



École d'ingénieurs
de l'Ecologie, de l'Energie,
du Développement Durable
et de la Mer

École Nationale
des Travaux Publics
de l'État

rue Maurice Audin
69518 Vaulx-en-Velin Cedex

téléphone :
+33 (0)4 72 04 70 70

télécopie :
+33 (0)4 72 04 62 54

<http://www.entpe.fr>

Projet 2A Génie Civil

APOA du Viaduc du Feuillet



Introduction

Géométrie

Implantation, tracé en plan et profil en long

L'ouvrage est situé entre l'abscisse 22538 et l'abscisse 22680, soit une longueur entre axe des appuis extrêmes de **142 m**. L'ouvrage franchit le fond de la vallée à 35 m de hauteur, et les remblais d'accès ont une épaisseur de 5 à 6 m pour la culée ouest, et de 3,20 à 5,50 m pour la culée est (vers Lyon).

Le tracé en plan est constitué d'une droite sur toute la longueur de l'ouvrage.

Le profil en long est constitué d'un rayon concave $R = 5000$ m sur toute la longueur de l'ouvrage.

Profil en travers, dispositifs de sécurité, assainissement

Le profil en travers retenu pour l'autoroute à l'est de la RD3 est à 2 x 2 voies élargissable à 2 x 3 voies. Le viaduc est donc étudié à 2 x 3 voies.

L'ouvrage est constitué de deux tabliers indépendants portant chacun une chaussée à trois voies de circulation. Le profil en travers sur chaque tablier comprend :

- Un dispositif de sécurité type BN4 en rive extérieure,
- Une bande d'arrêt d'urgence de 3,00 m de largeur,
- Une chaussée de 10,50 m de largeur,
- Une bande dérasée de gauche de 1,00 m de largeur,
- Un dispositif de sécurité type BN4 en rive intérieure.

De manière à faciliter l'exécution des tabliers et des équipements, le TPC sera élargi à 3,60 m sur ouvrage au lieu de 3,00 m prévu en section courante.

Les deux tabliers sont déversés à 2,5 % vers l'extérieur de l'ouvrage. Le recueil puis l'évacuation des eaux de ruissellement (ou tout autre produit liquide déversé sur la chaussée) sont assurés par l'intermédiaire de corniches caniveaux ou de collecteurs en PEHD situés sous l'encorbellement extérieur de la dalle.

Contraintes

L'ouvrage franchit un vallon encaissé où coule le ruisseau du Feuillet, et sur les versants duquel s'inscrit l'aqueduc romain du Gier. L'implantation des appuis tient compte de cette contrainte.

Géologie – géotechnique

Les études géotechniques s'appuient sur un sondage réalisé par le Laboratoire Régional d'Autun du CETE de Lyon en juin 2004. Il s'agit d'un sondage destructif (SD10), implanté sensiblement à mi-hauteur du versant rive droite du vallon, et celui-ci révèle la présence d'un substratum sain au-delà de 3,90 m.

Pont en béton précontraint

Section longitudinale

Répartition des travées

Nous avons une travée principale de longueur l et deux travées de longueur entre $0,6l$ à $0,7l$. Après calcul nous choisissons, 41m (soit un balancement de 0,68) pour les deux travées de rives et 60m pour la travée principale.

Nos piles ont une hauteur de 17,86m et 16,82m.

Par contre, cela nous oblige à déplacer la voie de desserte.

Elancement et forme de l'intrados

Nous devons faire le choix entre un tablier de hauteur variable ou de hauteur parabolique. Puisque nous avons un tablier principal de 60m, le plus économique semble être de hauteur constante. Mais la hauteur variable paraboliquement semble plus esthétique et permet une optimisation du dimensionnement.

Dans ce cas, nous devons avoir des hauteurs de pile (h_p) et hauteur à la clef (h_c) tel que :

$$l/h_c = 14 + l/45$$

$$l/h_c = 19 + l/7 \text{ avec } l \text{ la longueur de la travée principale : } l = 60 \text{ m}$$

Nous avons donc $h_p = 3,91\text{m}$ et $h_c = 2,18 \text{ m}$.

Section transversal

Nous choisissons un mono caisson simple qui est notamment adaptée aux hauteurs de tablier variable paraboliquement.

Le mono caisson nervuré ou braconné ne convient car il est pour des ouvrages avec une largeur de tablier de 18 m à 25 m.

Dimensionnement du caisson :

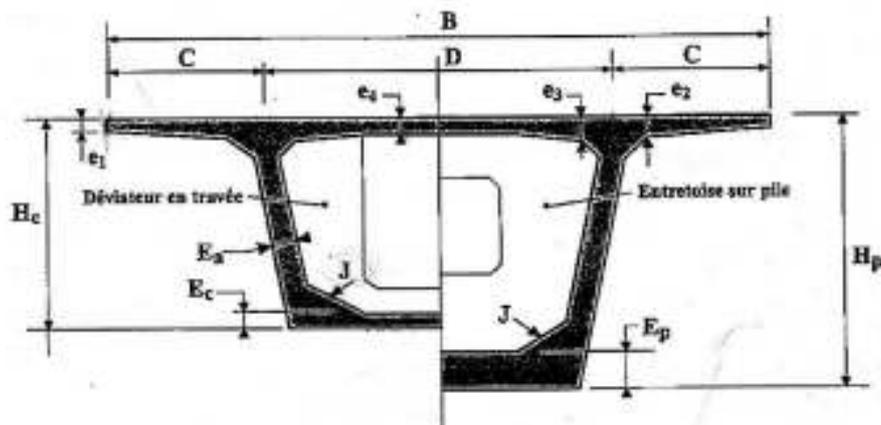


Fig. 2.22 - Construction en encorbellement à partir de travées contrepoûds

Ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs

Après calcul nous avons :

$$B = 15,50\text{m}$$

$$C = 3,875\text{m}$$

$$D = 7,75\text{m}$$

$$h_c = 2,18\text{m}$$

$$h_p = 3,91\text{m}$$

$$E_1 = 24 \text{ cm}$$

$$E_2 = 48 \text{ cm}$$

$$E_3 = 41\text{cm}$$

$$E_4 = 24\text{cm}$$

Pour le J, nous prenons une pente de 2 pour 6.

Pont mixte Acier - Béton

Les ouvrages mixtes à poutre sont privilégiés dans les cas suivants :

- Longueur de la brèche : 142m ; cela convient car la longueur totale peut être de l'ordre d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres.
- Largeur totale : $l = 15.5\text{m}$; cela convient également car « l » doit être compris entre (7/8) m et 20m.
- La portée principale doit être comprise entre 30m et 130m : nous vérifierons cette donnée au moment du choix du nombre de travées.

Nous allons nous intéresser particulièrement aux ouvrages type bipoutre (90% des ouvrages mixtes routiers en France). Les ouvrages à caisson ne sont pas intéressants ici car ils sont coûteux

Section longitudinale

Répartition des travées

L'objectif est de réaliser un ouvrage composé de 3 travées. Les longueurs de ces travées seront différentes. Les 2 travées aux extrémités seront de même longueur ; celle du milieu aura une longueur différente.

Il n'y a pas de contraintes particulières à respecter : l'ouvrage traversera une brèche naturelle et une voie d'eau. Au vu des données, nous avons retenu les dimensions suivantes : $(0.7L - L - 0.7L)$.

$$142 = 2*(0.7*L) + L$$

$$\text{D'où } L = 59\text{m}$$

- Travée extrémité : $0.7L = 41.5\text{m}$
- Travée centrale : $L = 59\text{m}$

Vérifications : $L = 59\text{m}$ est bien compris entre 30 et 130m.

Le choix d'un ouvrage bipoutre est alors justifié.

Choix de la hauteur des poutres

Il y a deux choix de hauteur de poutre :

- Choix 1 : hauteur constante – c’est la solution la plus économique et la plus simple à mettre en place (exécution des poutres en usine et simple pause sur le chantier).
- Choix 2 : hauteur variable – c’est la solution la plus esthétique mais la plus difficile à mettre en place et la plus onéreuse (complexité de mise en place).

Choix final : hauteur des poutres constantes

Différence entre côte du projet et côte du terrain : 22.600m au niveau des piles

Section transversal

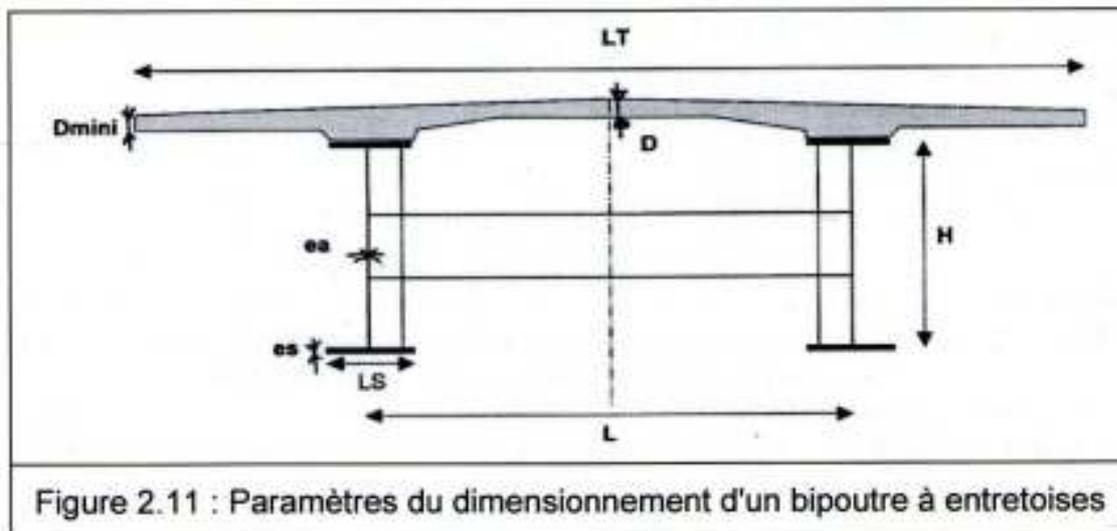
Ouvrage type bipoutre    entretoises

Calcul de l’entraxe des poutres : $L = 0.55 * LT$ (avec LT : la largeur du tablier)

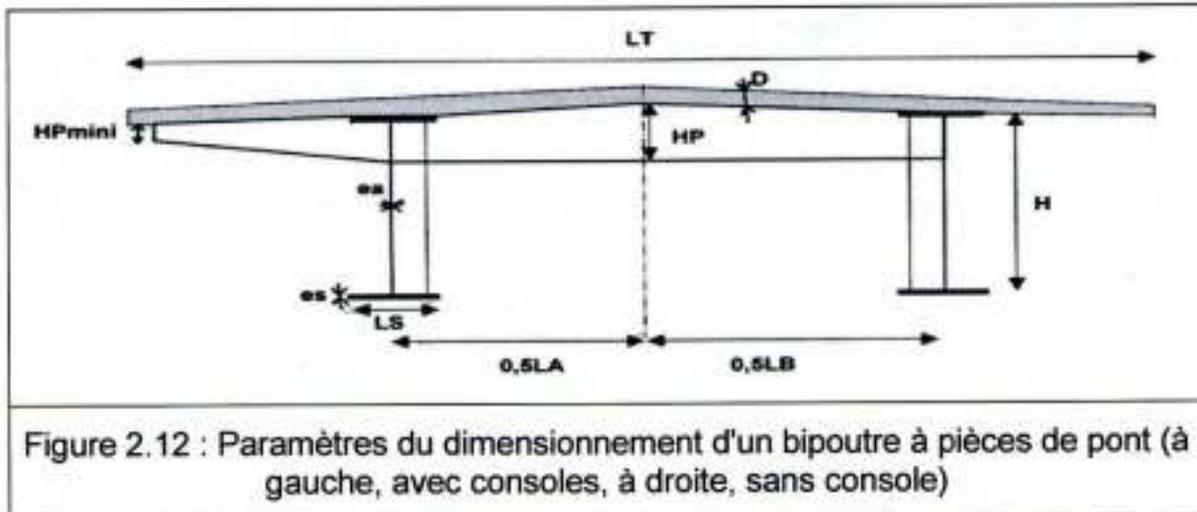
$$L = 0.55 * 15.5 = 8.5\text{m}$$

Or pour ce choix, il faut vérifier la condition suivante : $L \leq 8\text{m}$.

Ce n’est pas vérifié : cette solution n’est alors pas retenue.



Ouvrage type bipoutre    pièces de pont avec console



Calculs des différents paramètres :

Hauteur de poutre H : $H = 2.29\text{m}$ (si on considère $X = \text{longueur de la plus grande travée} = 59\text{m}$)

Entraxe poutres :

$$L_a = 8.5\text{ m} \quad (0.5 * L_a = 4.25\text{m})$$

Largeur semelle inférieure : $B_{inf} = 1.11\text{m}$

Largeur semelle supérieure : $B_{sup} = B_{inf} - 0.150 = 0.96\text{m}$

Hauteur des pièces de pont :

$$HP = 0.77\text{m} \text{ ou } \mathbf{1.04\text{m}^1}$$

$$HP_{mini} = 300\text{mm}$$

Tonnage charpente : 218.6 kg/m^2

Epaisseur de la dalle : entre 24 et 26 cm – on retiendra 25 cm

Ratio ferrailage dalle : environ 275 kg/m^3

Balancement : $41.5/59 = 0.7$

Charpente métallique

On est sur un ouvrage type bipoutre    pièces de pont.

Entraxe des poutres : 8.5m

Espacement console et pièce de pont : 4m

¹ Valeur retenue de H_p

Estimation économique des solutions

Pont béton précontraint

Afin de réaliser une estimation du prix, il est nécessaire de calculer certaines caractéristiques géométriques. Voici celles-ci qui sont utilisées pour les calculs :

Structure	Valeur	Unité
H pile 1	17,86	m
H pile 2	16,82	m
V pile 1	71,78	m ³
V pile 2	69,01	m ³
V culée (1/3 de V pile 1)	23,92667	m ³
V caisson sur pile/culée	17,11	m ³
V travée 1	528,6	m ³
V travée 2	917,25	m ³
V travée 3	528	m ³
V tablier	2042,29	m ³
Surface tablier	2059	m ²
Longeur pont	142	m
Largeur pont	15,5	m
Surface tablier	2059	m
Profil caisson	15	m ³
Profil longrine	0,6*0,25	m ²

Remarques :

- 1 m³ béton = 6 m³ coffrage (source : Béton armée : règle de BAEL par Jean PERCHAT)
- ratio d'acier : 130 kg/m³

On obtient le tableau suivant pour le détail des coûts :

Tablier et superstructures	Prix unitaire (€)	Poids/Volume/Unité	Prix final (€)
Câbles de précontrainte (y.c. ancrage et injection)	7	104156,79	729097,53
Equipage Mobiles (par paires)	400000	1	400000
Etalement des parties coulées sur cintre	200	2045,07	409014
Béton	220	4461,866667	981610,667
Coffrage	100	26771,2	2677120
Acier de béton armé	1,5	580042,6667	870064
Barrières BN 4	300	568	170400
Longrines BN 4	40	568	22720
Etanchéité du tablier	35	4118	144130
Etanchéité des longrines	30	142	4260
Joints de chaussée	650	62	40300
Caniveau fil d'eau	25	284	7100
Corniche	350	284	99400
Appareils d'appui sur culées	3000	8	24000
Appareils d'appui sur piles	4600	8	36800

Prix total (en €)

6616016,2

6,6 M€

Prix avec main d'œuvre : + 20 % (en €)

7939219,44

8 M€

On obtient ainsi un coût total de 6,6 M€ pour la structure. En ajoutant la main d'œuvre (+20€), la construction de l'ouvrage revient à 8M€.

Pont mixte Acier – Béton

Sans compter la main d'œuvre et les études, le cout estimatif du pont bipoutre à pièce de pont est de 3.2 M€.

Avec main d'œuvre on se retrouve à 3.8M€.

Détails estimatifs - ouvrages mixtes			
	poids/volume/unité	prix unitaire	prix final
ossature métallique (Aciers S355) - tablier bipoutre à pièces de pont	383800,392	1,8	690840,706
connecteurs	3838,00392	3	11514,0118
assemblage / lancement	387638,3959	0,5	193819,198
béton	1291,75	220	284185
outil coffrant	4	50 000	200000
coffrage	6187,2625	60	371235,75
acier de béton armé	451625	1,5	677437,5
protection anti corrosion	3454,203528	30	103626,106
barrières BN4	568	300	170400
longrines BN4	568	40	22720
étanchéité du tablier	4118	35	144130
étanchéité des longrines	965,6	30	28968
joints de chaussée	62	650	40300
caniveau fil d'eau	284	25	7100
corniche caniveau	284	350	99400
appareils d'appuis			
	culées	8	3000
	piles	8	4600
			24000
			36800
prix TOTAL (en €)			3106476,27
			3,2 M€
			sans main d'œuvre
main d'œuvre			621295,254
cout TOTAL (en €)			3727771,53
			3,8 M€
			main d'œuvre comprise

Analyse multicritère et choix de l'ouvrage

Nous avons retenu plusieurs critères afin de réaliser une analyse des solutions retenues et ainsi, pouvoir évaluer le choix définitif de l'ouvrage.

Les critères sont :

- L'esthétisme
- Le cout
- La résistance

	Ouvrage mixte - bipoutre	Ouvrage béton précontraint
esthétisme	+	++
cout	+++	+
résistance	++	++

(+ : assez bien / ++ : bien / +++ : très bien)

Choix de l'ouvrage : Pont-mixte

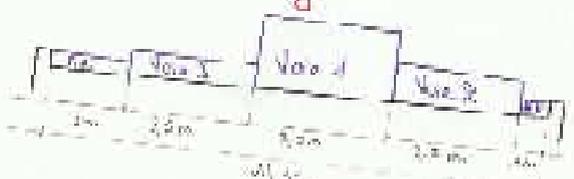
Fondations

Pour dimensionner les fondations du pont mixte, nous devons dans un premier temps réaliser la descente de charge puis réaliser un tableau Excel (fourni en format Excel) permettant de faire des itérations pour trouver le bon scénario de nombre et diamètre des pieux. Nous avons en effet le choix entre des diamètres de 1m, 1,2m et 1,5m. Nos deux piles ayant la même hauteur, nous réalisons ces calculs pour une pile de hauteur de 15,10m.

Descente de charge

Nous avons d'abord calculé la charge de trafic :

Descente de charge



$u = 14,50m$
Modèle de charge LTM
Classe de trafic 2

Calcul des charges uniformes admissibles (kN/m²)

Via 1 $q_d = 9,7 + 9 = 18,7 \text{ kN/m}^2$

Via 2 et 3 et 4 $q_d = 1 + 9,5 = 10,5 \text{ kN/m}^2$

Calcul des charges concentrées réparties sur une voie (kN)

Via 1 $G_1 = 30m \times 19 = 570 \text{ kN/m}$

Via 2 $G_2 = 22,5 \times 18 = 405 \text{ kN/m}$

Via 3 $G_3 = 10m \times 18 = 180 \text{ kN/m}$

Calcul de la charge totale:

La charge admissible est présente sur les deux voies situées adjacentes à la pile. Les charges concentrées sont présentes sur tout de la pile.

$WDL = (1,3 \times 18,7 + 3,5 \times 10,5 + 3,5 \times 10,5 + 1,3 \times 10,5 + 3,45) = 93,54 \text{ kN/m}^2$

$TS = (2 \times 270 + 2 \times 165 + 2 \times 90) = 1080 \text{ kN}$

Puis les charges permanente du au tablier et à la superstructure :

Poit Ponte

Poids de la charpente: $G = G_1 = 15,50$ avec $G_1 = 0,00105 \times 14,5 \times L$
 $G = (0,00105 \times 14,5 \times 14,5) + 15,50 = 60,7 \text{ kN/m}^2$

Poids de la dalle: Pour le biton $m = 25 \text{ kN/m}^3$ pour une épaisseur de dalle de 25cm et une longueur de 14,5m.
 Soit $G' = 14,5 \times 0,25 \times 25 = 90,67 \text{ kN/m}^2$

Poids total: $G_{tot} = G + G' = 60,7 + 90,67 = 151,37 \text{ kN/m}^2$

Poids de la superstructure:

Enrobé: m avec épaisseur de 2cm densité $\times 24 \text{ kN/m}^3 \times 14,50 = 27,24 \text{ kN/m}^2$

  tanch  e: ep = 3cm: $0,03 \times 24 \times 14,50 = 10,44 \text{ kN/m}^2$

Garde-bas: courbes $0,30 \times 25 = 7,5 \text{ kN/m}^2$

Balk: $0,05 \text{ kN/m}^2$

Longueur: $0,60 + 0,25 \times 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2$

TOTAL: $151,37 + 27,24 + 10,44 + 7,5 + 0,05 + 3,75 = 199,35 \text{ kN/m}^2$

La longueur chargée est de 50,25m
Nous avons étudié plusieurs scénarios de disposition et nombre de pieux.

Dimensionnement de la fondation

Afin de dimensionner la fondation, nous déterminons l'effort dans un pieu (Ni) afin de réaliser les différentes vérifications à l'ELU, l'ELS caractéristique et l'ELS quasi permanent.

Nous avons étudié plusieurs scénarii pour optimiser le nombre de pieux nécessaire.

Scénario 1: 2 files de 3 pieux de 1m de diamètre

	Gtablier	UDL	TS	V	H	N	M	Ni
ELU	14093,2406	3361,34813	1377	18831,5888	753,26355	21754,4906	12504,1749	5709,77759
ELS caract	10439,4375	2489,8875	1020	13949,325	557,973	16114,4375	9262,3518	4229,46488
ELS QP	10439,4375	2489,8875	1020	13949,325	557,973	16114,4375	9262,3518	4229,46488

Vérification :

Les conditions sont :

- $Ni < Qu/1,4$ à l'ELU
- $Ni < Qc/1,1$ à l'ELS caract
- $Ni < Qc/1,4$ à l'ELS QP

	Ni (kN)	Conditions (kN)
ELU	5709,77759	5056,521429
ELS caract	4229,46488	3526,077273
ELS QP	4229,46488	2770,489286

Ce scénario n'est donc pas valide car Ni n'est pas inférieur aux différentes conditions

Scénario 2 : 2 files de 3 pieux de 1,2m de diamètre

	Gtablier (kN)	UDL (kN)	TS (kN)	V (kN)	H (kN)	N (kN)	M (kN.m)	Ni (kN)
ELU	14093,2406	3361,34813	1377	18831,5888	753,26355	24150,0656	12730,154	5953,82215
ELS caract	10439,4375	2489,8875	1020	13949,325	557,973	17888,9375	9429,7437	4410,23863
ELS QP	10439,4375	2489,8875	1020	13949,325	557,973	17888,9375	9429,7437	4410,23863

Vérification

	Ni (kN)	Conditions (kN)
ELU	5953,82215	7023,013714
ELS caract	4410,23863	4847,360727
ELS QP	4410,23863	3808,640571

Dans ce cas, les conditions à l'ELS QP ne sont pas vérifiées.

Nous faisons donc un nouveau scénario.

Scénario 3 : 2 files de 4 pieux de 1m de diamètre

	Gtablier (kN)	UDL (kN)	TS (kN)	V (kN)	H (kN)	N (kN)	M (kN.m)	Ni (kN)
ELU	14093,2406	3361,34813	1377	18831,5888	753,26355	25899,6656	12730,154	4912,47847
ELS caract	10439,4375	2489,8875	1020	13949,325	557,973	19184,9375	9429,7437	3638,87294
ELS QP	10439,4375	2489,8875	1020	13949,325	557,973	19184,9375	9429,7437	3638,87294

Vérifications :

	Ni (kN)	Conditions (kN)
ELU	4912,47847	7023,013714
ELS caract	3638,87294	4847,360727
ELS QP	3638,87294	3808,640571

Avec ce scénario, les trois conditions sont vérifiées.

Nous préconisons donc de réaliser des fondations avec deux files de quatre pieux de diamètres 1,2m.

Conclusion

Ainsi, nous préconisons la construction d'un ouvrage type bipoutre – pièce de pont afin de réaliser le viaduc du Feuillet. Après une étude du projet et de ces contraintes, le choix du type d'ouvrage s'est réalisé entre l'ouvrage béton précontraint et l'ouvrage mixte. Le critère économique a été déterminant dans cette évaluation.