

CHAPITRE VIII : CONCEPTION ET PREDIMENSIONNEMENT

I. Prédimensionnement de l'arc

Les dimensions d'un pont en arc sont caractérisées par son ouverture L , mesurée entre ses naissances, et sa flèche f , qui représente la distance entre la ligne joignant ses naissances et le point le plus haut de la fibre moyenne.

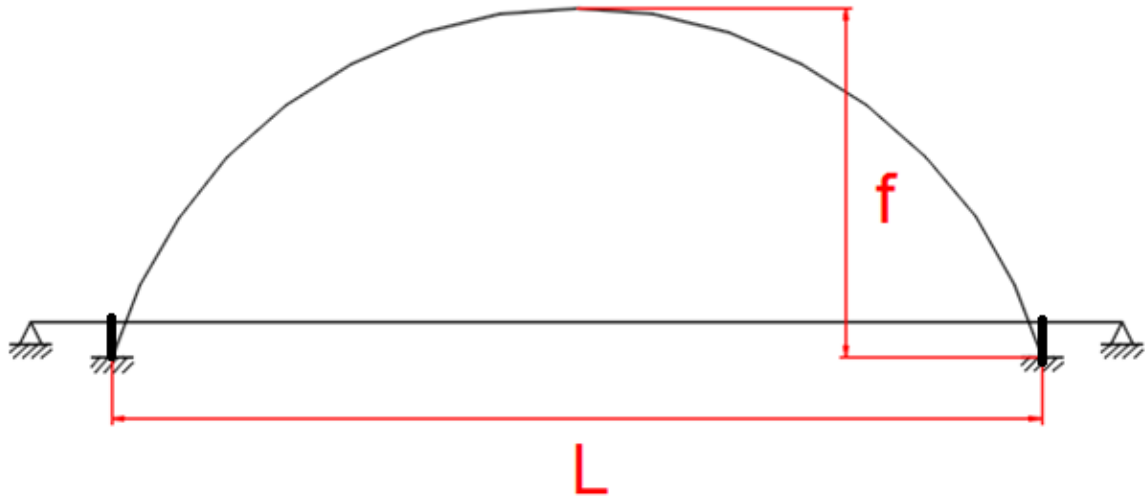


Figure 16 : Les dimensions caractéristiques d'un pont en arc

I. 1. Ouverture L :

Elle est déduite selon le choix de l'emplacement des appuis des arcs. Dans notre cas ces appuis sont distantes de 200 m, d'où :

$$L = 200 \text{ [m]}$$

I. 2. Flèche f :

Elle est donnée par la relation suivante :

$$5 \leq \frac{L}{f} \leq 8$$

$$\rightarrow \frac{L}{8} \leq f \leq \frac{L}{5}$$

$$\rightarrow 25 \leq f \leq 40$$

Ainsi, nous allons prendre, $f = 30 \text{ [m]}$

I. 3. Hauteur de l'arc H :

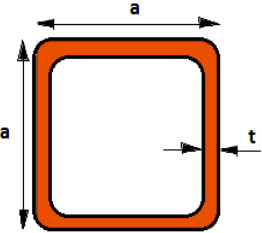
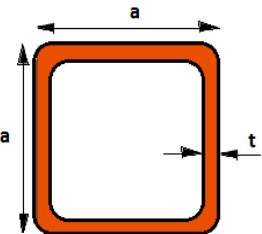
Pour de raison architecturale, nous avons opté pour un arc en treillis à hauteur constante. Avec des ponts de grandes ouvertures ($L > 150$ m), on a la condition suivante : $\frac{L}{H} \approx 60$

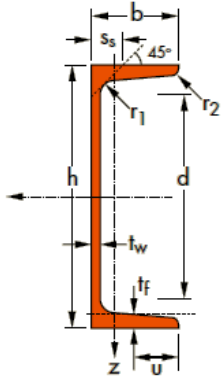
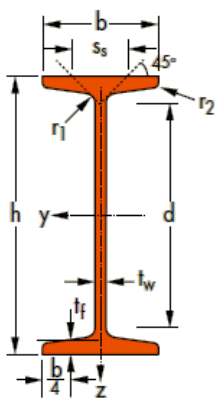
Soit **H = 3,5 [m]**

I. 4. Choix des types de barres constituant l'arc :

Pour les arcs de grande portée, il est préférable d'utiliser des treillis courbes de type Warren, les membrures devront de préférable être en caissons de section creuse et les diagonales composées de profilés de grande section. La valeur optimum de l'angle d'inclinaison ϕ des diagonales par rapport à la normale des membrures est de 35° .

Tableau 25 : Types et caractéristiques des barres constituant l'arc

Composants	Type du profilé	Nombre	Caractéristiques géométriques
Membrure supérieure	Section carrée Profil creux 400*400 	1	M = 235 [kg/m] a = 400 [mm] t = 20 [mm] A = 300. 10 ² [mm ²]
Membrure inférieure	Section carrée Profil creux 400*400 	1	M = 235 [kg/m] a = 400 [mm] t = 20 [mm] A = 300.10 ² [mm ²]

Composants	Type du profilé	Nombre	Caractéristiques géométriques
Diagonale	Section en U UPN 350 	2	$M = 60,6 \text{ [kg/m]}$ $h = 350 \text{ [mm]}$ $b = 100 \text{ [mm]}$ $t_w = 14 \text{ [mm]}$ $t_f = 16 \text{ [mm]}$ $r_1 = 16 \text{ [mm]}$ $r_2 = 8 \text{ [mm]}$ $A = 77,3 \cdot 10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$ $d = 282 \text{ [mm]}$
Raidissement transversal	Treillis constitué de même section que l'arc 	IPN 80	$M = 5,94 \text{ [kg/m]}$ $h = 80 \text{ [mm]}$ $b = 42 \text{ [mm]}$ $t_w = 3,9 \text{ [mm]}$ $t_f = 5,9 \text{ [mm]}$ $r_1 = 3,9 \text{ [mm]}$ $r_2 = 2,3 \text{ [mm]}$ $A = 7,57 \cdot 10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$ $d = 59 \text{ [mm]}$

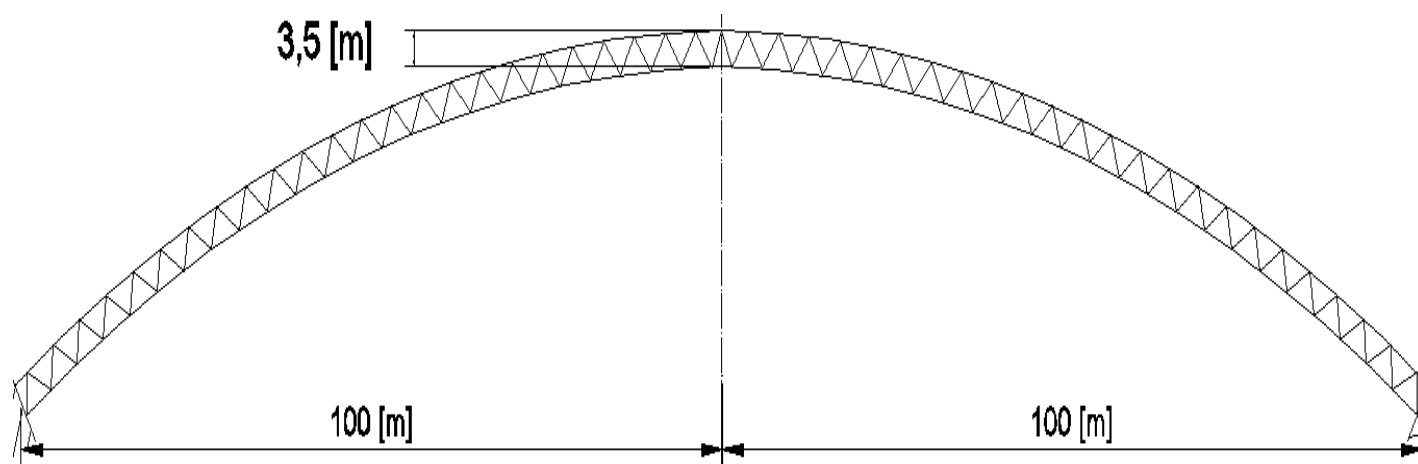


Figure 17 : L'arc en treillis

II. Prédimensionnement des poutres de rigidités

Actuellement très répandue dans la construction de pont, du fait de sa légèreté, de la simplicité de sa structure et de sa capacité à atteindre une portée très importante, la poutre à treillis de type Warren est le choix le plus rationnel pour notre ouvrage. Il s'agit d'une poutre à deux membrures : supérieure et inférieure qui jouent un rôle analogue à celui des ailes d'un profilé laminé à double T, c'est-à-dire, elles reprennent les moments de flexion. Les efforts tranchants sont équilibrés par un réseau de barres comprimées ou tendues (les diagonales et les montants) et servant d'introduction des forces concentrées.

Ce type de poutre est caractérisé par sa portée L , sa hauteur h et la distance entre nœuds a . On choisit des treillis sans montant pour avoir une structure légère. En prenant en considération les déformations dues aux effets des efforts tranchants sur les diagonales, ceux-ci doivent avoir une inclinaison de 35° (la valeur optimale) par rapport à la verticale, la distance entre nœuds et le nombre de panneaux en découlent. Les différents éléments de la charpente sont assemblés par boulonnage à serrage contrôlé.

Les poutres sont placées à l'extérieur des gabarits des voies routières. Elles sont liaisonnées par une structure faite de pièces de pont de longerons qui porte le platelage et transportent les charges et les surcharges aux nœuds inférieurs de la poutre.

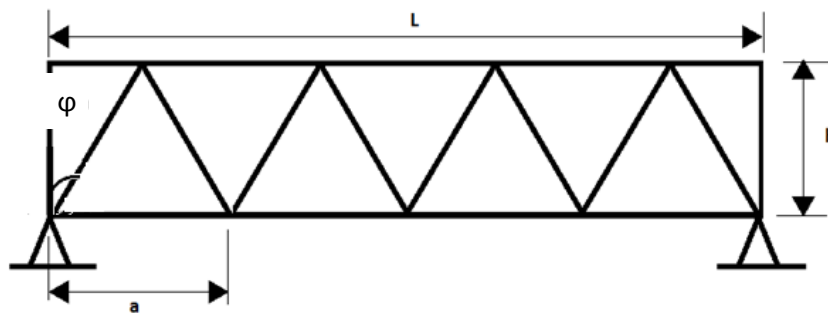


Figure 18 : Poutre Warren

La poutre Warren doit répondre aux critères suivant :

Elancement de la poutre : $\frac{L}{h} \leq 15$

Hauteur du treillis : $h = L/80$

Avec un pont de portée 200 m, la hauteur du treillis doit être égale à :

$h = L/80 = 3 \text{ m}$ et l'élancement va être trop important, mais comme nous avons disposé des appuis (suspenste) tous les 4 [m], nous allons réduire la hauteur de la moitié.

Ainsi, on retient les valeurs suivantes :

Distance entre suspenste : **$L = 4 \text{ [m]}$**

Hauteur du treillis : **$h = 1,5 \text{ [m]}$**

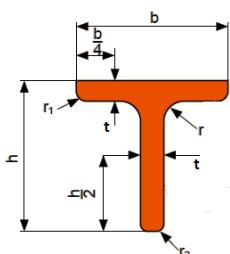
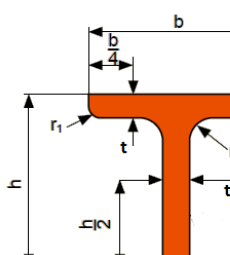
Élancement = 2,67

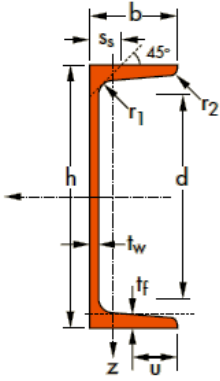
Angle d'inclinaison des diagonales : **$\phi = 35^\circ$**

Pour avoir, après calcul, la distance entre nœuds : **$a = 2 \text{ [m]}$**

Choix des types de barres de la charpente :

Tableau 26 : Profilés composant la poutre principale

Composants	Type du profilé	Nombre	Caractéristiques géométriques
Membrure supérieure de la poutre principale	Section en T T 300*300*20 	1	M = 91,1 [kg/m] h = 300 [mm] b = 300 [mm] t = 20 [mm] r = 25 [mm] r ₁ = 18 [mm] r ₂ = 9 [mm] A = 116,0.10 ² [mm ²]
Membrure inférieure de la poutre principale	Section en T T 300*300*20 	1	M = 91,1 [kg/m] h = 300 [mm] b = 300 [mm] t = 20 [mm] r = 25 [mm] r ₁ = 18 [mm] r ₂ = 9 [mm] A = 116,0.10 ² [mm ²]

Composants	Type du profilé	Nombre	Caractéristiques géométriques
Diagonale de la poutre principale	Section en U UPN 120 	2	$M = 13,4 \text{ [kg/m]}$ $h = 120 \text{ [mm]}$ $b = 55 \text{ [mm]}$ $t_w = 7,0 \text{ [mm]}$ $t_f = 9,0 \text{ [mm]}$ $r_1 = 9,0 \text{ [mm]}$ $r_2 = 4,5 \text{ [mm]}$ $A = 17,0 \cdot 10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$ $d = 82 \text{ [mm]}$

III. Choix du type de suspente

Les suspentes sont constituées par des câbles en acier, elles sont pré dimensionnées de façon à ce que la fonctionnalité du pont soit maintenue advenant qu'un accident survienne sur le pont provoquant la rupture de l'un des câbles servant à supporter le tablier. De ce fait, les autorités auront tout le temps voulu pour procéder au remplacement du câble en question sans devoir restreindre la circulation sur le pont.

Nous allons raccorder les câbles à la poutre principale aux mêmes abscisses que les pièces de pont, donc, ils sont aussi espacés de 4 [m].

Même si nous avons une structure légère, pour prendre en compte le risque d'une éventuelle rupture d'un ou deux câbles, de plus pour que le remplacement des câbles se feront sans le moindre danger lors des entretiens, nous opterons pour les câbles à 7 torons au nombre de 45 disposés tous les 4[m] sur l'arc.

Les câbles auront les caractéristiques suivantes :

- Câble à torons de 7 fils ;
- Diamètre d'un toron : $\phi = 15,7 \text{ [mm]}$;
- Section nominale d'un toron : $A = 150 \text{ [mm}^2\text{]}$;
- Charge de rupture caractéristique spécifiée : 279 [kN] ;
- Charge caractéristique spécifiée à la limite conventionnelle d'élasticité à 2% : 246 [kN]

- Résistance caractéristique spécifiée à la traction : $1\,860\text{[N/mm}^2\text{]}$;
- Masse nominale au mètre : $M = 8,3\text{[kg/m]}$;
- Les câbles sont enveloppés dans des gaines pour leur assurer une bonne résistance à la corrosion.

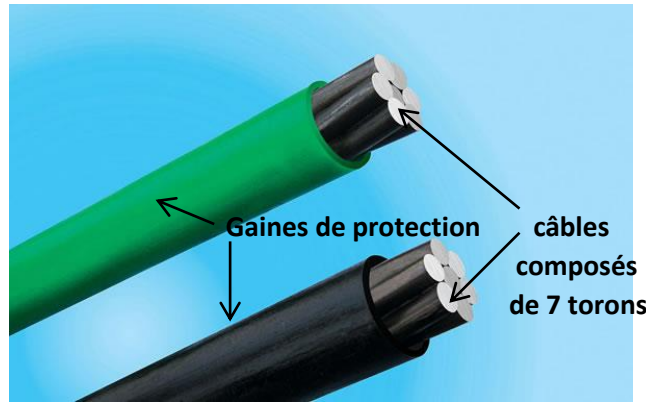


Figure 19 : Protection des câbles

Notons que ce type de câbles pour le pont doit être préétirés afin que la déformation initiale dans les câbles soit très faible une fois en service. Le prédimensionnement se fera dans les prochains chapitres avec les vérifications.

IV. Potelets

Ayant à peu près la même fonction que les suspentes, c'est-à-dire, transmettre les charges aux éléments porteurs, les potelets sont de deux types : d'un côté, nous avons les potelets s'appuyant à l'arc et d'un autre côté, il y a les potelets s'appuyant directement au sol.

Pour une disposition constrictive, la hauteur de leur section devra être de même dimension que celle de la semelle de la membrure inférieure des poutres principales. Donc, 300mm.

Ces éléments sont en compression, donc les sections bisymétriques sont plus convenables.

On choisit donc des profilés IPN300, leurs caractéristiques sont données par le tableau 26.

V. Platelage

Cette partie du tablier conçue pour supporter en premier lieu les surcharges d'exploitations doit assurer aussi d'autres fonctions comme transmettre les efforts locaux aux poutres principales, assurer le contreventement horizontal du tablier et participer à la flexion d'ensemble des poutres principales. Plusieurs types de structures peuvent assurer ces fonctions mais nous allons opter pour

une dalle orthotrope tout en acier du fait de sa légèreté (avec une masse moyenne de $185 \text{ [kg/m}^2\text{]})$, de plus elle constitue une solution économique de notre pont en arc.

Une dalle orthotrope présente par définition une anisotropie orthogonale, c'est-à-dire des rigidités de flexion différentes dans le sens longitudinal et dans le sens transversal. Elles sont constituées d'une tôle de platelage métallique à la sous-face de laquelle sont soudés des raidisseurs longitudinaux. Ces raidisseurs peuvent être ouverts (barre soudée ou profil en L ou en T), ou fermés (augets trapézoïdaux, le type que nous choisirons du fait de sa grande performance par rapport à l'autre type). L'ensemble tôle de platelage et augets est soudé sur les pièces de pont qui assurent un raidissage transversal. La flexion longitudinale est ensuite reprise au moyen de poutres principales.

V. 1. Dimensions

On opte pour une tôle de platelage de 14 [mm] d'épaisseur, ce qui est recommandé par la norme EN1993-2, pour que la contrainte en flexion locale soit petite et que son endurance à la fatigue soit assez élevée. Elle est renforcée sur sa face inférieure par un système de raidisseur en auget, avec un écartement des nervures de 300 [mm] , soit une distance entre axe de 600 [mm] .

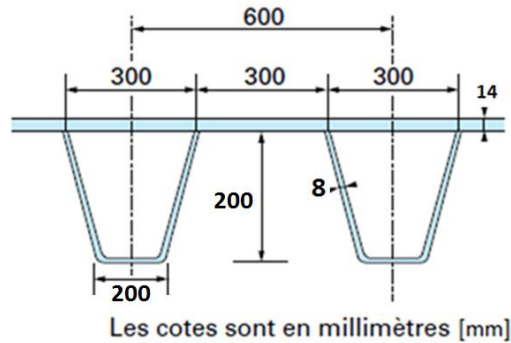


Figure 20: Dimensions du raidisseur en auget

Les augets auront une épaisseur de 8 [mm] , ils sont contrôlés strictement de façon à ce que leurs sections intérieures soient étanches et à l'abri de tout risque de corrosion. Leur hauteur est de 200 [mm] et la largeur à la base est de 200 [mm] .

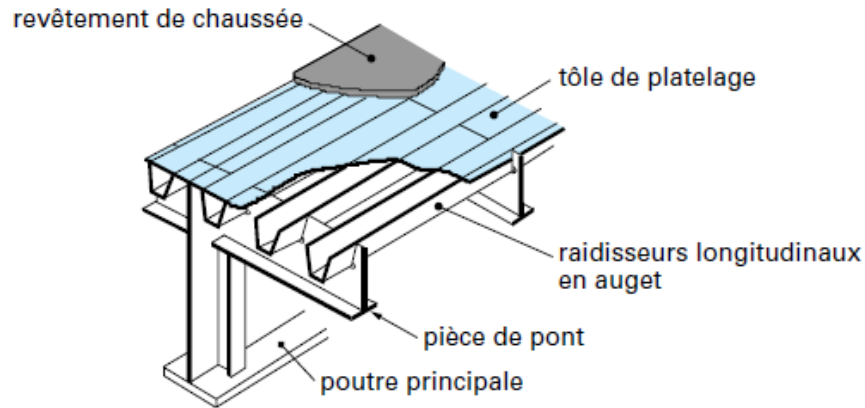


Figure 21 : Disposition de la dalle orthotrope

V. 2. Revêtement

La tenue du revêtement de chaussée, qui est ce qu'apprécie en premier l'utilisateur, est aussi pour le gestionnaire de l'ouvrage un facteur déterminant de la politique d'exploitation et d'entretien du pont. Il importe donc, lors de la construction de choisir le type de revêtement le mieux adapté aux caractéristiques du support, c'est-à-dire, présentant une bonne qualité de souplesse, d'adhérence et d'étanchéité, de façon qu'il puisse en suivre sans dommage, les déformations en même temps que les protéger contre la corrosion en le préservant des infiltrations d'eaux pluviales plus ou moins salines.

Suivant la norme Eurocode, avec une tôle de platelage de 14[mm] d'épaisseur, la couche de revêtement est de 70[mm]. On choisit un revêtement épais, caractérisé par son aspect multicouche, comportant :

- Un vernis de protection assurant aussi le rôle de couche d'accrochage ;
- Une couche d'étanchéité d'environ 3[mm] ;
- Et une couche de roulement en béton bitumineux de 70[mm] d'épaisseur avec une masse volumique 23,50[kN/m³].

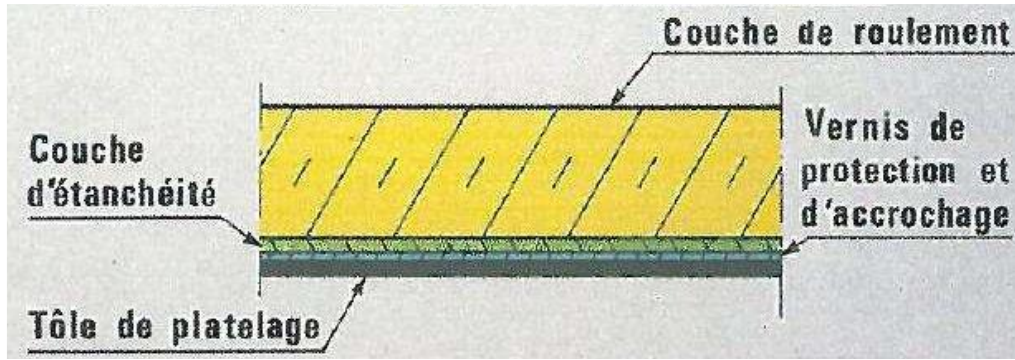


Figure 22 : Revêtement épais multicouche de la dalle orthotrope

VI. Entretoisement

L'entretoisement des deux poutres latérales est assuré par des pièces de pont rigidifiées par le platelage en auget et rattachées au droit des nœuds de membrures inférieures. Cet ensemble constitue une structure spatiale. Dans sa forme classique la section transversale est celle d'un profil ouvert en forme de U (figure 23).

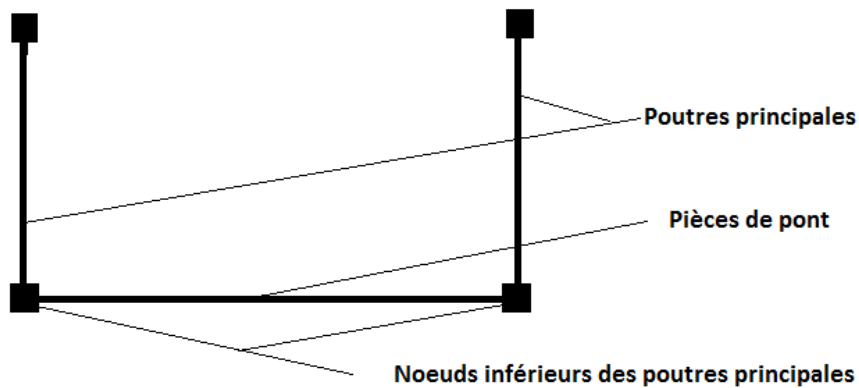


Figure 23 : Section transversale de la charpente métallique.

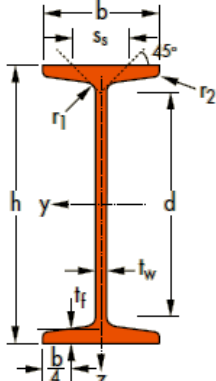
Les poutres principales sont en treillis, les pièces de pont jouent le rôle de transmettre les charges aux poutres principales, et on sait que le chargement que doit supporter un treillis doit être appliqué aux nœuds, un chargement sur une membrure amènerait un effort de flexion aux nœuds qui entrainerait la destruction du treillis. Tout cela pour dire que les pièces de pont doivent être liées aux poutres latérales au droit des nœuds inférieurs des treillis pour que les charges transmises

par les pièces de pont soient appliquées aux nœuds des treillis, donc elles auront un espacement multiple de 2[m].

Et avec un platelage en auget, nous allons adopter comme écartement des pièces de pont la distance entre axe maximale admise qui est de 4[m].

La hauteur maximale des pièces de pont étant de 1[m], l'épaisseur minimale de 10 [mm], la bonne mode de liaison entre pièce de pont et la dalle orthotrope consiste à couper les pièces de pont pour laisser passer les raidisseurs (comme illustre la figure21), toutes ces conditions nous ont conduit à choisir pour l'entretoisement, des barres de caractéristiques exposées dans le tableau qui suit.

Tableau 27 : Profilés composant l'entretoisement

Composants	Type du profilé	Nombre	Caractéristiques géométriques
Pièces de pont	Section en I IPN 300 	1	$M = 54,2 \text{ [kg/m]}$ $h = 300 \text{ [mm]}$ $b = 125 \text{ [mm]}$ $t_w = 10,8 \text{ [mm]}$ $t_f = 16,2 \text{ [mm]}$ $r_1 = 10,8 \text{ [mm]}$ $r_2 = 6,5 \text{ [mm]}$ $A = 69,0.10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$ $d = 241,6 \text{ [mm]}$

VII. Caractéristiques statiques des treillis

VII. 1. Arc

Nous avons un arc en treillis de hauteur constante. Les expressions de sa section et de son moment d'inertie entraînent des calculs vigoureux et compliqués et parfois même impossibles. Il

nous faut alors un moyen de simplifier ces expressions de façon à ne pas fausser les résultats ou au moins avoir des résultats plus proches de la réalité.

On a une hauteur constante, sa section et son moment d'inertie varient peu le long de sa portée : On peut donc, l'assimiler à une poutre en double T d'inertie réduit I' et de section d'âme S'_1 . Ces valeurs réduites dépendent de l'angle θ (inclinaison de la section par rapport à l'horizontal), par mesure de simplification, nous allons ne prendre en compte dans les calculs que la valeur moyenne des valeurs réduites.

Son moment d'inertie réduit est donné par :

$$\frac{1}{I'} = \frac{1}{h^2} \left(\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega'} \right)$$

$$\Rightarrow I' = h^2 \cdot \frac{\Omega \cdot \Omega'}{\Omega + \Omega'}$$

D'où,

$$I' = \Omega \cdot d^2 + \Omega' \cdot d'^2$$

La section d'âme est :

$$S'_1 = \frac{E}{G} \cdot S \cdot \sin \varphi \cdot \cos^2 \varphi$$

La section réduite est :

$$S' = \Omega + \Omega' + S'_1$$

Avec, h : distance entre les centres de gravité des deux membrures ;

Ω' : aire de la membrure supérieure ;

Ω : aire de la membrure inférieure ;

d' : distance entre le centre de gravité de la membrure supérieure et le centre de gravité de l'ensemble des deux membrures ;

d : distance entre le centre de gravité de la membrure inférieure et le centre de gravité de l'ensemble des deux membrures ;

S : section de la diagonale ;

φ : angle que fait la diagonale avec la normale des membrures ;

G : module de cisaillement ;

E : module d'élasticité longitudinale.

Application numérique :

$$h = 3\,100 \text{ [mm]}$$

$$\Omega' = 300 \cdot 10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\Omega = 300.10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$d' = 1550 \text{ [mm]}$$

$$d = 1550 \text{ [mm]}$$

$$S = 2.77,3.10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$G = 81\,000 \text{ [MPa]}$$

$$E = 210\,000 \text{ [MPa]}$$

Ce qui donne :

$$I' = 0,14415 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$S'_1 = 0,0154 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$S' = 0,0754 \text{ [m}^2\text{]}$$

VII. 2. Poutre

Puisque nous avons une poutre en treillis de hauteur constante, son moment d'inertie I'' et la section d'âme S''_1 équivalents sont calculés de la même manière que ceux de l'arc.

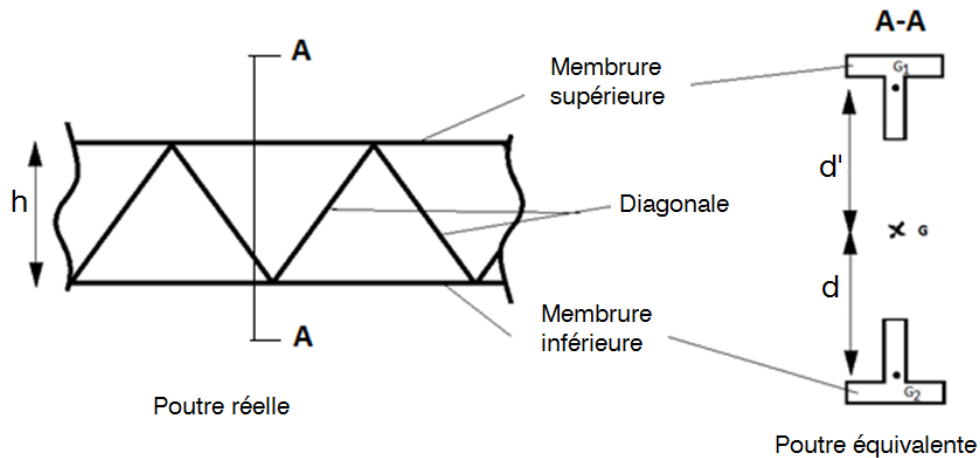


Figure 24: Poutre équivalente de la poutre en treillis

Application numérique :

$$h = 1\,335,18 \text{ [mm]}$$

$$\Omega' = 116,0.10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\Omega = 116,0.10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$d' = 667,59 \text{ [mm]}$$

$$d = 667,59 \text{ [mm]}$$

$$S = 2.17,0.10^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$G = 81\,000 \text{ [MPa]}$$

$$E = 210\,000 \text{ [MPa]}$$

Ce qui donne :

$$I'' = 0,0103397 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$S''_1 = 0,00339 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$S'' = 0,0271 \text{ [m}^2\text{]}$$

VIII. Dimensions transversales du pont

Comme nous avons un pont à deux voies de circulation et la longueur conventionnelle d'une voie est de 3 [m] et pour avoir un espacement optimal entre les véhicules, la largeur de la chaussée sera de 7 [m].

Avec un trottoir de 0,5 [m] sur les deux côtés de la chaussée, la largeur du tablier sera égale à 8[m].

Par conséquent, la distance entre les poutres de rigidité est de 8,5[m] du fait qu'elles sont placées à l'extérieur des gabarits des voies routières.

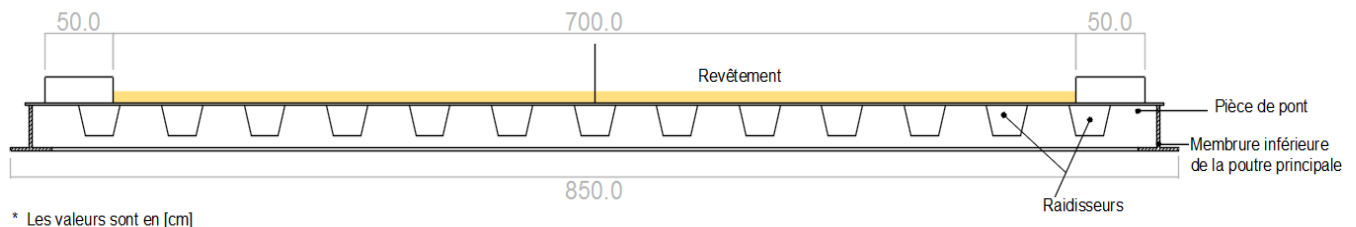


Figure 25 : Tablier à platelage orthotrope.

IX. Présentation générale du pont

Le pont sera constitué de trois travées, en se basant sur la position des naissances de l'arc (distants de 200[m]), la position de la chaussée et la longueur du pont ; les travées seront disposées de la manière suivante : une travée centrale de 200[m] portée par l'arc par l'intermédiaire des suspentes et de deux travées extrêmes de 20 [m] dépourvues de suspentes mais s'appuyant sur des potelets. La portée du pont est donc divisée en trois parties dont deux travées de rive de longueur 20[m] chacune et une travée centrale de 200 [m].

Les culées sont fondées à 5 [m] au-dessous du platelage. Le treillis de l'arc a une hauteur constante de 3,5 [m] et celui de la poutre est de 1,5[m].

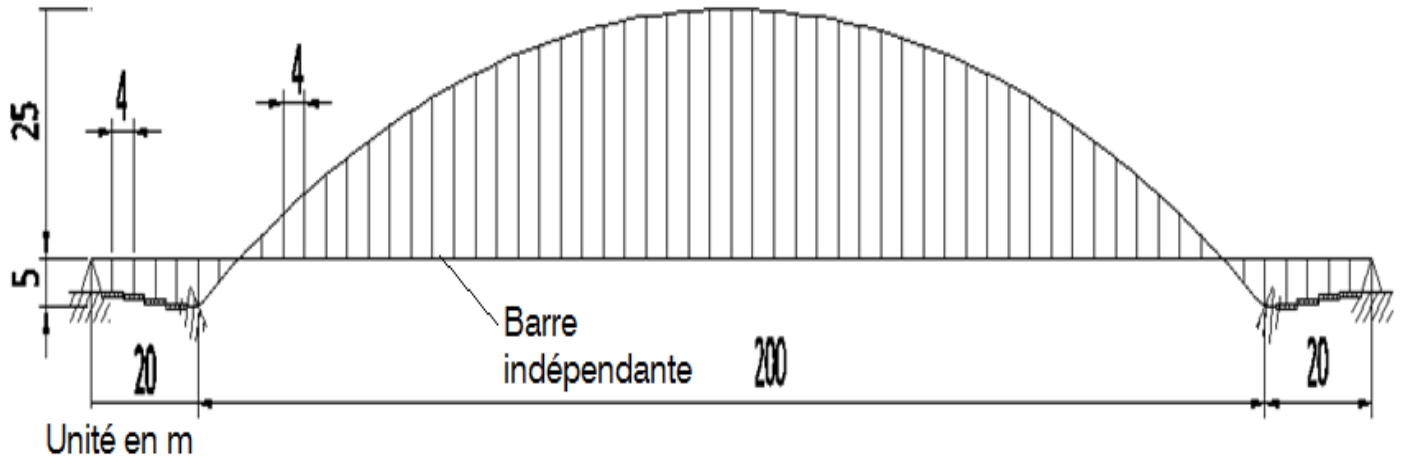


Figure 26: Dimensions générales du pont

Outre sa forme, ce pont présente bien assez de particularités qui distinguent sa conception de ceux des ponts usuels. Premièrement, comme il est mentionné précédemment, les poutres principales du tablier sont en treillis. Ces dernières sont fixées aux câbles porteurs reliés aux arcs au droit des nœuds.

Le mur de front des culées à la naissance des arcs doit être incliné : le sommet étant en retrait par rapport à la base.

Des raidisseurs transversaux en treillis, constitués de même barres que les arcs, doivent être conçus entre ces derniers pour renforcer leurs stabilités face au déversement. Leur position par rapport à l'altitude de la chaussée doit permettre la circulation des convois de grande hauteur.