

A.P.O.A

VIADUC SUR L'AMAZONE

Dorian CAMPBELL
Mathieu MARECHAL
Manuela RODRIGUEZ
Guillaume SALVAT

Table des matières

Contexte du projet.....	2
I- Les solutions envisagées	3
II- Choix du pont	7
III- Mode de réalisation de la solution proposée	10
IV- Dimensionnement de la fondation de la pile la plus haute	11

Contexte du projet

On souhaite construire un pont traversant une vallée encaissée dans laquelle coule l'Amazone. La route à considérer sera bidirectionnelle avec une voie dans chaque sens, le pont aura donc un tablier unique. La contrainte principale est l'impact écologique que le pont aura sur le milieu naturel dans la phase de travaux ainsi que dans la phase de service. Il ne faut en effet pas que les piles du pont soient implantées à moins de 10 mètres du lit mineur de l'Amazon. Il faut de plus éviter qu'elles soient implantées dans le lit majeur qui correspond à la crue centennale. En outre, l'ouvrage doit être transparent d'un point de vue hydraulique afin de ne pas perturber les écoulements.

D'un point de vue technique, il ne faudra pas poser de cintre sur le terrain dans une optique de préservation du milieu. On retiendra un tablier de 12m de largeur : 7m de chaussée, deux bandes dérasées de chaque côté de 1,75m et deux dispositifs de sécurité (de type H2) de 0,75m de chaque côté. Des caniveaux seront prévus pour la récupération des eaux de ruissellement.

Viaduc sur l'Amazone
Coupe transversale (1:100)

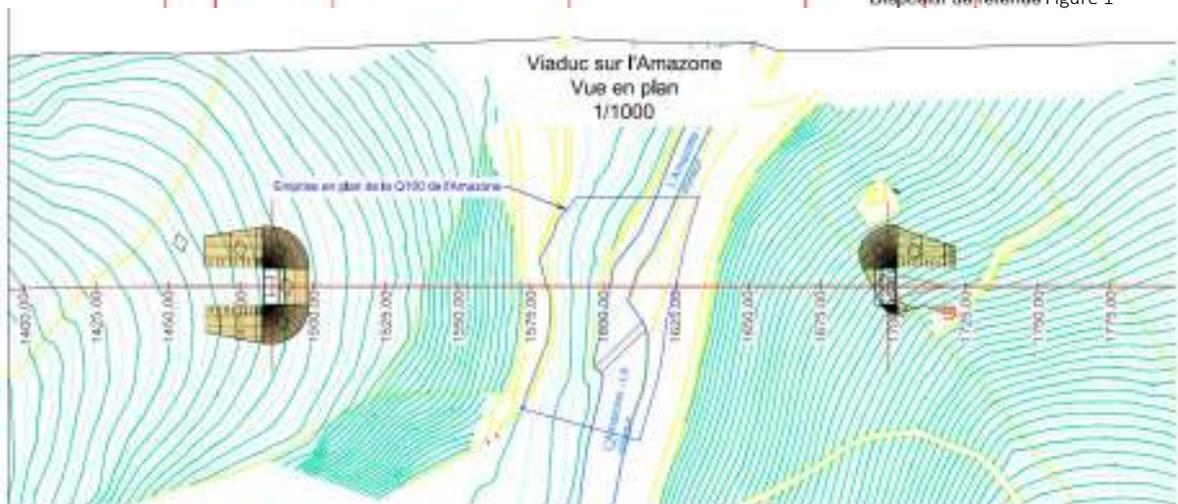
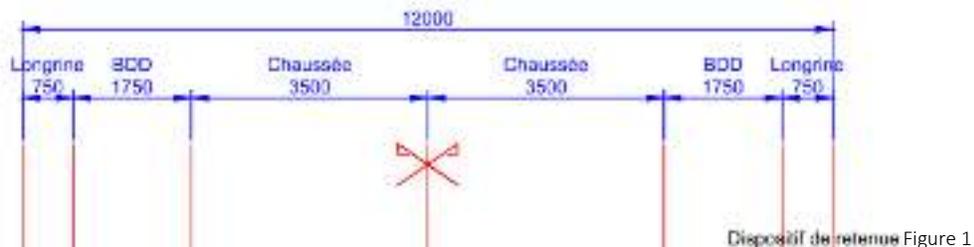


Figure 2

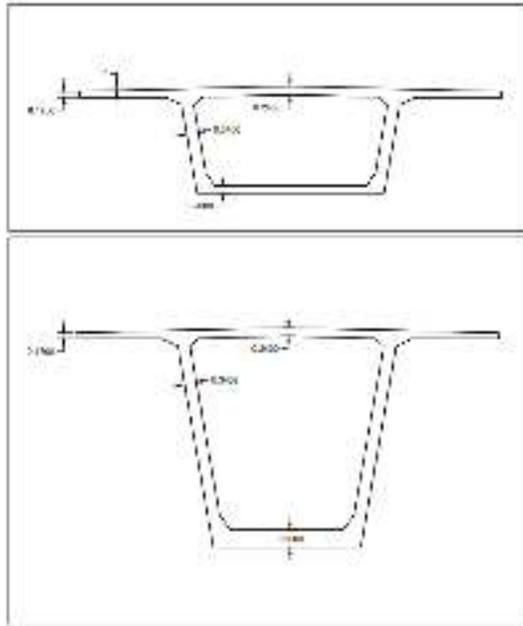
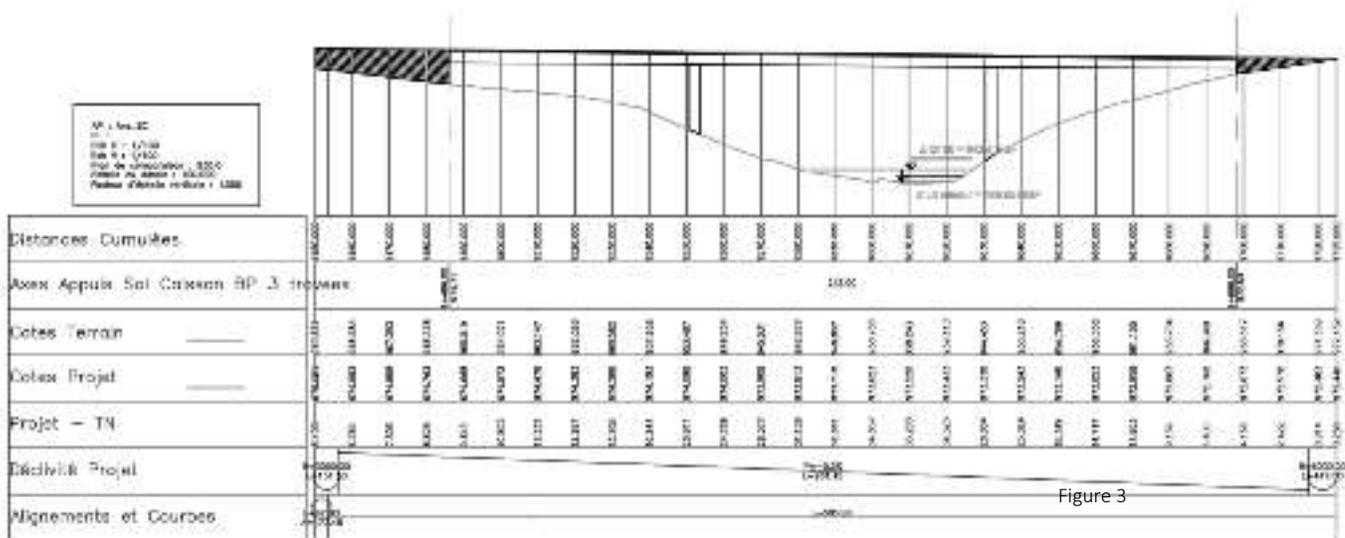


Figure 4, coupe transversale de la plus petite hauteur et de la plus grande.

Le pont mixte à entretoise :

Viaduc sur l'Amazonne
Coupe longitudinale
1/1000



Viaduc sur l'Amazone
Coupe longitudinale
1/1000

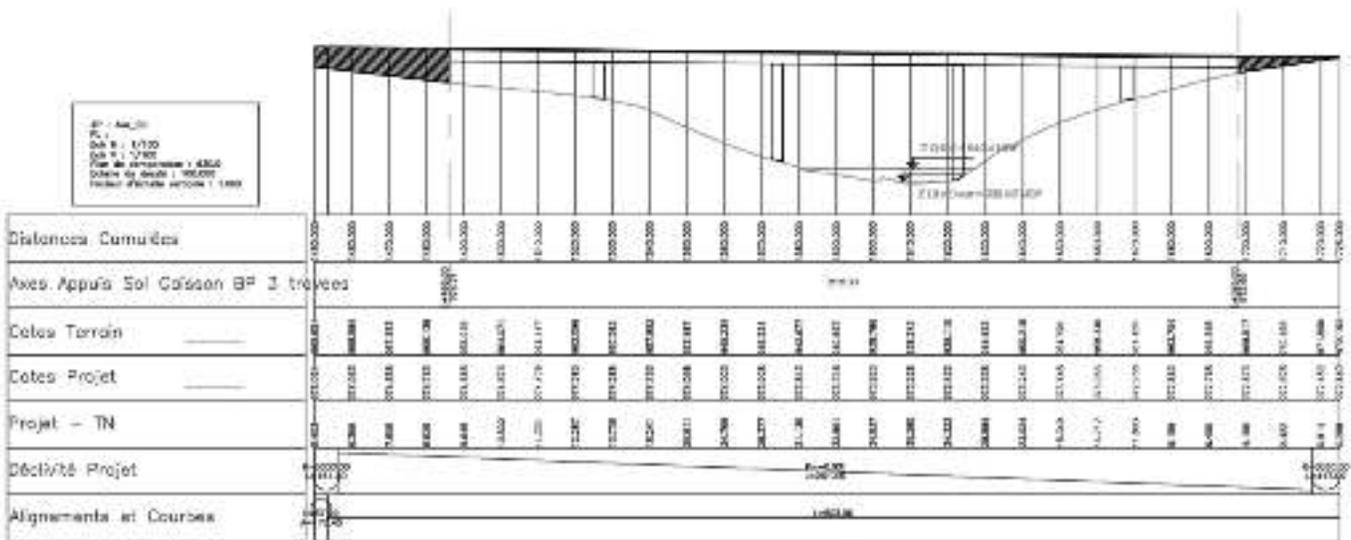


Figure 6

Nous avons ensuite pensé à un pont mixte acier-béton. Il y a deux configurations possibles, une avec 4 piles et l'autre avec 2 piles (voir figure 5 et 6). Pour la configuration à 4 piles, il est impossible de ne pas passer dans le lit majeur ce qui peut être un problème lors des crues. Dans les deux cas, la coupe transversale reste la même comme on peut le voir sur la figure 7.

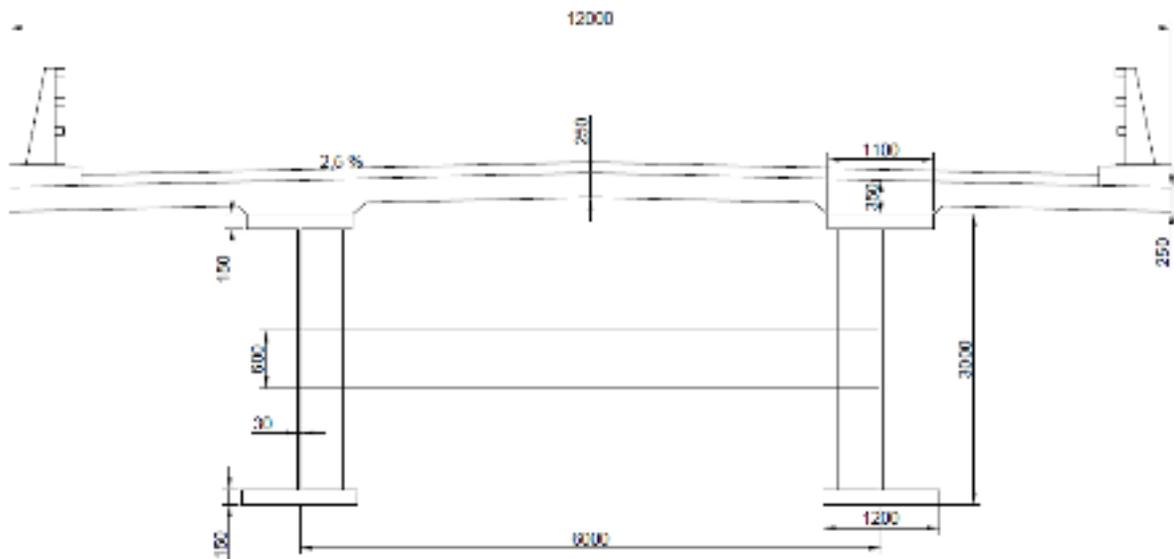


Figure 7, coupe transversale

II- Choix du pont

Pour effectuer notre choix final, nous avons estimé les coûts financiers de chacun des ponts excepter le pont en arc, leurs performances techniques étant semblables. Le bilan financier de ces ponts nous donne pour :

- Le pont en béton précontraint

PONT EN BETON PRECONTRAIT A HAUTEUR VARIABLE					
Prix du pont:	Quantité		Prix total:	4014.3 k€	Prix au m ² (€)
Longrines:	424m et 305m ²	36040 €		Sous totaux:	
BarrièresH2/H3:	424m	127200 €		TABLIER ET SUPERSTRUCTURE	60%
Béton:	2079m ³	669000 €		FONDATIONS ET APPUIS	25%
Cables de précontrainte:	127110kg	889770 €		Exécution etc	9%
Equipages mobiles:	Une paire	400000.0 €			
Outil coffrant	2	100000 €			
Etalement des parties coulées sur cintre :	1800m ²	360000 €			
Armatures:	322722kg	517950 €			
Etanchéité du tablier:	2544m ²	89040 €			
Coffrage:	5890m ²	589058 €			
Joints de chaussée:	24m	24000 €			
Caniveau:	424m	10600 €			
Corniche caniveau:	424m	169600 €			
Appareil d'appui sur culées:	2	8000 €			
Appareil d'appui sur piles:	4	24000 €			

- Le pont mixte à entretoise 2 piles

PONT MIXTE A ENTRETOISES 2 PILES						
Prix du pont:	Quantités		Prix total:	3972,6 k€	Prix au m ² (€)	1561,53756
Longrines:	424m et 305m ²	36040	€	Sous totaux:		
BarrièresH2/H3:	424m	127200	€	TABLIER ET SUPERSTRUCTURE	57%	
Béton:	852m ³	255600	€	FONDATIONS ET APPUIS	14%	
Outil coffrant:	2	100000	€	EXECUTION	29%	
Connecteurs :	6923kg	26307,0	€			
Tablier:	70648kg	1176891,12	€			
Armatures:	180600kg	270900	€			
Protection anti corrosion:	1565m ²	62589,0119	€			
Etanchéité du tablier:	2544m ²	89040	€			
Coffrage:	5633m ²	450640	€			
Joints de chaussée:	24m	24000	€			
Caniveau:	424m	10600	€			
Comche caniveau:	424m	169600	€			
Appareil d'appui sur culées:	2	8000	€			
Appareil d'appui sur piles:	2	24000	€			
Assemblage:	2296479kg	1141144,45	€			

- Le pont mixte à entretoise 4 piles

PONT MIXTE A ENTRETOISES 4 PILES					
Prix du pont:	Quantités		Prix total:	3750,0 k€	Prix au m ² (€)
Longrines:	424m et 305m ²		36040 €	Sous totaux:	
Barrières H2/ H3:	424m		127200 €	TABLIER ET SUPERSTRU CTURE	5,5%
Béton:	1068m ³		320400 €	FONDATION S ET APPUIS	20%
Outil coffrant:		4	200000 €	EXECUTION	28%
Connecteurs :	4848kg		18422,9 €		
Tablier:	70648kg		824184,539 €		
Armatures:	202200kg		303300 €		
Protection anti corrosion:	1096m ²		43831,49 €		
Etanchéité du tablier:	2544m ²		89040 €		
Coffrage:	6125m ²		490000 €		
Joints de chaussées:	24m		24000 €		
Caniveau:	424m		10600 €		
Comiche caniveau:	424m		169600 €		
Appareil d'appui sur culées:		2	8000 €		
Appareil d'appui sur piles:		4	48000 €		
Assemblage:	2296479kg		1037407,22 €		

Les prix sont faibles lorsqu'on les compare aux prix réels. Néanmoins, il se dégage de ce premier bilan que le pont mixte à entretoises 4 piles est moins coûteux que le pont en béton précontraint à hauteur variable et que le pont mixte à entretoises 2 piles.

	Prix total (k€)
Béton précontraint	4014
Mixte à entretoise 2 piles	3972
Mixte à entretoise 4 piles	3750

Cependant pour des raisons environnementales et géologiques, le pont mixte à entretoise 4 piles ne correspond pas, une des piles passe dans le lit majeur ce qui pose un problème. Le pont mixte à entretoise 2 piles est donc le pont le moins coûteux à construire.

Pont retenu : Pont Mixte à entretoise 2 piles

III- Mode de réalisation de la solution proposée

La réalisation du pont mixte se fera de la façon suivante :

Premièrement, au vu de la taille des poutres principales (IPE300, 3m de hauteur), il faudra réaliser des PRS avec 3 plaques d'acier (1100x150, 1200x150, 30x2700). Ces PRS seront réalisés sur place afin de faciliter le transport.



Ensuite, le faible largeur du tablier (12m<14m) nous a tout de suite orienté vers des entretoises et non des pièces de pont. Les entretoises étant de dimensions courantes (IPE60), on les commandera directement sur catalogue. Leurs longueurs sont de 5970mm. Les entretoises seront à placer tous les 7,57m (<8m) pour assurer une bonne stabilité du tablier. Pour apporter une rigidité supplémentaire, des raidisseurs verticaux (PRS en Té) seront placés régulièrement.

Pour assurer la durabilité de l'ouvrage, il faudra penser à appliquer une peinture protectrice sur les parties métallique de l'ouvrage. Il faudra évidemment renouveler ces peintures régulièrement pour éviter tout risque de corrosion.

L'ouvrage ainsi construit pourra être lancé sur une longueur de 212m et posé sur ces appareils d'appuis. Le tablier B.A. sera quant à lui coulé sur place directement sur les IPE300 à l'aide d'un outil coffrant. On ajoutera également des goujons (connecteurs) pour assurer une adhérence parfaite entre les poutres en acier et le béton du tablier.



Un fois que l'ouvrage aura été mis en place et le béton soit sèche, on pourra poser la couche d'étanchéité pour préserver le béton des agressions extérieures et ainsi assurer la durabilité de l'ouvrage. On finira par la pose de la couche de roulement, joints de dilatations et de tous les systèmes de sécurité.

IV- Dimensionnement de la fondation de la pile la plus haute

L'objectif de cette partie est de pré-dimensionner les fondations profondes de la pile la plus sollicitée, soit la pile la plus haute soit la pile encadrée par les travées les plus importantes, selon le type de pont choisi.

La pile sera fondée sur 2 files de pieux forés. On déterminera le diamètre des pieux (F1000, F1200 ou F1500), leur nombre et leur longueur. Les justifications du dimensionnement de la pile seront faites à l'ELS Quasi-Permanent, à l'ELS Caractéristique et à l'ELU.

Tout d'abord, il est nécessaire de réaliser un inventaire des charges élémentaires. Les charges sont donc :

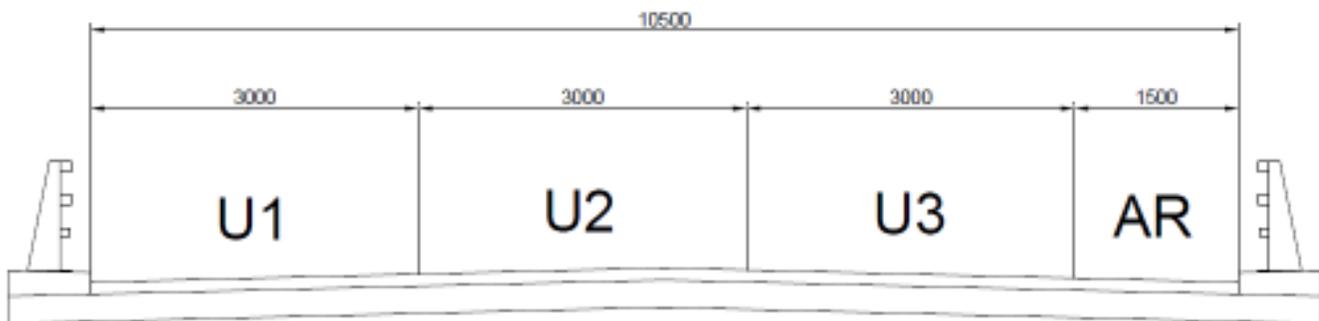
- Charges de poids propre :
 - Poids du tablier « g_{tab} » (/ml de tablier)
 - Poids des superstructures « g_{superstr} » (/ml de tablier)
 - Poids du fût de pile « $G_{\text{fût}}$ »
 - Poids de la semelle « G_{semelle} »
- Actions variables dues au trafic
 - Charges réparties UDL (/ml de tablier)
 - Charges concentrées TS

On commence par calculer les actions variables selon l'Eurocode 1. Pour cela, on définit le nombre et la largeur des voies de circulation.

$$\text{Largeur de la chaussée} = 10,5 \text{ m} > 6 \text{ m}$$

$$\text{donc le nombre de voies est } n = E\left(\frac{10,5}{3}\right) = 3 \text{ avec des voies de 3 m de largeur}$$

$$\text{et l'aire résiduelle est } w - 3n = 1,5 \text{ m}$$



Ensuite, on calcule les charges réparties UDL et les charges concentrées TS.

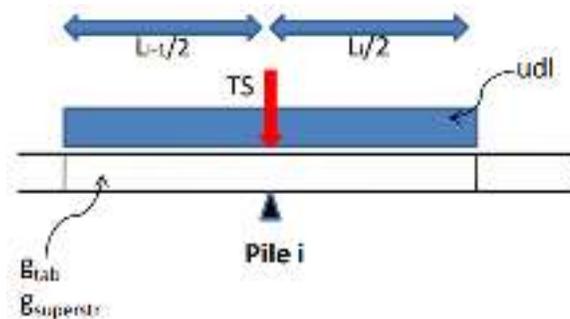
$$UDL = \sum w_i \alpha_{qi} q_{ik} = 9 \times 0,7 \times 3 + 2,5 \times 1 \times 7,5 = 37,65 \text{ KN/ml de tablier}$$

$$TS = \sum \alpha_{qi} Q_{ik} = 2 \times 300 \times 0,9 + 2 \times 200 \times 0,8 + 2 \times 100 \times 0,8 = 1020 \text{ KN}$$

Pour calculer la charge que transmet le tablier à la pile, on calcule le poids du tablier et le poids de la superstructure (pondération maximale) pour les additionner aux actions variables dues au trafic.

$$g_{tab} = 15933,32 \text{ KN/ml de tablier}$$

$$g_{superstr} = 40,7 \text{ KN/ml de tablier}$$

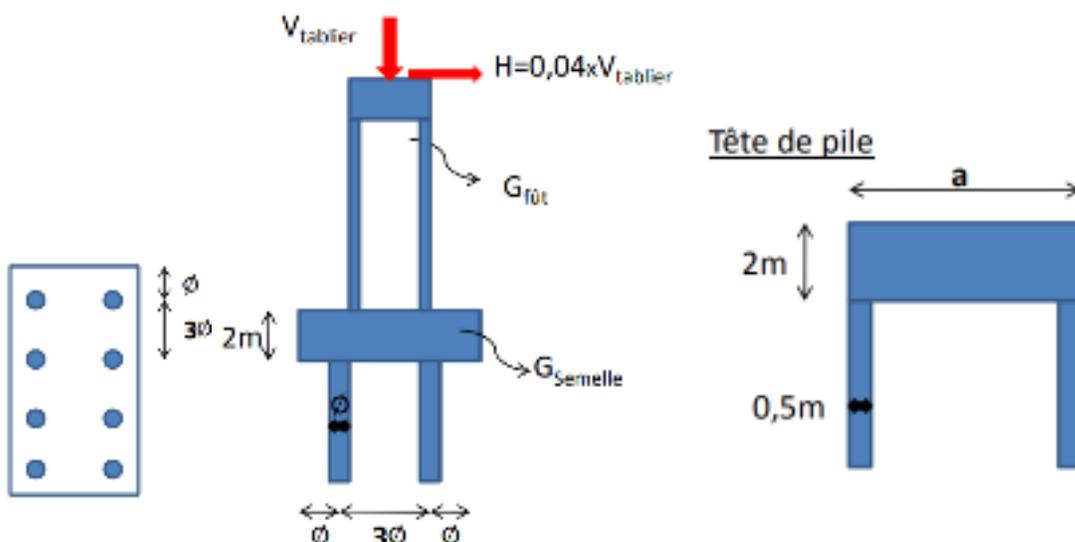


Ensuite, on sait que :

$$V_{tablier} = TS + \left(\frac{L_{i-1} + L_i}{2} \right) \times (UDL + g_{tab} + g_{superstr})$$

On inclut TS et UDL selon le cas de charge.

$$H = 0,04 \times V_{tablier}$$



D'après le pont choisi, on sait que la pile la plus haute fait 25 m d'hauteur et comme il s'agit d'un ouvrage d'art mixte la largeur de la tête de pile a est de 3 m.

De plus, d'après notre modélisation, la profondeur de la tête de pile b est 8 m.

Ensuite, afin de calculer l'effort maximal de compression sur le pieu le plus sollicité, il faut calculer le poids du fût de pile et le poids de la semelle avec x pieux de Φ mm de diamètre. Après avoir réalisé plusieurs itérations, on choisit de mettre 12 pieux de $\Phi 1000$ mm de diamètre.

$$G_{fût} = (2ab + ab(h - 2) - b(a - 2 \times 0,5)(h - 2)) \times \rho_{béton} = 6032 \text{ KN}$$

$$G_{semelle} = \left(2 \times \frac{2\Phi + 3\Phi}{1000} \times \frac{2\Phi + \left(\frac{x}{2} - 1\right) 3\Phi}{1000} \right) \times \rho_{béton} = 4420 \text{ KN}$$

$$N = V_{tablier} + G_{fût} + G_{semelle}$$

$$M = H \times (h + 2)$$

L'effort maximal sur le pieu le plus sollicité est donc :

$$N_{max-pieu} = \frac{N}{x} + \frac{M}{ex/2}$$

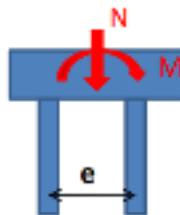
L'effort maximal sur le pieu les plus sollicité doit vérifier les état limites : ELS Quasi-Permanent « G », ELS Caractéristique « G + UDL + TS » et ELU « 1,35G + 1,35(UDL + TS) ».

Pour l'ELU :

ELU	
V (MN)	21.82
H (MN)	0.87
N (MN)	35.93
M (MN.m)	23.57
Nmax_pieu (MN)	4.30

Pour l'ELS Caractéristique :

Torseurs à la base et au centre de la semelle



n : nb total de pieux

e : entraxe longitudinal des pieux (=3^o)

ELS Car	
V (MN)	16.16
H (MN)	0.65
N (MN)	26.62
M (MN.m)	17.46
Nmax_pieu (MN)	3.19

Pour l'ELS Quasi-Permanent :

ELS QP	
V (MN)	12.35
H (MN)	0.49
N (MN)	22.80
M (MN.m)	13.34
Nmax_pieu (MN)	2.64

Cela doit être comparée à la résistance en compression pour les trois états limites. On calcule donc la portance des pieux de la façon suivante :

Valeur caractéristique de la résistance de pointe $R_{b;k}$:

$$R_{b;k} = A_b q_{b;k}$$

où $A_b = 0,785 \text{ m}^2$ surface de la base de la fondation

$$q_{b;k} = \frac{q_b}{\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2}} = \frac{k_p \times ple^*}{\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2}} = \frac{1,8 \times 5}{1,4 \times 1,1} = 5,84 \text{ MPa}$$

Valeur caractéristique de la résistance de frottement axial $R_{s;k}$:

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} q_{s;i;k}$$

où $A_{s;1} = 9,42 \text{ m}^2$ section latéral du fût dans la partie 1

$A_{s;2} = 9,42 \text{ m}^2$ section latéral du fût dans la partie 2

$$q_{s;i;k} = \frac{q_{s;i}}{\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2}} = \frac{q_{s;1} + q_{s;2}}{\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2}} = \frac{q_{s;1} + q_{s;2}}{1,4 \times 1,1}$$

Ainsi, la résistance en compression à l'ELU est :

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} = 5,17 \text{ MN}$$

cela vérifie $N_{max-pieu;ELU} = 4,3 \text{ MN} < R_{c;d} = 5,2 \text{ MN}$

La résistance en compression à l'ELS Caractéristique est :

$$R_{c;cr;d} = \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}} = \frac{0,5R_{b;k} + 0,7R_{s;k}}{0,9} = 3,41 \quad MN$$

cela vérifie $N_{max-pieu;ELS\ car} = 3,2 \text{ MN} < R_{c;cr;d} = 3,4 \text{ MN}$

La résistance en compression à l'ELS Quasi-Permanent est :

$$R_{c;cr;d} = \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}} = \frac{0,5R_{b;k} + 0,7R_{s;k}}{1,1} = 2,79 \quad MN$$

cela vérifie $N_{max-pieu;ELS\ car} = 2,64 \text{ MN} < R_{c;cr;d} = 2,79 \text{ MN}$