

## **Flexion transversale d'un pont multipoutre**

Auteur : B. Tritschler (Arcadis) – 29/04/2020

### **SOMMAIRE**

<b>1. PREAMBULE</b>	<b>2</b>
1.1. Nécessité d'une étude globale	2
1.2. Objet de la note	2
<b>2. MODELISATION</b>	<b>4</b>
2.1. Géométrie réelle	4
2.2. Géométrie du modèle n°1	7
2.3. Géométrie du modèle n°2	13
2.4. Chargement	19
2.5. Conditions d'appuis	22
<b>3. RESULTATS</b>	<b>23</b>
3.1. Entretoise centrale	23
3.1.1. Modèle n°1	23
3.1.2. Modèle n°2	24
3.1.3. Bilan entretoises	26
3.2. Hourdis	30
3.2.1. Modèle n°1	30
3.2.2. Modèle n°2	34
3.2.3. Bilan hourdis	37
<b>4. CONCLUSION</b>	<b>38</b>
<b>5. ANNEXE – INFLUENCE DE L'INERTIE DE TORSION DES POUTRES</b>	<b>39</b>
5.1. Entretoises	39
5.2. Hourdis	41

## **1. PREAMBULE**

On présente dans ce document une solution pour modéliser un tablier multi-poutres présentant des rigidités en flexion longitudinale importante (de type poutre PRAD ou VIPP).

L'objet de ce modèle est, plus particulièrement, d'étudier la flexion transversale (étude des hourdis et des entretoises intermédiaires) et de conclure sur la pertinence ou non de modéliser le hourdis de manière excentrée, suivant les efforts que l'on veut récupérer.

### **1.1. NECESSITE D'UNE ETUDE GLOBALE**

Le fonctionnement mécanique du hourdis d'un tablier comportant des entretoises intermédiaires est fortement conditionné par la rigidité transversale apportée par les entretoises. Dans ce cas, l'étude du hourdis est indissociable de l'étude des entretoises intermédiaires.

De manière à s'approcher au mieux de l'état de contrainte réel du hourdis et des entretoises, il est nécessaire de réaliser une étude globale de l'ouvrage à travers un modèle mettant en œuvre la rigidité de tous les éléments constitutifs du tablier (poutres – entretoises et hourdis).

Les sollicitations appliquées aux entretoises et au hourdis seront déterminées à l'aide d'un programme aux éléments finis courant permettant de modéliser l'ensemble du tablier.

Un tel modèle est le plus proche de la réalité car il permet de prendre en compte précisément la flexibilité des poutres et la raideur des entretoises (lorsqu'elles existent).

Les efforts fournis par le modèle cumulent directement les efforts locaux et la flexion transversale générale du tablier.

Pratiquement, deux possibilités de modèles s'offrent à nous :

- Modélisation en 3D, avec retombées des poutres et entretoises excentrée par rapport au plan (ou nappe) du hourdis.
- Modélisation « pseudo-plane », avec poutres et entretoises dans le même plan (ou nappe) que le hourdis.

Notas :

Les différents modèles seront établis avec les entraxes réels des poutres et entretoises.

La précontrainte transversale n'est pas introduite dans la présente étude.

### **1.2. OBJET DE LA NOTE**

Cette note a pour objet de comparer deux modélisations d'un même tablier ;

- un modèle prenant en compte des excentrement des éléments « barres » que sont les retombées des poutres et des entretoises
- un modèle considérant les éléments « barres » que sont les poutres et les entretoises, sans excentrement par rapport au plan moyen du hourdis.

Dans les deux cas, le hourdis est modélisé comme des éléments de coques d'épaisseur variable.

L'objectif est de comparer les résultats selon deux critères :

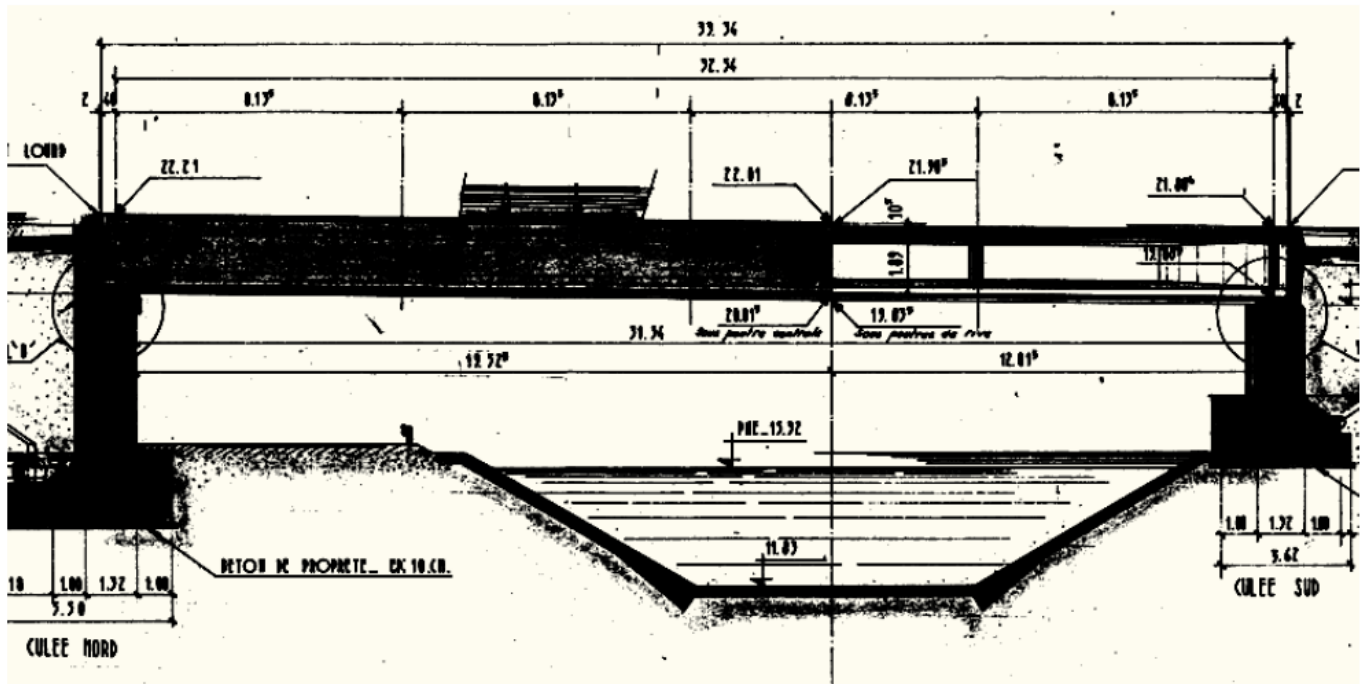
- validité des résultats – comparaison directe des résultats fournis par les deux modèles / validation des résultats.
- facilité d'exploitation des résultats / analyse du fonctionnement des modèles.

## 2. MODELISATION

### 2.1. GEOMETRIE REELLE

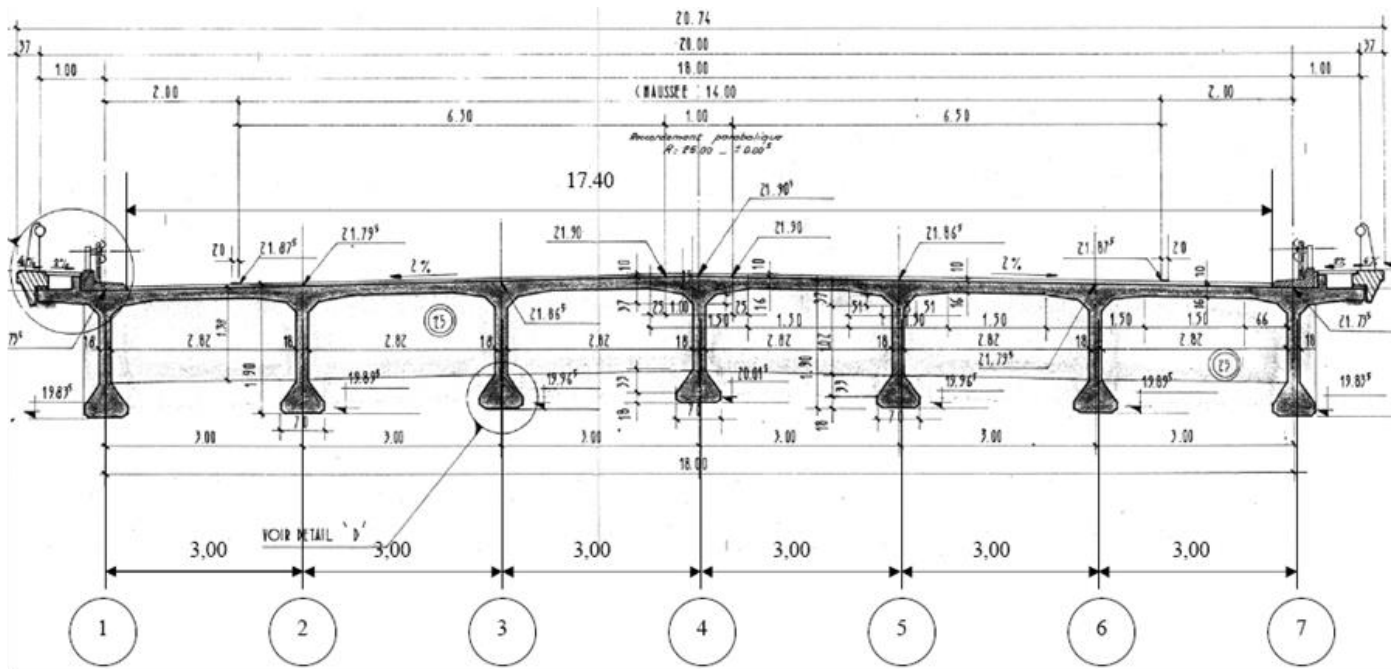
La géométrie de l'ouvrage est détaillée ci-après.

#### 2.1.1. Coupe longitudinale

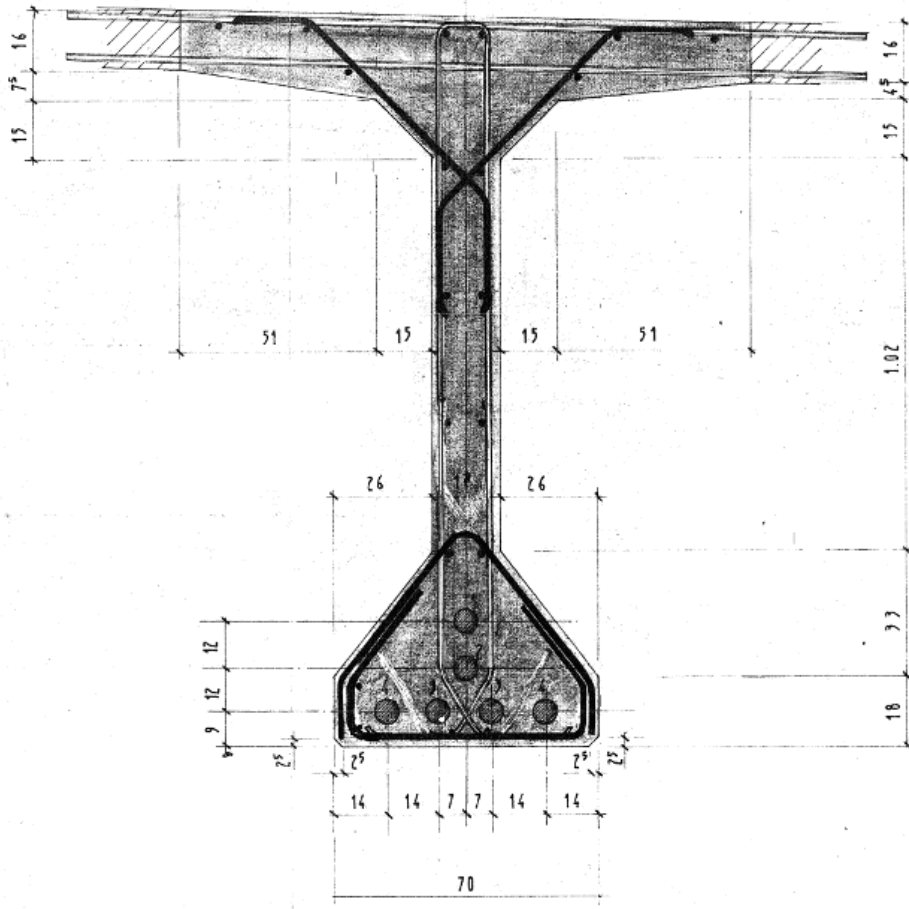


Coupe transversale de l'ouvrage (cf. : A009\_0729-3\_a1966\_PL 05d\_OUVRAGE\_coffrage)

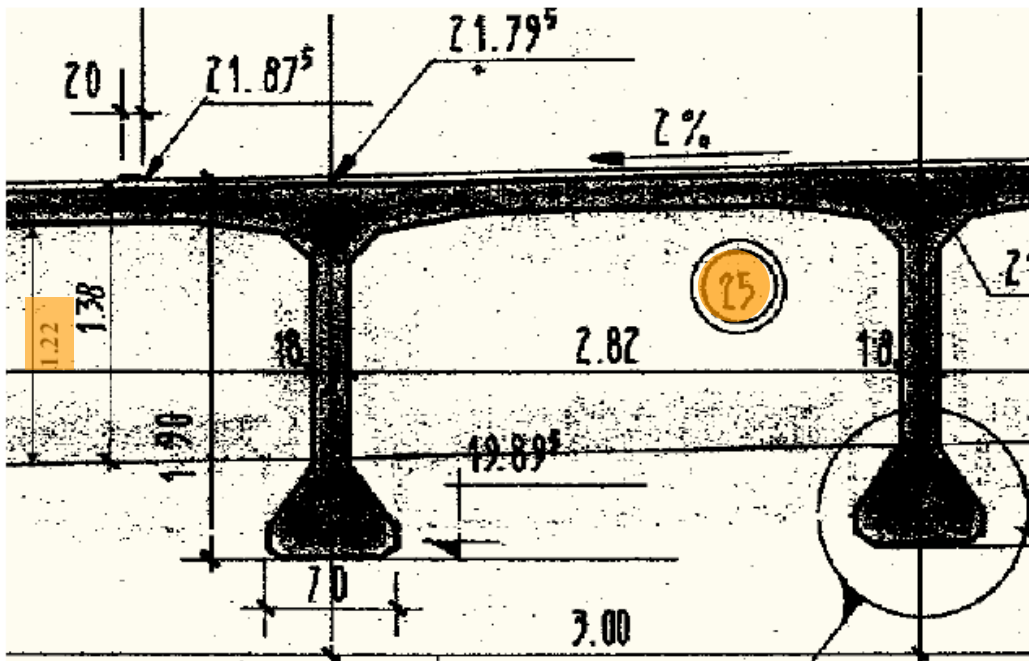
### 2.1.2. Coupe transversale



2.1.3. Poutre



2.1.4. Entretoise



## 2.2. GEOMETRIE DU MODELE N°1

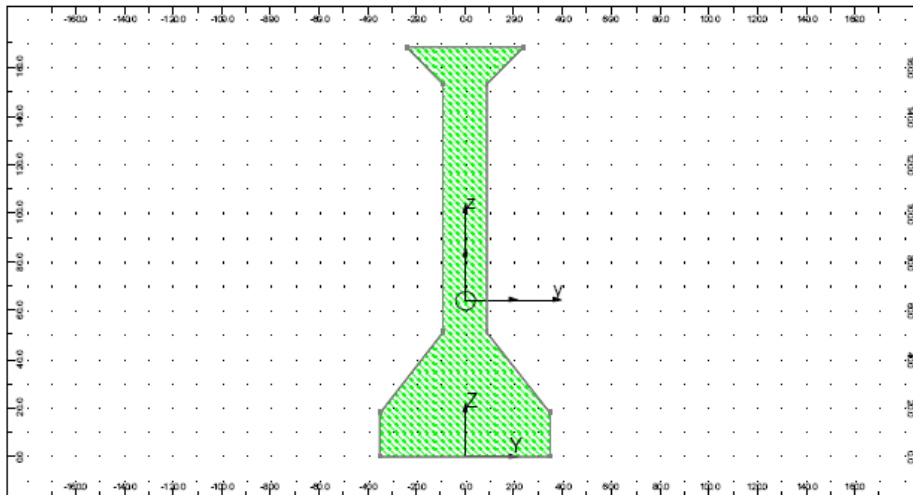
Le premier modèle consiste à prendre en compte les excentrement des retombées des poutres et des entretoises. Visuellement, pour ce modèle la géométrie est très proche de la géométrie réelle.

### 2.2.1. Poutres

Les tables de compression des poutres sont modélisées en modèle coques comme partie intégrante du hourdis. Seules les retombées des poutres sont modélisées en modèle « barre », hypothèse la mieux adaptée vue la géométrie « linéique » de celles-ci.

La géométrie « complexe » des retombées ne nous permet pas d'entrer directement les dimensions de la retombée dans Robot ; nous fournirons au logiciel directement les caractéristiques mécaniques à prendre en compte.

### ANALYSE DE LA SECTION



#### Description de la géométrie

Point n°	Y	Z
1	-35.0 cm	0.0 cm
2	35.0 cm	0.0 cm
3	35.0 cm	18.0 cm
4	9.0 cm	51.0 cm
5	9.0 cm	153.0 cm
6	24.0 cm	168.0 cm
7	-24.0 cm	168.0 cm
8	-9.0 cm	153.0 cm
9	-9.0 cm	51.0 cm
10	-35.0 cm	18.0 cm

#### Résultats généraux

Aire de la section	A = 0.504 m <sup>2</sup>
Centre de gravité	Y <sub>c</sub> = 0.0 cm Z <sub>c</sub> = 64.2 cm
Périmètre	S = 484.5 cm

#### Repère des axes principaux

Angle	alpha = 0.0 Deg
Moments d'inertie	I <sub>x</sub> = 0.010 m <sup>4</sup> I <sub>y</sub> = 0.145 m <sup>4</sup> I <sub>z</sub> = 0.009 m <sup>4</sup>
Rayons d'inertie	i <sub>y</sub> = 53.6 cm i <sub>z</sub> = 13.6 cm
Coefficients de rigidité en cisaillement	A <sub>y</sub> = 0.000 m <sup>2</sup> A <sub>z</sub> = 0.000 m <sup>2</sup>
Facteurs de résistance en flexion	W <sub>ely</sub> = 0.140 m <sup>3</sup> W <sub>elz</sub> = 0.027 m <sup>3</sup>
Facteurs de résistance au cisaillement	W <sub>y</sub> = 0.000 m <sup>2</sup> W <sub>z</sub> = 0.000 m <sup>2</sup>
Facteurs de résistance plastique	W <sub>ply</sub> = 0.000 m <sup>3</sup> W <sub>plz</sub> = 0.000 m <sup>3</sup>
Distances extrêmes	V <sub>y</sub> = 35.0 cm V <sub>py</sub> = 35.0 cm V <sub>z</sub> = 103.8 cm V <sub>pz</sub> = 64.2 cm

Variable | Composée | Spéciale | Ax, Wx, Ix, Vy ...

Nom : Poutre retombée    Couleur : Auto

Ax = 0.504 (m<sup>2</sup>)    vy = 35.0  
 Ix = 0.010    vpy = 35.0 (cm)  
 Iy = 0.145 (m<sup>4</sup>)    vz = 103.8  
 Iz = 0.009    vpz = 64.2

La variation d'épaisseur de l'âme près des appuis est négligée (peu d'influence pour le calcul des entretoises et du hourdis).

Nom de la section		AX [cm <sup>2</sup> ]	AY [cm <sup>2</sup> ]	AZ [cm <sup>2</sup> ]	IX [cm <sup>4</sup> ]	IY [cm <sup>4</sup> ]	IZ [cm <sup>4</sup> ]	
Poutre retombée		0.504	0.0	0.0	0.010	0.145	0.009	
Nom de l'excentrement	Liste des barres	UX origine [m]	UY origine [m]	UZ origine [m]	UX extrémité [m]	UY extrémité [m]	UZ extrémité [m]	Repère
Exc poutre	422 425 428 432A441P3 484A502P3 545A563P3 606A624P3	0.0	0.0	-1.15	0.0	0.0	-1.15	global

( $h_{\text{poutre}} = 1,90 \text{ m} - h_{\text{table}} = 0,22 \text{ m} - v_{\text{pz}} = 0,642 \text{ m}$ )  $\Rightarrow$  exc. =  $190 - 64,2 - 22/2 = 114,8 \text{ cm}$   
 arrondi à 1,15 m.

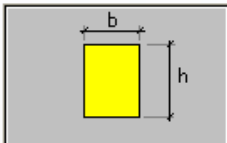
### 2.2.2. Entretoises

Les tables de compression des entretoises sont modélisées en modèle coques comme partie intégrante du hourdis. Seules les retombées des entretoises sont modélisées en éléments de type « barre », hypothèse la mieux adaptée vue la géométrie « linéique » de celles-ci.

La géométrie des retombée est entrée directement dans le logiciel.

Général

Nom : tretoise retombée    Couleur : Auto



Dimensions (cm)  
 b : 25.0  
 h : 122.0

Réduction du moment d'inertie  
 Appliquer section variable

Nom de la section		AX [m <sup>2</sup> ]	AY [m <sup>2</sup> ]	AZ [m <sup>2</sup> ]	IX [m <sup>4</sup> ]	IY [m <sup>4</sup> ]	IZ [m <sup>4</sup> ]
Entretoise retombée		0.305	0.254	0.254	0.006	0.038	0.002

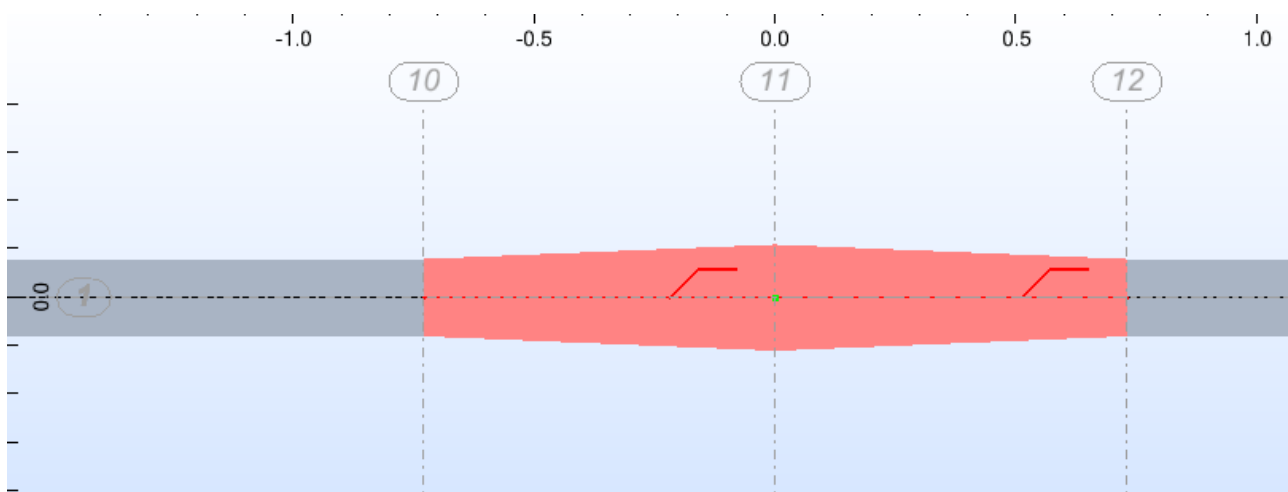


Nom de l'excentrement	Liste des barres	UX origine [m]	UY origine [m]	UZ origine [m]	UX extrémité [m]	UY extrémité [m]	UZ extrémité [m]	Repère
exc entretoise	21A40 463A482 524A543 585A604 646A665	0.0	0.0	-0.69	0.0	0.0	-0.69	globe

=> exc. =  $122/2 + 16/2 = 69$  cm.

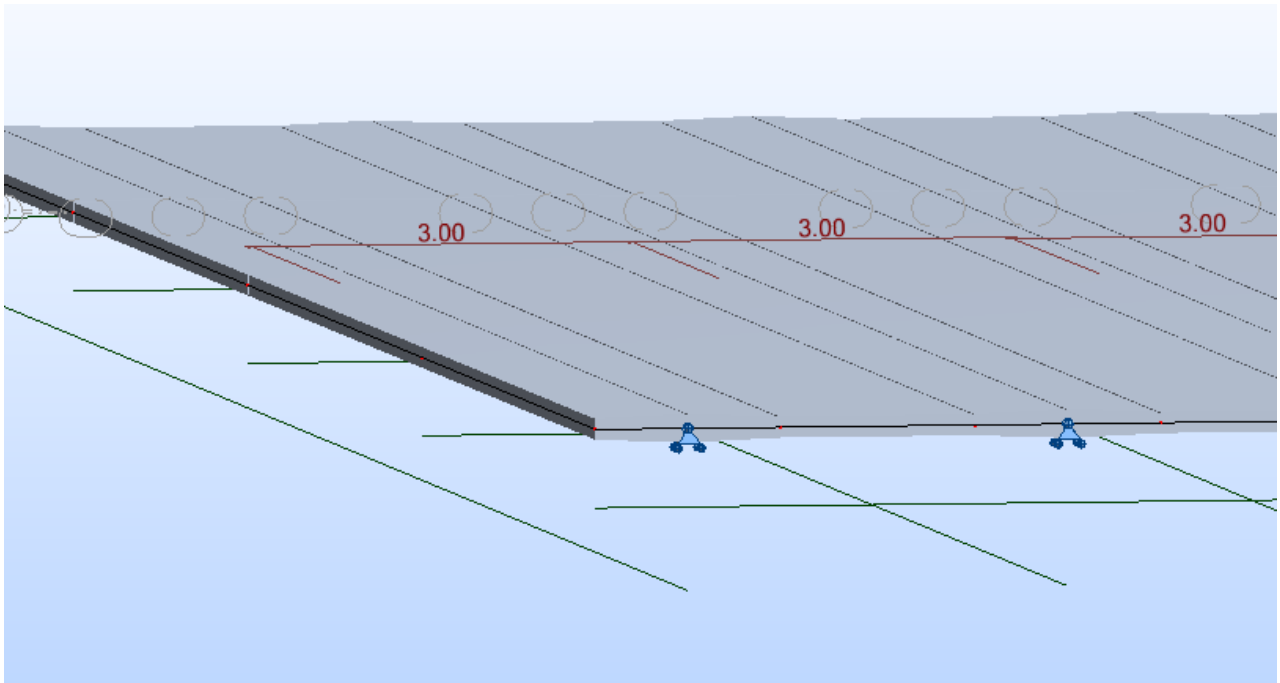
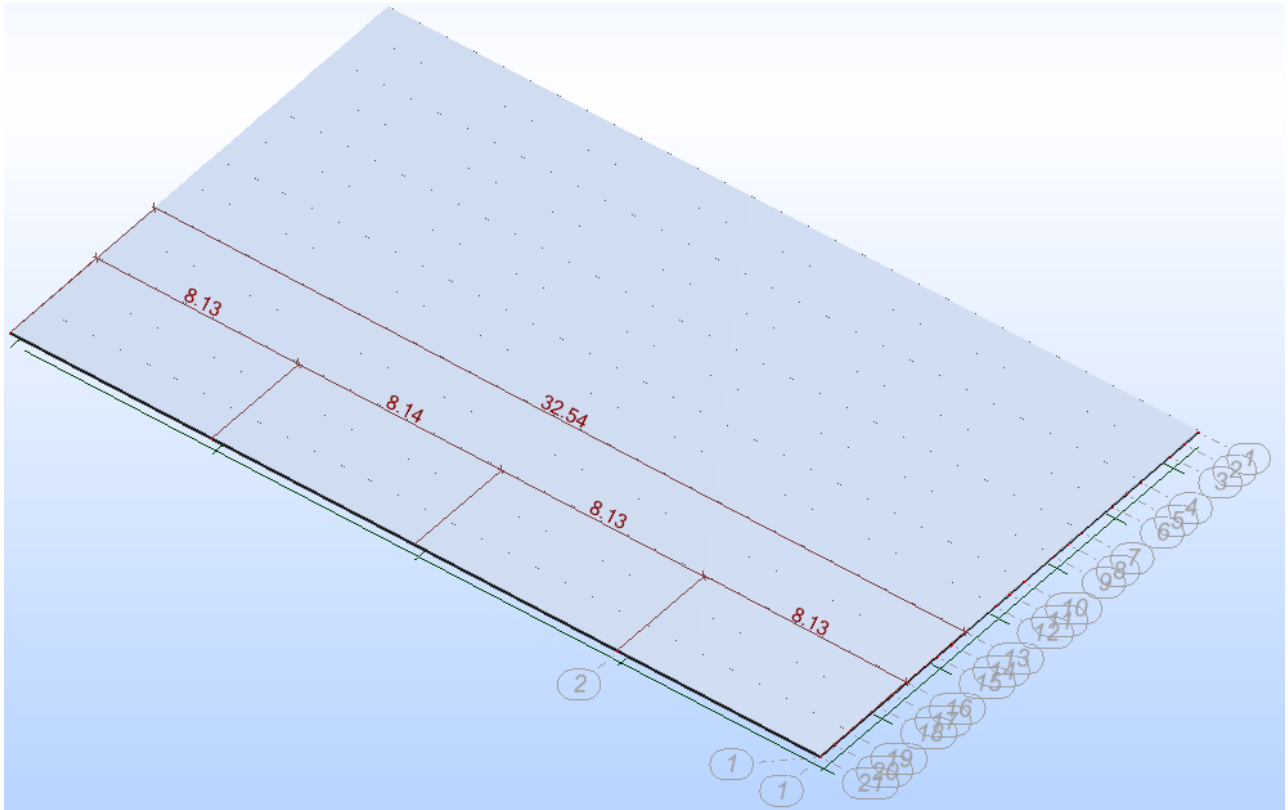
### 2.2.3. Hourdis

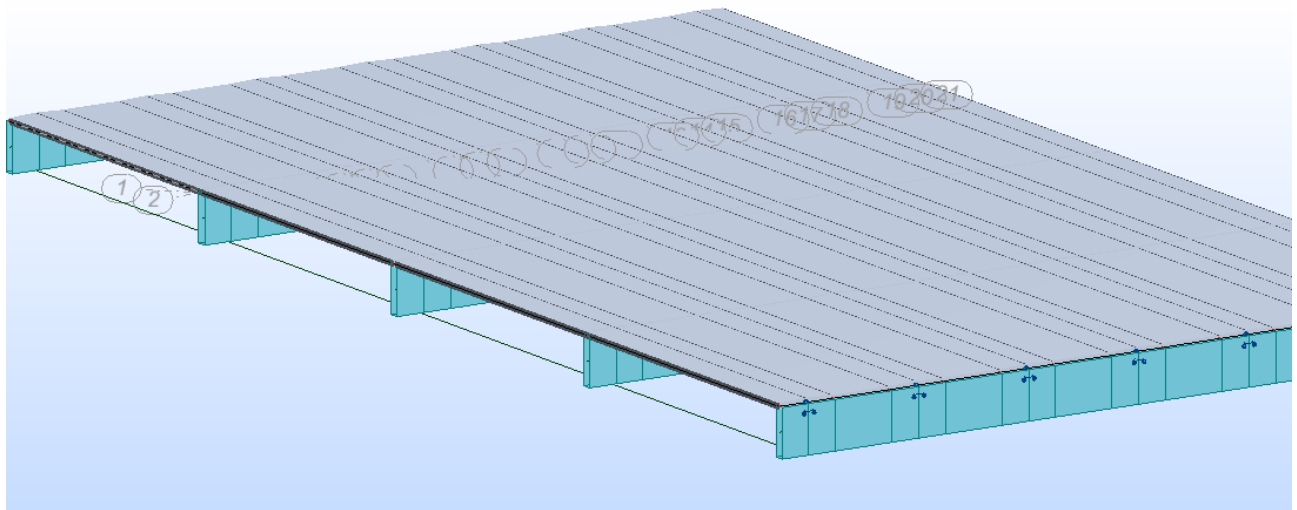
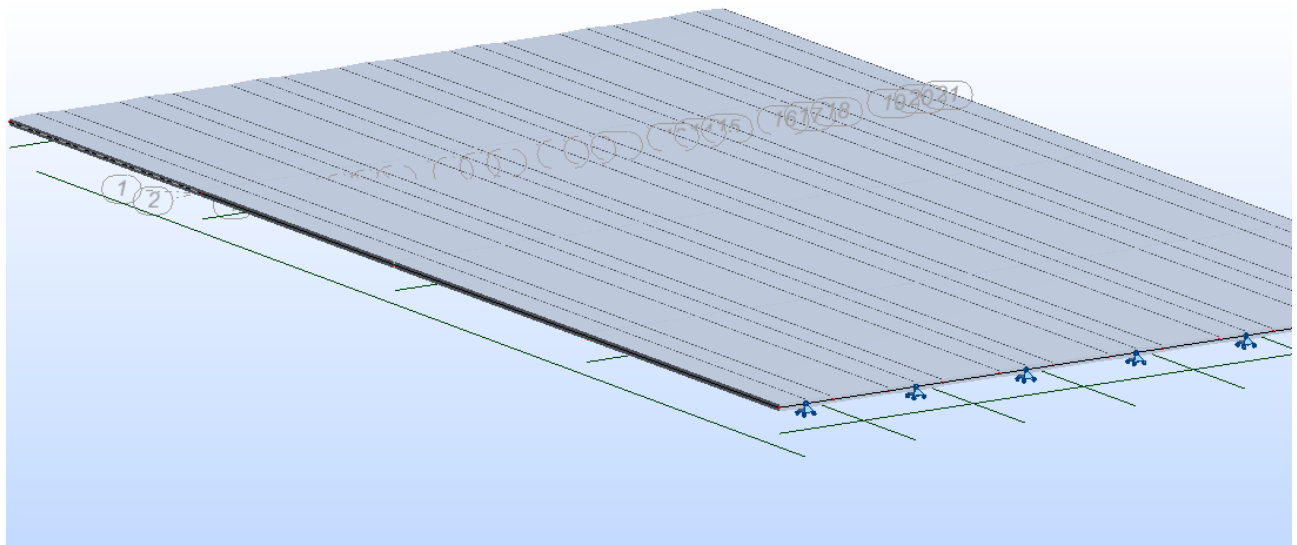
Le hourdis est constitué des éléments entre tables de compression des poutres « hourdis intermédiaires » d'épaisseur constante = 16 cm et des tables de compression, que l'on considèrera variable de 16 cm au bord à 22 cm à l'axe.



	Nom de l'épais	Liste de panneaux	Matériau	Type d'épaisseur	Epaisseur [cm]	E1 [cm]	E2 [cm]	E3 [cm]	KZ [T/m3]
	V1	20 462 523 584	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V2	19 461 522 583	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0
	EP16	3A18P3 445A460P3 506	BETON30	constante	16.00	Aucun	Aucun	Aucun	0.0
	V3	17 459 520 581	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V4	16 458 519 580	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0
	V5	14 456 517 578	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V6	13 455 516 577	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0
	V7	11 453 514 575	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V8	10 452 513 574	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0
	V9	8 450 511 572	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V10	7 449 510 571	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0
	V11	5 447 508 569	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V12	4 446 507 568	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0
	V13	2 444 505 566	BETON30	variable linéairement	Aucun	16.00	22.00	Aucun	0.0
	V14	1 443 504 565	BETON30	variable linéairement	Aucun	22.00	16.00	Aucun	0.0







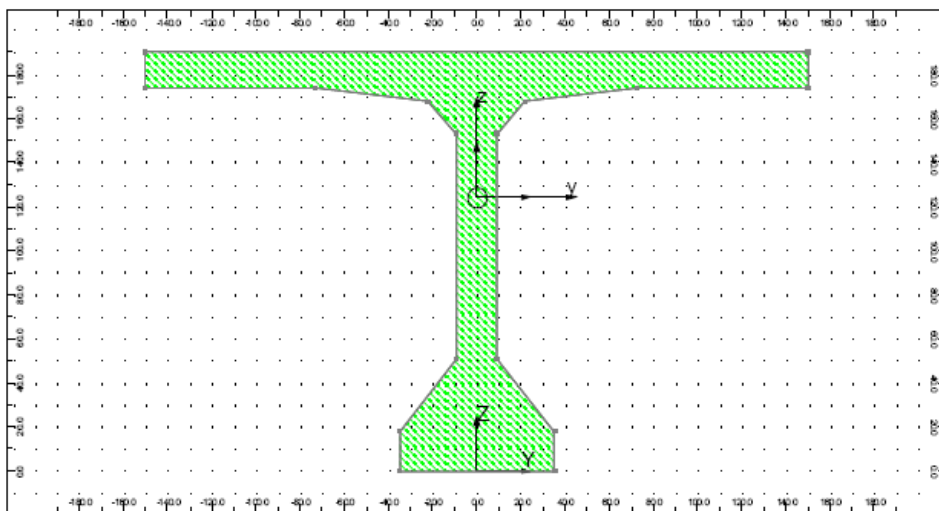
### 2.3. GEOMETRIE DU MODELE N°2

Pour le second modèle, nous considérons les éléments linéique (poutres et entretoises), dans le plan moyen du hourdis. De manière à modéliser les rigidités de flexion longitudinale et transversale au plus juste, on considèrera les sections réelles des poutres et des entretoises.

#### 2.3.1. Poutres

La géométrie « complexe » des retombées ne nous permet pas d'entrer directement les dimensions de la retombée dans Robot ; nous fournirons au logiciel directement les caractéristiques mécaniques à prendre en compte.

#### ANALYSE DE LA SECTION



#### Description de la géométrie

Point n°	Y	Z
1	-35.0 cm	0.0 cm
2	35.0 cm	0.0 cm
3	35.0 cm	18.0 cm
4	9.0 cm	51.0 cm
5	9.0 cm	153.0 cm
6	22.0 cm	168.0 cm
7	73.0 cm	174.0 cm
8	150.0 cm	174.0 cm
9	150.0 cm	190.0 cm
10	-150.0 cm	190.0 cm
11	-150.0 cm	174.0 cm
12	-73.0 cm	174.0 cm
13	-22.0 cm	168.0 cm
14	-9.0 cm	153.0 cm
15	-9.0 cm	51.0 cm
16	-35.0 cm	18.0 cm

#### Résultats généraux

Aire de la section	A = 1.038 m <sup>2</sup>
Centre de gravité	Yc = -0.0 cm

Périmètre

$$Zc = 124.3 \text{ cm}$$

Matériau de base

$$S = 1022.4 \text{ cm}$$

ACTIER

$$E = 210000.00 \text{ MPa}$$

$$\text{dens.} = 7852.83 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{p.un.} = 8153.60 \text{ kg/m}$$

#### Repère des axes principaux

Angle

$$\alpha = 0.0 \text{ Deg}$$

Moments d'inertie

$$I_x = 0.019 \text{ m}^4$$

$$I_y = 0.500 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0.375 \text{ m}^4$$

Rayons d'inertie

$$i_y = 69.4 \text{ cm}$$

$$i_z = 60.1 \text{ cm}$$

Coefficients de rigidité en cisaillement

$$A_y = 0.000 \text{ m}^2$$

$$A_z = 0.000 \text{ m}^2$$

Facteurs de résistance en flexion

$$W_{ely} = 0.402 \text{ m}^3$$

$$W_{elz} = 0.250 \text{ m}^3$$

Facteurs de résistance au cisaillement

$$W_y = 0.000 \text{ m}^2$$

$$W_z = 0.000 \text{ m}^2$$

Facteurs de résistance plastique

$$W_{ply} = 0.000 \text{ m}^3$$

$$W_{plz} = 0.000 \text{ m}^3$$

Distances extrêmes

$$V_y = 150.0 \text{ cm}$$

$$V_{py} = 150.0 \text{ cm}$$

$$V_z = 65.7 \text{ cm}$$

$$V_{pz} = 124.3 \text{ cm}$$

Nom de la section ▲	AX [m <sup>2</sup> ]	AY [m <sup>2</sup> ]	AZ [m <sup>2</sup> ]	IX [m <sup>4</sup> ]	IY [m <sup>4</sup> ]	IZ [m <sup>4</sup> ]
Poutre complete	1.03800	0.0	0.0	0.01900	0.50000	0.37500

### 2.3.2. Entretoises

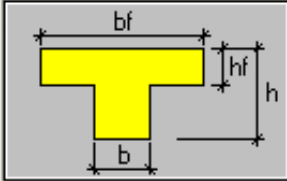
Conformément aux prescriptions du dossier type du VIPP, la largeur de hourdis prise en compte de part et d'autre de la nervure de l'entretoise est égale au dixième de la distance entre axes des poutres de rive, soit 1,80 m.

Largeur totale de la table =  $1,80 + 0,25 + 1,80 = 3,85$

Général

Nom :

Couleur :



Réduction du moment d'inertie  
 Appliquer section variable

Dimensions (cm)

b :  bf :

h :  hf :

Optimiser la table

Nom de la section ▲	AX [m <sup>2</sup> ]	AY [m <sup>2</sup> ]	AZ [m <sup>2</sup> ]	IX [m <sup>4</sup> ]	IY [m <sup>4</sup> ]	IZ [m <sup>4</sup> ]
Entretoise complete	0.92100	0.61600	0.30500	0.01065	0.13627	0.76248