première solution à 4 travées

La première solution envisagée est la mise en place de deux travées principales de 100 mètres et deux en buté de 70 mètres.

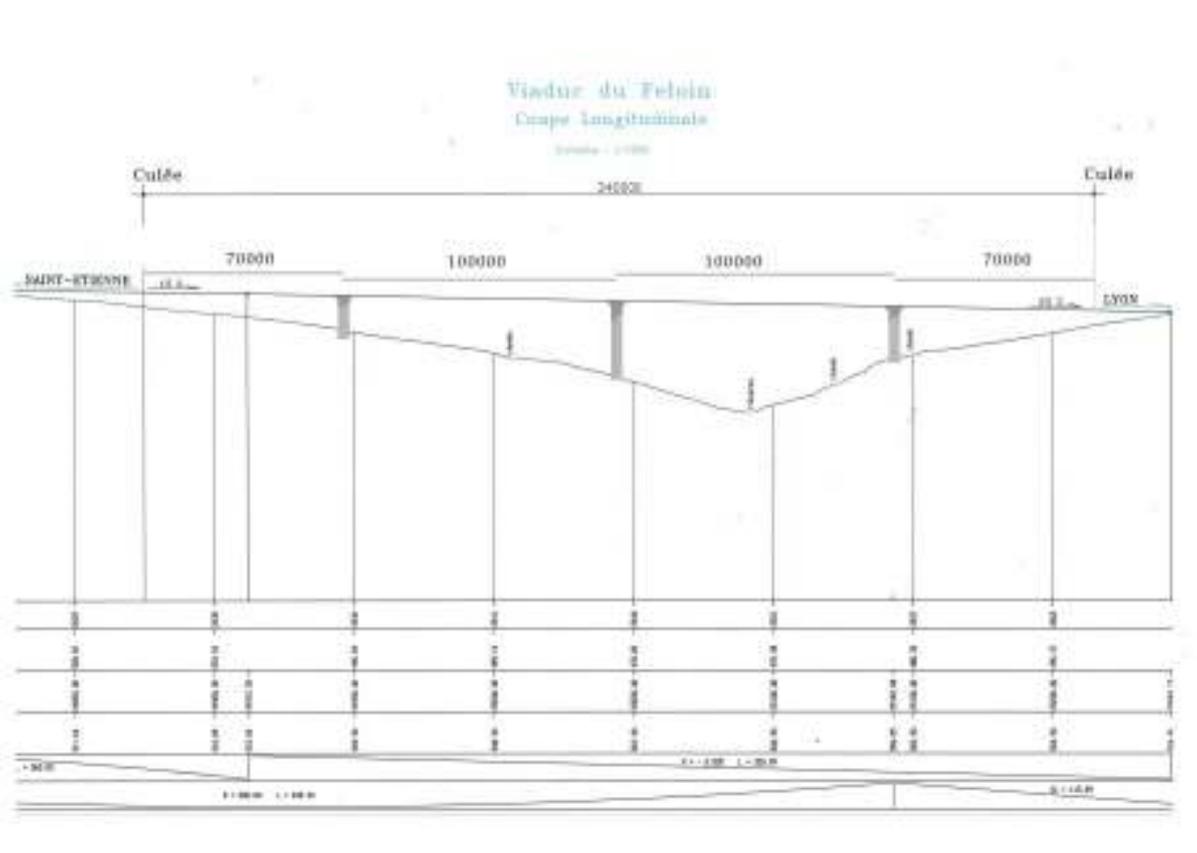


Figure 6 : Profil en en long de la solution à 4 portées



Figure 6 : Profil en en plan de la solution à 4 portées

II.2 / Deuxième solution à 6 travées

La deuxième solution envisagée est la mise en place de 4 travées principales de 65 mètres et deux en buté de 40 mètres.

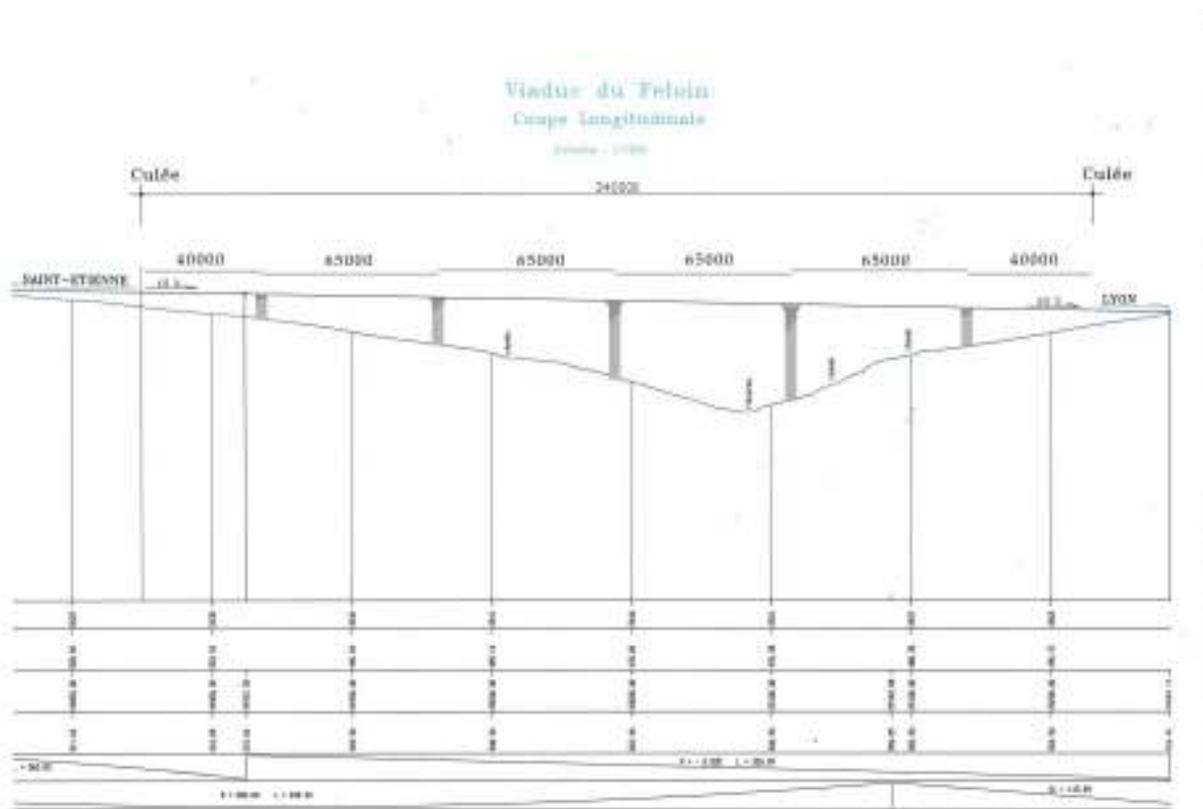


Figure 6 : Profil en en long de la solution à 6 portées



Figure 6 : Profil en en plan de la solution à 6 portées

II.3 / Solution choisie

La deuxième solution présente des portées plus faibles, malheureusement la 4ème pile empiète un peu dans la zone de sauvegarde de la rivière. Cette même pile est aussi la plus haute, ce qui est un fort désavantage en termes de coût par rapport à la première solution.

La solution 1 avec 3 piles sera donc adoptée pour notre étude.

III / Calcul des fondations

III.1/ Calcul des charges

Longueur de franchissement : 340m

2 solutions retenues : -4 travées en Béton Précontraint (BP)
-6 travées pour un pont mixte.

III.1.1/ Trafic

Largeur: $W=14.5\text{m}$, classe 2.

Nombre de voies: $n=E(w/3)=4 \rightarrow 4*3\text{m}+2.5\text{m}$.

	TS (kN)	UDL (kN/m)
Voie 1	$0.9*2*300$	$0.7*9*3$
Voie 2	$0.8*2*200$	$1*2.5*3$
Voie 3	$0.8*2*100$	$1*2.5*3$
Voie 4	0	$1*2.5*3$
Ar	0	$1*2.5*2.5$
Total	1020 kN	47.65 kN/m
4 travées	1020 kN	4765 kN
6 travées	1020 kN	3097.25 kN

Solution	Charge totale
4 travées	5785 kN
6 travées	4117.25 kN

→ Solution retenue : 4 travées en Béton Précontraint malgré des portées plus grandes et donc une charge de trafic plus importante..

III.1.2 Poids du tablier

Epaisseur moyenne équivalente du tablier :

$e=0.40+0.0035*L$ avec $L=l_1/2+l_2/2=100\text{m}$

$e=0.75\text{m}$.

Poids:

$G=e*15.50*25=290,625 \text{ kN/m}$.

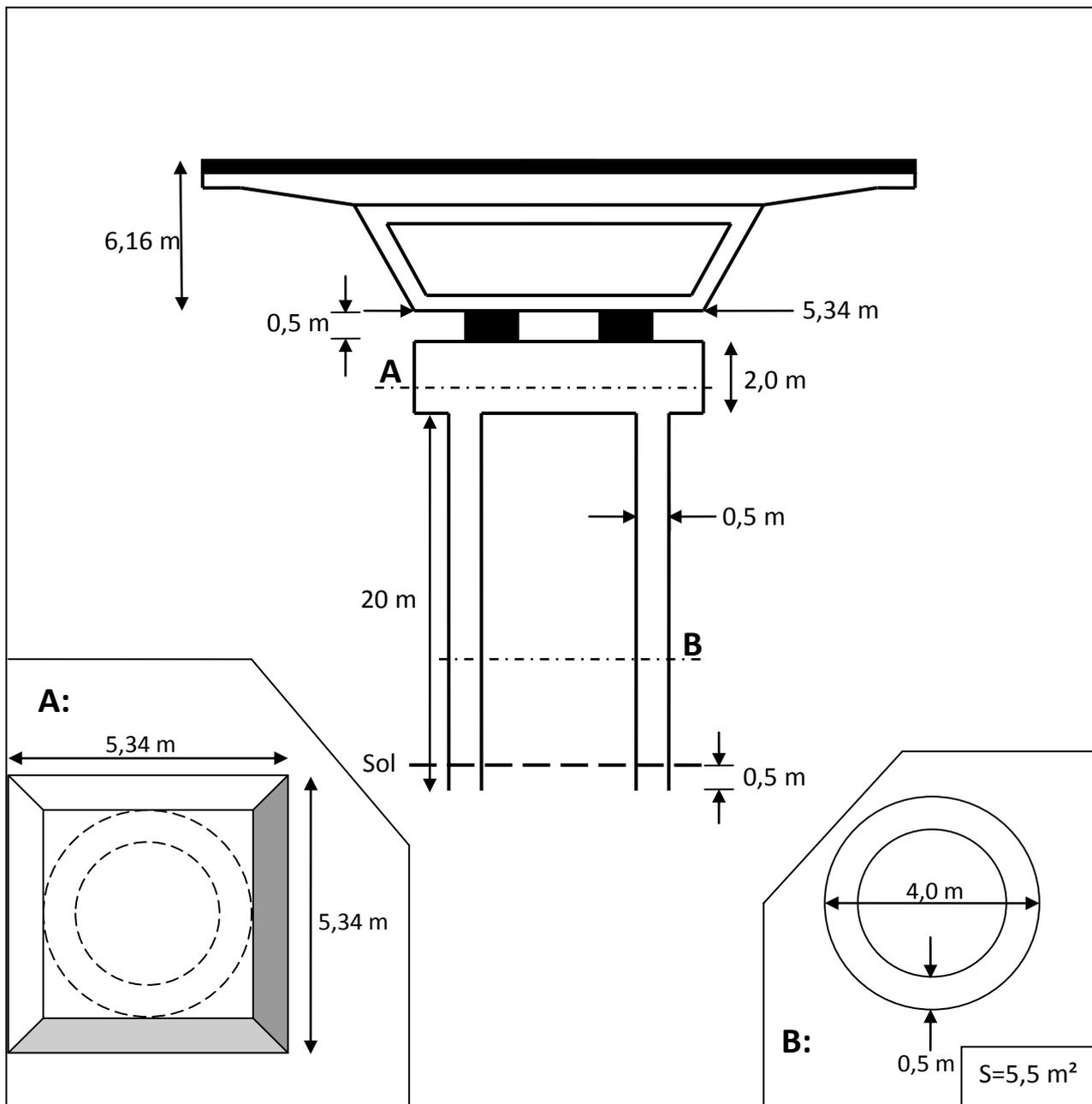
$G_{\text{tot}}=29062.5 \text{ kN}$.

III.1.3 Epaisseur du tablier

-Sur pile: $L/h_p=14+L/45 \rightarrow h_p=6.16\text{m}$.

-Sur clef: $L/h_c=19+L/7 \rightarrow h_c=3.00\text{m}$.

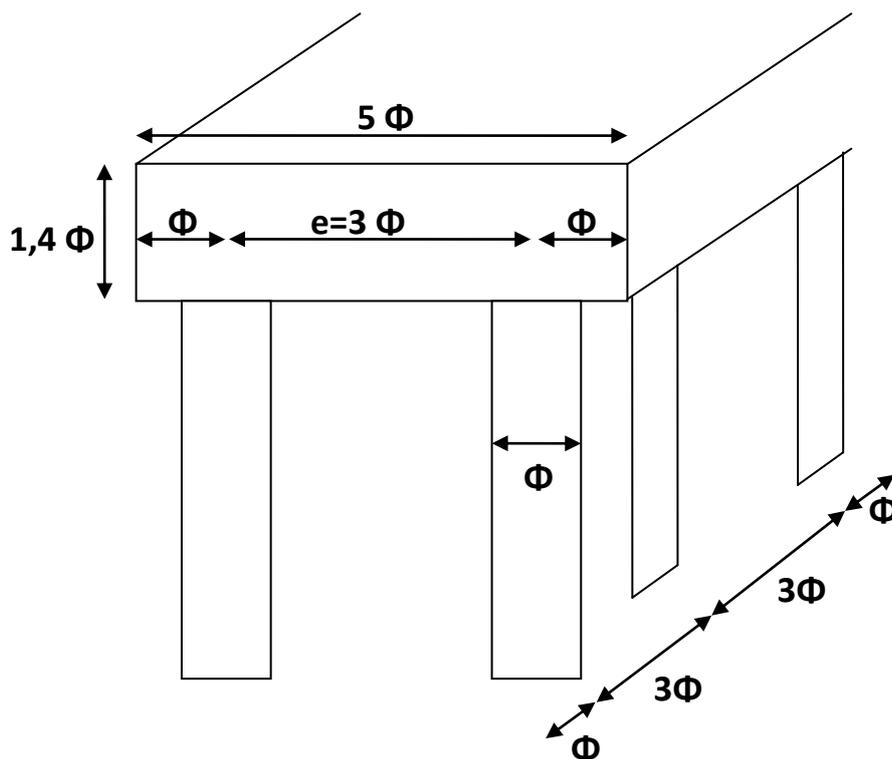
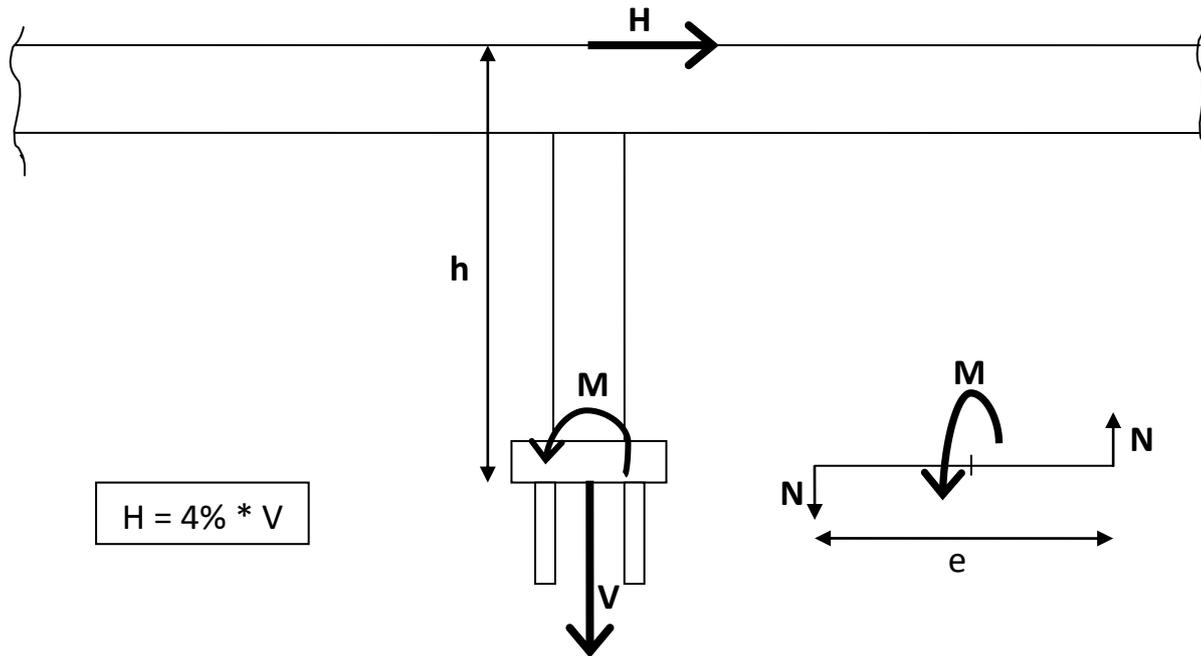
III.1.4 Dimensionnement de la pile la plus haute



Poids de la pile: $25 \times (2 \times 5,34^2 + 20 \times 5,5) = 4177,4 \text{ kN}$.

III.2 / Calcul de résistance de pieux

III.2.1 Charges sur les fondations



n pieux*2files

$$N_{\max} = V/n \pm (M/e) * 1/(n/2)$$

On calcule la charge dans les différents cas (avec ou sans trafic, ELU et ELS) et on les pondère avec les facteurs de la figure 7.

Les valeurs trouvées dépendent du diamètre des pieux choisis: elles sont donc rassemblées dans les tableaux regroupant charges et résistances pour chaque pieu, à partir de la figure 8.

III.2.2 Charges sur les fondations

Nous n'avons calculé que la fondation de la pile la plus haute. Avec les résultats des sondages pressiométriques nous avons les données suivantes :

- Une 1^{ère} couche de 0 à 5m de profondeur où l'on utilise $q_{s1}=0,02\text{MPa}$ correspondant aux calcaires altérés
- Une 2^{ème} couche de 5m à 10m de profondeur où l'on utilise $q_{s2}=0,16\text{MPa}$ correspondant aux calcaires durs

Nous noterons d le diamètre et p la profondeur du pieu. Nous avons calculé les valeurs nécessaires à une fondation adaptée. Nous noterons que nous devons fixer les pieds à au moins 2 mètres de profondeur dans le calcaire dur.

Ainsi nous aurons $p \geq 7\text{m}$

Tout d'abord, nous avons calculé la charge de pointe : $Q_{pu} = 9,558 \times \pi \times (d/2)^2$ et le frottement latéral : $Q_{su} = 3,14 \times d \times (5 \times q_{s1} + (p-5) \times q_{s2})$

Ces valeurs vont nous permettre de calculer les valeurs suivantes :

charge limite en compression $Q_{cu} = Q_{pu} + Q_{su}$

charge limite en traction $Q_{tu} = Q_{su}$

charge de fluage en compression $Q_c = 0,5 \times Q_{pu} + 0,7 \times Q_{su}$

charge de fluage en traction $Q_{tc} = 0,7 \times Q_{su}$

Ces dernières valeurs vont nous permettre de calculer les charges minimales et maximales que peuvent supporter les pieux pour différents états.

Etats limites	Combinaison d'action	Q_{min}	Q_{max}
ELU	fondamentales	$-Q_{tu}/1,4$	$Q_{cu}/1,4$
	accidentelles	$-Q_{tu}/1,3$	$Q_{cu}/1,2$
ELS	caractéristiques	$-Q_{tc}/1,4$	$Q_c/1,1$
	quasi permanentes	0	$Q_c/1,4$

Figure 7 : Tableau de calcul des contraintes limites pour les combinaisons d'action

III.3/ Calcul du nombre de pieux nécessaires

Nous devons ensuite comparer ces valeurs pour les différentes combinaisons d'action aux valeurs de charges réelles calculées précédemment : ainsi on peut obtenir le nombre de pieux nécessaires. Nous avons ainsi testé les trois diamètres de pieux : 1m, 1,2m et 1,5m. Nous avons fait un premier pour 8 mètres de profondeur en calculant le nombre de pieux nécessaires dans la pire situation. Ensuite nous avons optimisé la longueur des pieux pour ne pas utiliser trop de matériau mais en respectant quand même les résistances aux charges. Nous avons consigné ces valeurs dans des tableaux, en calculant la taille de la semelle et la quantité de béton utilisé, ce qui donnera une estimation du prix de ces derniers.

Profondeur des pieux		8					
p(m)							
Diamètre d(m)		1					
Qpu (MN)		7,50303					
Qsu (MN)		1,8212					
Qu (MN)		9,32423					
Qtu (MN)		1,8212					
Qc (MN)		5,026355					
Qtc (MN)		1,27484					
		Qmin/pieu (MN)	Qmax/pieu (MN)	Qmax adm (MN)	Nombre de pieux	longueur de semelle (m)	quantité de matériaux (en m ³)
ELU	fondamentales	1,4	-1,30086	6,660164	38,9	6,0	
	accidentelles	1,2	-1,40092	7,770192	45,3	6,0	
ELS	caractéristiques	1,1	-0,9106	4,569414	27,5	7,0	
	quasi-permanentes	1,4	0	3,590254	18,4	6,0	
					7,0	11	127,24

Figure 8 : Calcul de la fondation de plus haute pile pour un diamètre de pieux de 1m

p		8					
	d		1,2				
	Qpu	10,80436					
	Qsu	2,18544					
	Qu	12,9898					
	Qtu	2,18544					
	Qc	6,93199					
	Qtc	1,529808					
		Qmin	Qmax	Qmax adm	Nombre de pieux	longueur de semelle	quantité de matériaux (en m ³)
ELU	fondamentales	1,4	-1,56103	9,278431	37,1	5,0	
	accidentelles	1,2	-1,68111	10,82484	43,3	5,0	
ELS	caractéristiques	1,1	-1,09272	6,301809	26,0	5,0	
	quasi-permanentes	1,4	0	4,951421	17,4	4,0	
						5,0	9,6
							151,0272

Figure 10: Calcul de la fondation de plus haute pile pour un diamètre de pieux de 1,2m

p		8,5						
d		1,2						
Qpu		10,80436						
Qsu		2,48688						
Qu		13,29124						
Qtu		2,48688						
Qc		7,142998						
Qtc		1,740816						
		Qmin	Qmax	Qmax adm	Nombre de pieux	longueur de semelle	quantité de matériaux (en m ³)	
ELU	fondamentales	1,4	-1,77634	9,493745	37,1	4,0		
	accidentelles	1,2	-1,91298	11,07604	43,3	4,0		
ELS	caractéristiques	1,1	-1,24344	6,493634	26,0	4,0		
	quasi-permanentes	1,4	0	5,102141	17,4	4,0		
						4,0	6	98,9136

Figure 11 : Optimisation du calcul de la fondation de plus haute pile pour un diamètre de pieux de 1m

p		8					
d		1,5					
Qpu		16,88182					
Qsu		2,7318					
Qu		19,61362					
Qtu		2,7318					
Qc		10,35317					
Qtc		1,91226					
		Qmin	Qmax	Qmax adm	Nombre de pieux	longueur de semelle	quantité de matériaux (en m ³)
ELU	fondamentales	1,4	-1,95129	14,00973	35,4	3,0	
	accidentelles	1,2	-2,10138	16,34468	41,3	3,0	
ELS	caractéristiques	1,1	-1,3659	9,411972	24,4	3,0	
	quasi-permanentes	1,4	0	7,395121	16,3	3,0	
						3,0	7,5
							174,645

Figure 12 : Calcul de la fondation de plus haute pile pour un diamètre de pieux de 1,5m

p		7						
d		1,5						
Qpu		16,88182						
Qsu		1,9782						
Qu		18,86002						
Qtu		1,9782						
Qc		9,825649						
Qtc		1,38474						
		Qmin	Qmax	Qmax adm	Nombre de pieux	longueur de semelle	quantité de matériaux (en m ³)	
ELU	fondamentales	1,4	-1,413	13,47144	35,4	3,0		
	accidentelles	1,2	-1,52169	15,71668	41,3	3,0		
ELS	caractéristiques	1,1	-0,9891	8,932408	24,4	3,0		
	quasi-permanentes	1,4	0	7,018321	16,3	3,0		
						3,0	7,5	167,58

Figure 13 : Optimisation du calcul de la fondation de plus haute pile pour un diamètre de pieux de 1,5m

III.4/Choix de la fondation

Avec les tableaux précédents, nous pouvons voir que pour les différents diamètres de pieux, nous obtenons des résultats très différents. Tous d'abord nous pouvons voir que la fondation avec des pieux de 1,5m nécessitent beaucoup plus de béton que les autres solutions : 170 m^3 contre 100 m^3 environ. Donc nous n'allons pas choisir cette option car trop coûteuse en matériaux. Pour les deux autres diamètres de pieux, la différence de quantité de béton est faible : 4 m^3 donc nous n'allons pas nous baser que sur cette donnée pour choisir notre type de fondation.

Il faut également prendre en compte le fait que nous n'aurons pas à effectuer que la fondation de la pile a plus haute mais celle des 2 autres piles également. C'est pour cela que nous utiliserons le même diamètre de pieux pour les autres fondations car ainsi nous n'aurons besoin que d'une seule foreuse ce qui limitera les dépenses. Si nous prenons en compte cette donnée, la solution de pieux de 1m est plus appropriée. En effet, il sera plus facile de passer de 2 rangées de 3 pieux à 2rangées de 2 pieux de 1m que de 2 rangées de 2 pieux à 2 pieux de 1,2m. Les fondations avec 2 pieux de 1,2m sont susceptibles de ne pas être suffisantes pour soutenir les charges sur les autres fondations alors qu'il est plus facile d'optimiser la fondation avec des pieux de 1m.

Notre choix final se porte donc sur la fondation de pile la plus haute suivante :

- 1 semelle de $8\text{m} \times 1\text{m}50 \times 5\text{m}$
- 2 rangées de 3 pieux de 1m de diamètre et de 8,1m de profondeur
- 99 m^3 de béton



Figure 14: modélisation 3d de la poutre principale

IV/ Etudes des coûts

Coût de la travée	
Béton tablier	2371500
Aciers du béton armé	2964375
Barrières	408000
Longrines	54400
Etanchéités du tablier	368900
Joints de chaussées	100750
Corniches caniveau	238000
Caniveaux fils d'eau	17000
Appareils d'appuis	18200
Equipage mobile	1200000
Câbles précontraints	2766750
Coût des piles et fondations	
Béton des piles et fondations	240900
Aciers béton armé	410625
Prix coffrage	506784
TOTAL COUT MATERIAUX	11666184
Main d'œuvre et location	5500000
TOTAL COUT PROJET	17200000

Nous estimons donc notre ouvrage à 17 200 000 €

V/ Conclusion

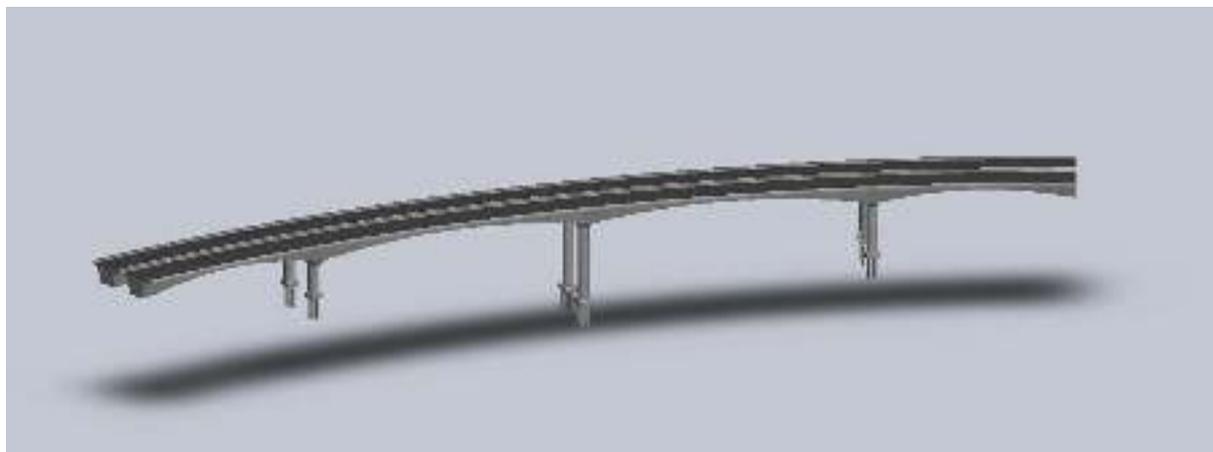


Figure 15: modélisation 3d de la poutre principale

Cette étude de franchissement nous a permis de nous mettre dans la situation d'un bureau d'étude en analysant différents aspects de la conception d'un pont. Ce projet a des contraintes de dimensionnement tout d'abord car il s'inscrit dans un projet plus grand : l'A45 qui est encore au stade projet à l'heure actuelle. Ensuite nous avons vu qu'il y avait plusieurs solutions possibles de franchissement : en bureau d'étude, nous aurions étudié toutes les solutions possibles mais dans notre cas on nous a demandé de n'étudier qu'une seule solution par manque de temps. Nous avons finalement opté pour une solution d'un ouvrage précontraint à 4 travées, comme on peut le voir sur la figure 15 ci-dessus, pour plusieurs raisons : impact environnemental, coût, insertion du viaduc dans le paysage. Nous avons également opté pour cette option car nous étions intéressés par l'étude d'un ouvrage précontraint. Nous avons ensuite dimensionné les fondations de la pile la plus haute à partir des charges appliquées sur les piles : poids propre du tablier + trafic. Enfin nous avons fait une estimation du coût de l'ouvrage, nous arrivons à un total de 17,2M€.

Nous avons constaté à partir de l'avant-projet sommaire section H – Ouvrages d'arts, H2 – Viaducs que la solution que nous avons retenu n'a pas été envisagée par le bureau d'étude. Cependant, nous constatons que le coût de l'ouvrage que nous avons envisagé est proche des valeurs du bureau d'étude qui se situe entre 16,5 et 17M€. Nous pouvons donc conclure que la construction de cet ouvrage est envisageable.

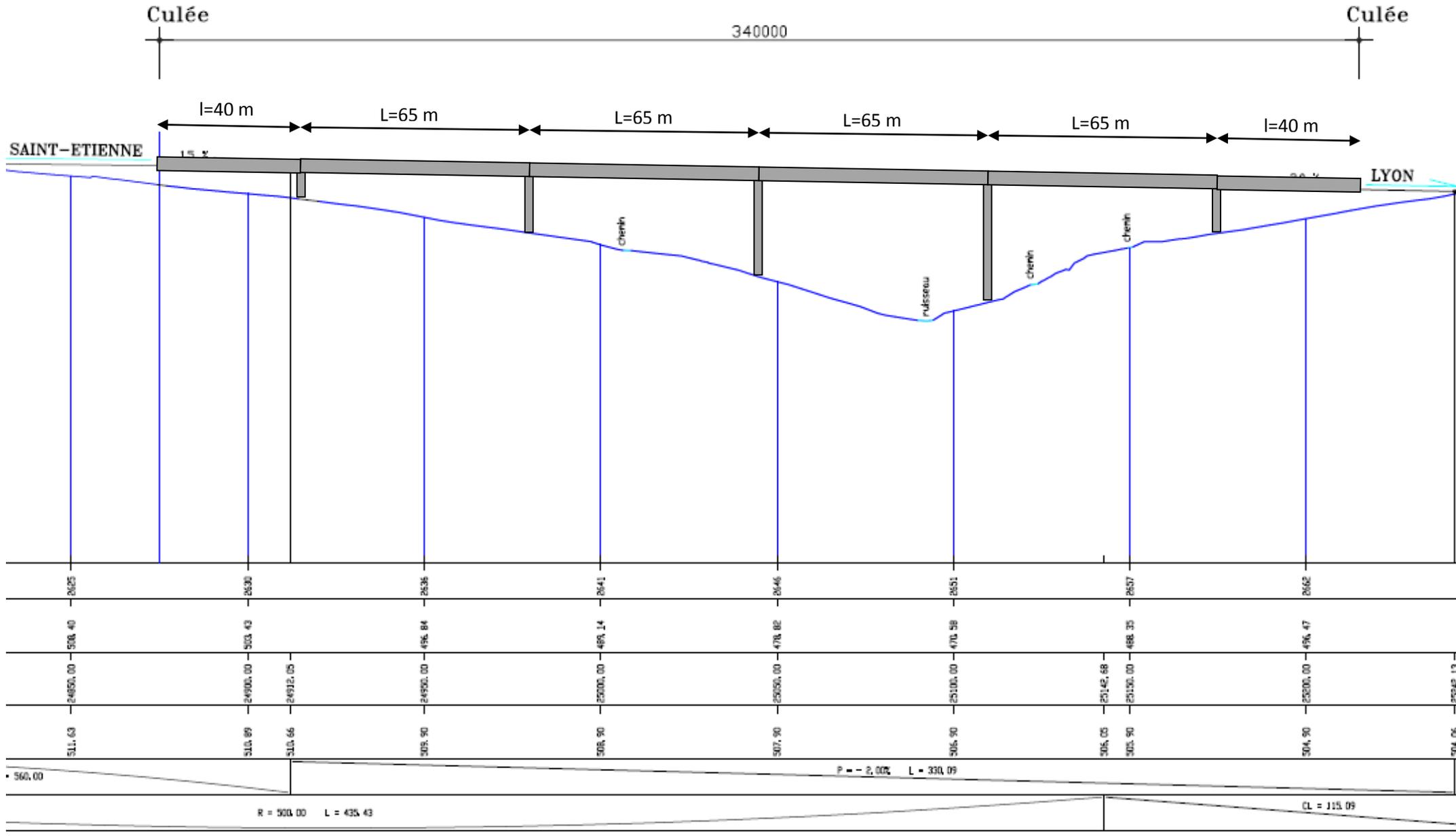
ANNEXE

Viaduc du Feloin Coupe Longitudinale

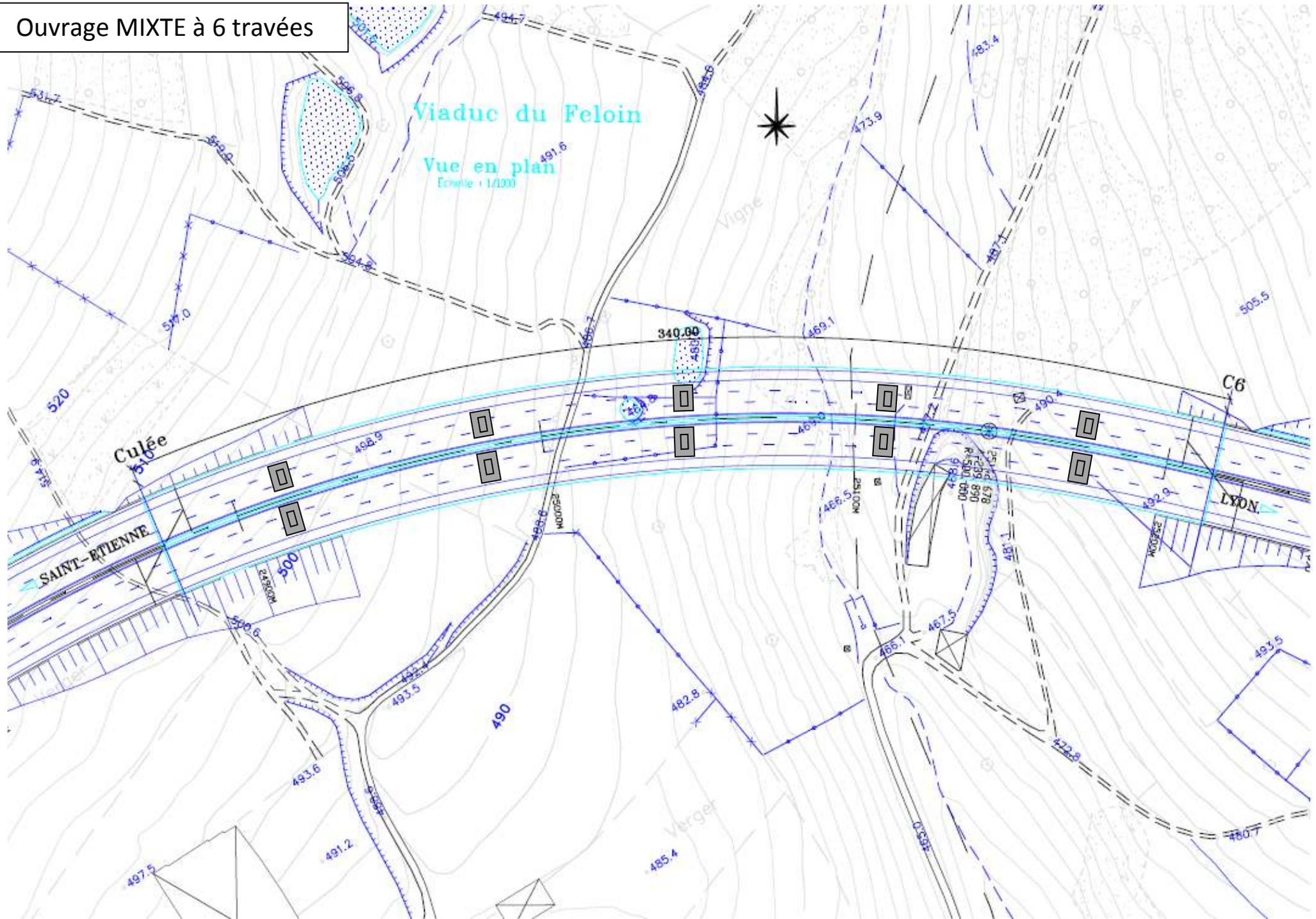
Echelle : 1/1000

Ouvrage MIXTE à 6 travées

$$\frac{l}{L} = 0,615$$



Ouvrage MIXTE à 6 travées



Ouvrage en BETON PRECONTRAIT
à 4 travées

Viaduc du Feloin

Coupe Longitudinale

Echelle : 1/1000

$$\frac{l}{L} = 0,7$$

