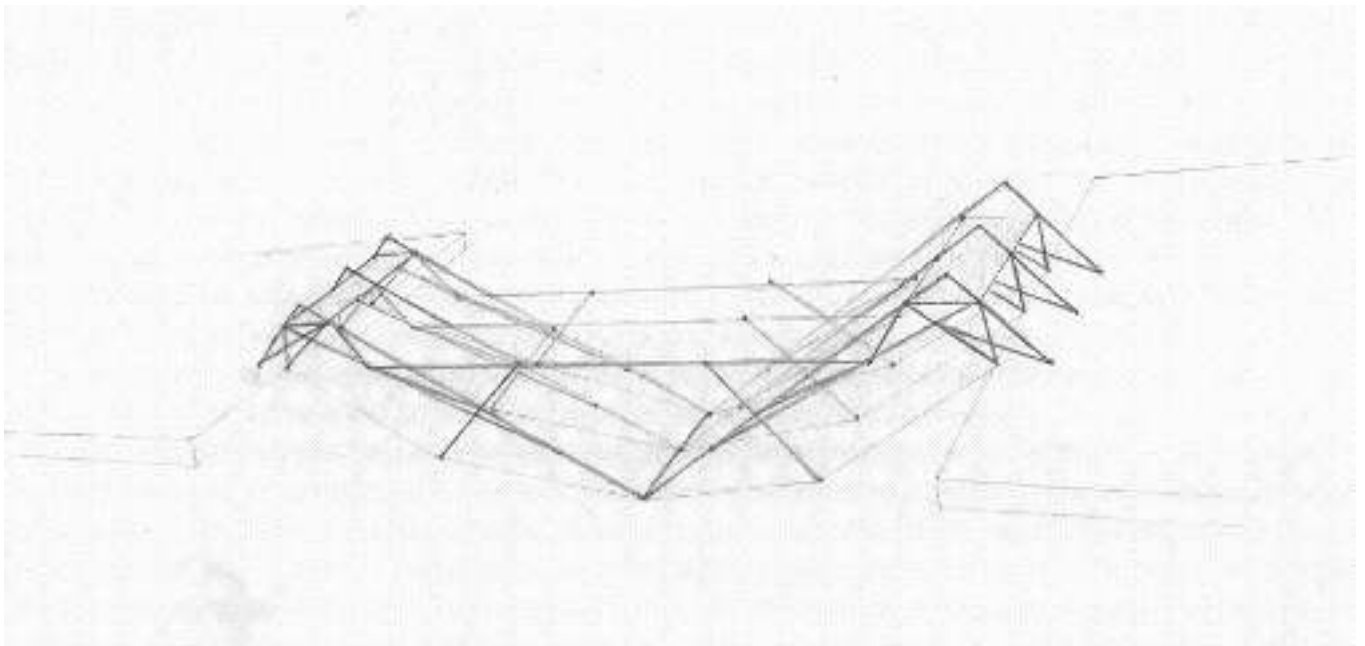


**ENTPE**

Ecole Nationale des  
Travaux Publics  
de l'Etat

## **TP de RDM : Modélisation du pont sur Robot Millenium**



Charvet Samuel  
Cornolle Florian

# Sommaire

1.	Introduction .....	3
1.1.	Description de l'ouvrage .....	3
2.	Options de modélisation et justification .....	5
2.1.	Simplifications géométriques (symétries et autres) .....	5
2.2.	Types d'éléments (poutrelles, cables) .....	6
2.3.	Conditions aux limites.....	6
2.4.	Chargements.....	7
3.	Principaux résultats .....	7
3.1.	Réaction d'appuis .....	7
3.2.	Efforts maximums :.....	7
4.	Analyse (mode de ruine de l'ouvrage) .....	8
5.	Conclusion.....	9

# 1. Introduction

Lors d'un premier TP nous avons eu une journée pour concevoir et réaliser un ouvrage de franchissement rigide et léger, dont le but était d'avoir le meilleur rapport poids portance. Nous avons donc agité nos quelques neurones créatif en nous inspirant il faut l'avouer des rumeurs concernant les réalisations des années antérieures. Toujours est-il que c'est tout de même un peu fatigant de réaliser un ponts en une journée.

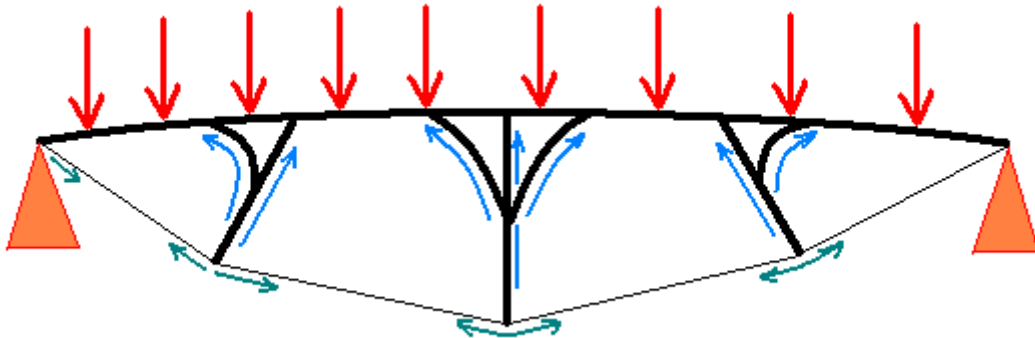
Nous nous sommes ensuite attaché à modéliser notre structure à l'aide du logiciel ROBOT lors de la seconde séance de TP pour confronter la théorie aux résultats pratiques que nous avons pu constater lors de la casse des ponts. Nous nous attacherons donc particulièrement à détailler cette confrontation, qui met en évidence certains détails intéressants.

## 2. Description de l'ouvrage

Peut-on parler de pont ? Il faudrait sans doute plutôt employer le terme de structure permettant de soutenir des poids au dessus du vide. En effet, le sujet précise bien qu'il ne faut pas forcément avoir un tablier permettant de franchir le vide. Nous avons donc choisit de développer notre structure dans ce sens. Certains l'on qualifier d'étrange, d'autre l'on plutôt vu comme un détournement de l'énoncé ; toujours est-il qu'il est le fruit d'une certaine réflexion.

Dans la conception de cet ouvrage, nous avons privilégié autant l'originalité comme l'esthétique, en effet, bien que cette structure ait une vocation à porter une charge maximale, nous avons laisser une large part à l'imagination et à la nouveauté. Nous nous sommes ainsi placés légèrement en marge de l'exercice tout en respectant les exigences de l'exercice : nous avons effectivement conservé le principe de jointure entre les deux tables mais nous avons apporté une modification quant à la façon de charger la structure.

Nous avons donc lors de la conception de l'ouvrage pensé à deux principes de construction, le premier qui avait déjà fait ses preuves lors des années précédentes puisque c'est le type de pont qui détient le records, le pont sous-tendu. En effet le système de câbles travaillant uniquement en tension est beaucoup plus léger qu'un système de poutre travaillant en compression. C'est donc pour cette raison que l'on retrouve sur notre ouvrage des câbles pour soutenir la structure.



→ force de pression due aux poids

→ transmission de la portance par les piliers

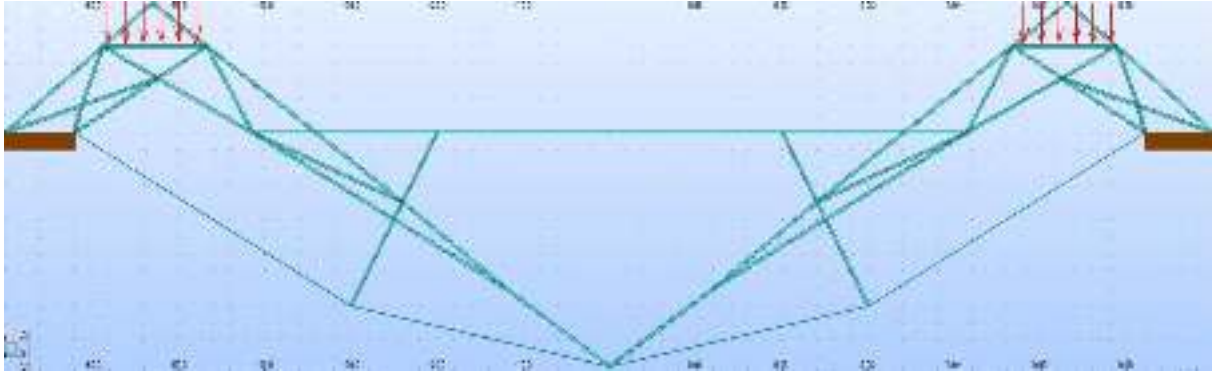
→ force de tension dans les câbles

*(Dessin de pont sous tendu)*

Dans ce principe le poids est porté par le câble. Si l'on se replace dans le contexte de l'exercice, comme on ne peut pas s'accrocher aux bords, la partie centrale du pont travaille en compression pour compenser la tension des câbles.

Le second principe que nous avons essayer de mettre au point est basé sur le fait de répartir de façon stratégique les charges de manière à ce que les efforts soient le plus possible répercutés sur les appuis. Il en découle donc notre second principe : mettre les charges le plus près possible de la table et donc plutôt que d'avoir un tablier (sur lequel vont être réparties les charges) qui enjambe le vide, nous mettons deux tabliers parallèles aux bords des tables. On diminue ainsi de manière importante le moment créé par la charge.

En mettant ensemble ces deux principes il en résulte donc notre projet quelque peu original qui réalise ces deux objectifs tout en respectant une minimisation du poids intéressante puisque l'ouvrage ne dépassait pas les 300 grammes.



→ zone de chargement

• tables

*(dessin du pont tel que nous l'avons réalisé)*

### **3. Options de modélisation et justification**

Pour connaître le comportement théorique de notre ouvrage il est assez difficile de faire les calculs à la main vu la complexité géométrique de la structure, c'est pourquoi nous l'avons modélisé à l'aide du logiciel ROBOT Millennium lors de la seconde séance de TP.

#### **3.1. Simplifications géométriques (symétries et autres)**

Etant donné que nous avons réalisé notre modélisation en deux dimensions, il y a de nombreuses données qui ne sont pas prises en compte. Et ce point pourrait à première vue paraître peu important puisque notre pont n'est constitué que de trois structures identiques placées parallèlement, il est donc logique de modéliser en deux dimensions cette structure. Le problème c'est que du coup on ne retrouve pas au final le mode de ruine de notre structure principalement dû au flanchement de la structure en trois dimensions.

Le pont étant symétrique on n'en a construit que la moitié : l'autre moitié étant obtenue en utilisant un type de liaison (liaison de symétrie du logiciel).

En ce qui concerne la structure en deux dimensions telle que nous l'avons modélisée, elle correspond de manière fidèle à notre réalisation puisque nous avons réalisé la modélisation à partir des plans. Il ne reste que les imperfections que nous avons commises lors de cette réalisation qui sont bien évidemment impossibles à modéliser et qui sont bien entendu à l'origine de la ruine de l'ouvrage.

### **3.2. Types d'éléments (poutrelles, câbles)**

Les différents éléments de la structure ne sont pas tous différenciés et certains ne sont pas pris en compte :

- En ce qui concerne les nœuds, le logiciel ne tient pas compte du fait qu'il a de la colle, en effet le comportement n'est certainement pas le même que s'il y avait tout le temps la même matière.
- Il existait sur notre réalisation des baguettes de formes différentes, mais lors de notre modélisation, nous avons choisi de ne pas tenir compte de ces détails, bien que les différences soit tout de même présentes.
- Nous n'utilisons pas les matériaux réels nous avons plutôt opté pour une structure en métal avec des poutres en I, ainsi que pour les câbles qui sont modélisés par des poutres plus fines (de plus lors de la réalisation il est évident que tous les câbles n'étaient pas tendus de la même manière).

### **3.3. Conditions aux limites**

On remarque assez facilement que notre structure est hyperstatique puisqu'elle repose sur les tables en quatre endroits, il est donc évident que ces différents points d'appuis ne vont pas tous réagir de la même manière. De plus on remarque au premier coup d'œil sur les

graphiques (en annexes 1,2,...) que l'un des appuis plans, travail en traction alors que cela est physiquement impossible.

De plus les points d'attache partent directement de la base du pied alors que dans la réalité, il est attaché un peu plus haut entraînant forcément des moments plus ou moins important sur le pied de la structure.

### **3.4. Chargements**

Le chargement par contre correspond bien à ce qui c'est passé dans la réalité, en effet, les approximations de chargement uniformément réparti pouvaient être avancées, puisque le poids avait la même dimension que celle de l'emplacement qui lui était réservé.

Comme nous avons changé de matériau, mais aussi dimension (les centimètres sont devenus des mètres), il était aussi impératif de changer la valeur du chargement. Nous avons donc appliqué une charge de -11,98 kN lors de la modélisation contre une charge de 32kg ou 33kg lors de la casse des ponts.

## **4. Principaux résultats**

Compte tenu de la symétrie de la structure par rapport à l'axe z, on se bornera à étudier le comportement de la partie gauche du modèle.

### **4.1. Réaction d'appuis**

Les nœuds 13 et 21 sont caractérisés par des réactions d'appui simple.

### **4.2. Efforts maximums :**

L'extremum maximal de l'effort  $F_x$  se situe sur la barre 27 au nœuds 13. Il a pour valeur 429,46 kN. Ceci était relativement prévisible à cause du mode de construction de l'ouvrage : l'objectif était de porter au maximum les efforts dans la région des butées. Une valeur maximale pour un effort horizontale proche de la butée pouvait ainsi être attendue. L'extremum minimal de l'effort  $F_x$  se situe sur la barre 29 au nœuds 43. Il a pour valeur -545,05 kN. En valeur absolue cet effort est donc plus important que le précédent : il s'agissait encore ici d'un résultat prévisible. En effet, dans la région du chargement on peut s'attendre à des efforts relativement importants. Ainsi la structure apparaît plus sollicitée, en ce qui concerne les efforts  $F_x$ , au niveau des points proches des tables ce qui était effectivement l'objectif recherché.

L'extremum maximal de l'effort  $F_z$  se situe sur la barre 59 au nœud 30. Il a pour valeur 13,01 kN. On observe donc ici une grande sollicitation de la structure proche de la partie centrale de celle-ci, pour être précis à environ la moitié de la partie gauche. Il s'agit donc d'un point de fragilisation qui peut être responsable de la ruine de l'ouvrage. L'extremum minimal de l'effort  $F_z$  se situe sur la barre 32 au nœuds 21. Il a pour valeur -19,71 kN. Il s'agit ici encore une illustration de l'objectif recherché : reporté au maximum les efforts sur les tables.

L'extremum maximal de l'effort  $M_y$  se situe sur la barre 27 au nœuds 13. Il a pour valeur 90.963 kNm. Même remarque que précédemment. L'extremum minimal de l'effort  $M_y$  se situe sur la barre 58 au nœuds 3. Il a pour valeur -124,27 kNm. Cette importante valeur explique donc l'important effort  $F_z$  à la moitié de la structure gauche : ce moment a tendance à tendre le cable et à pousser la barre 50 vers le haut.

Enfin il faut noter que les efforts verticaux sont de l'ordre de la charge vertical alors que les efforts horizontaux générés diffèrent de l'ordre de la charge par un rapport 50.

## **5. Analyse (mode de ruine de l'ouvrage)**

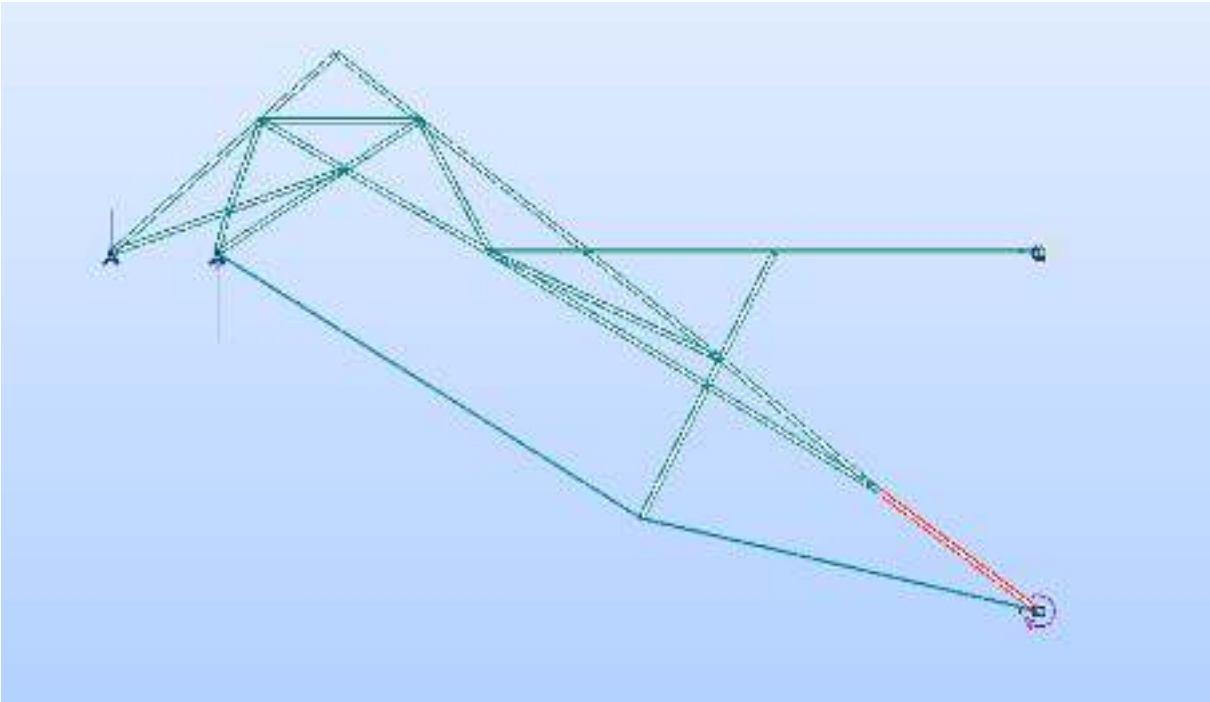
La déformée de la structure révèle

Le modèle employé ici reste imparfait. En effet, il ne rend compte que d'une modélisation en 2 dimensions d'une structure en 3 dimensions. Notamment, l'imperfection du modèle se révèle par le fait que la rupture de l'ouvrage s'est faite, lors de la casse des ponts, dans un plan perpendiculaire au plan des ponts : en effets les renforts du pont ont cédé sous des efforts appliqués suivant la direction de l'axe des  $y$ .

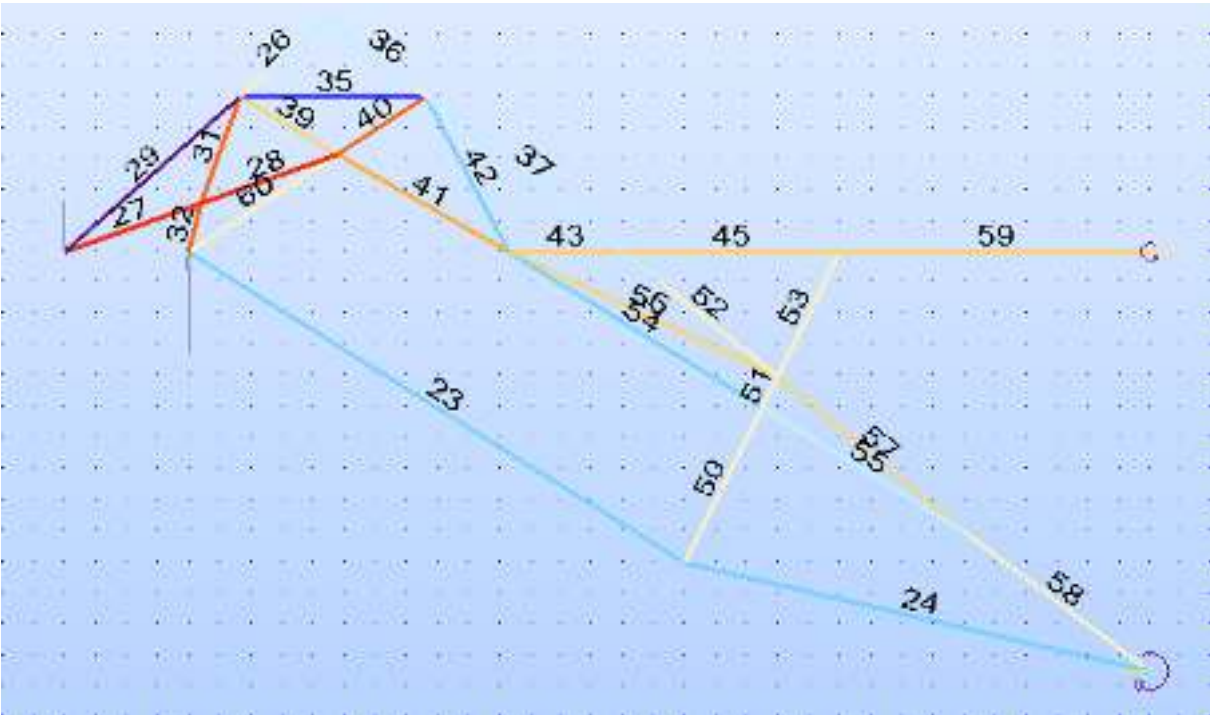


# 6. Conclusion

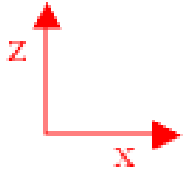
# 7. Annexes

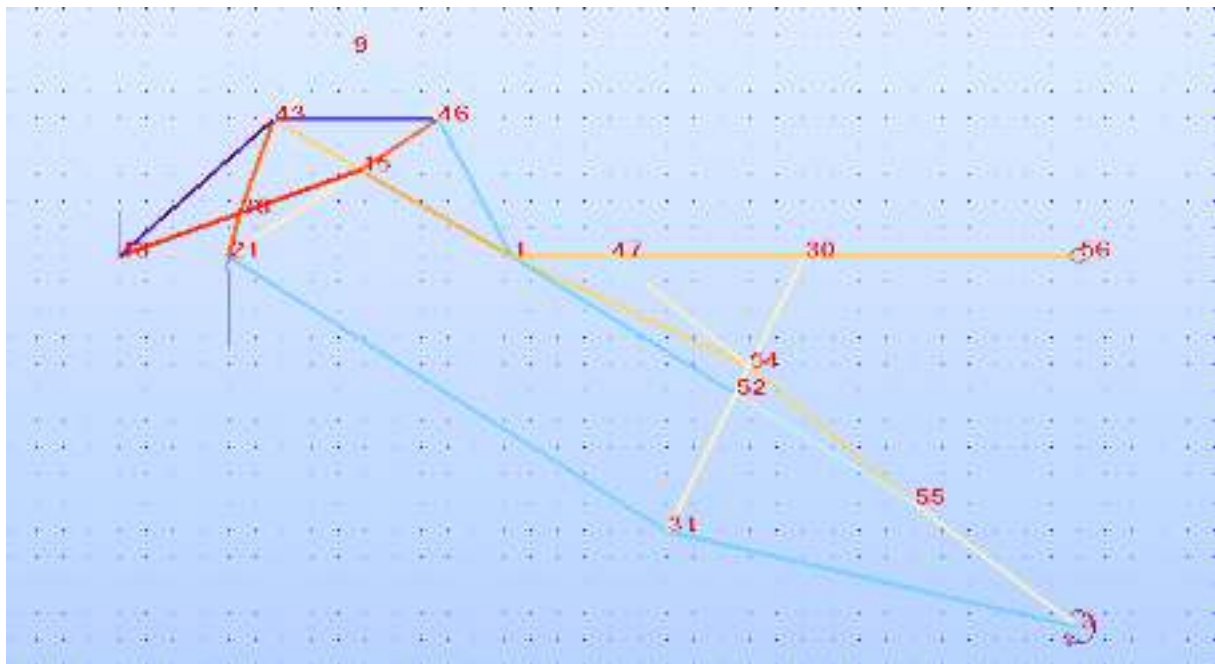


coupe gauche de la structure



numéros des différentes barres de la structure





numéros des différents nœuds de la structure

Barre	Nœud 1	Nœud 2	Section	Matériau	Longueur (m)	Gamma (Deg)	Type de barre
23	21	31	IPE 80	ACIER	37,74	0,0	Barre
24	31	3	IPE 80	ACIER	30,81	0,0	Barre
26	43	9	IPE 400	ACIER	7,56	0,0	Barre
27	13	36	IPE 400	ACIER	9,35	0,0	Barre
28	36	15	IPE 400	ACIER	9,35	0,0	Barre
29	13	43	IPE 400	ACIER	15,11	0,0	Barre
31	43	36	IPE 400	ACIER	7,31	0,0	Barre
32	36	21	IPE 400	ACIER	3,24	0,0	Barre
35	43	46	IPE 400	ACIER	11,98	0,0	Barre
36	9	46	IPE 400	ACIER	8,05	0,0	Barre
37	47	46	IPE 400	ACIER	16,16	0,0	Barre
39	43	15	IPE 400	ACIER	7,30	0,0	Barre
40	15	46	IPE 400	ACIER	6,80	0,0	Barre
41	15	1	IPE 400	ACIER	12,70	0,0	Barre
42	46	1	IPE 400	ACIER	11,34	0,0	Barre
43	1	47	IPE 400	ACIER	7,34	0,0	Barre
45	47	30	IPE 400	ACIER	14,00	0,0	Barre
50	31	52	IPE 400	ACIER	11,18	0,0	Barre
51	52	54	IPE 400	ACIER	2,24	0,0	Barre
52	54	47	IPE 400	ACIER	12,81	0,0	Barre
53	54	30	IPE 400	ACIER	8,94	0,0	Barre
54	1	52	IPE 400	ACIER	19,16	0,0	Barre
55	52	55	IPE 400	ACIER	15,26	0,0	Barre
56	1	54	IPE 400	ACIER	19,10	0,0	Barre
57	54	55	IPE 400	ACIER	15,62	0,0	Barre
58	55	3	IPE 400	ACIER	15,00	0,0	Barre
59	30	56	IPE 400	ACIER	20,00	0,0	Barre
60	21	15	IPE 400	ACIER	11,48	0,0	Barre

nomenclature des barres de la structure

<b>Noeud</b>	<b>X (m)</b>	<b>Z (m)</b>	<b>Code de l'appui</b>	<b>Appui</b>
<b>1</b>	-41,34	0,0		
<b>3</b>	0,0	-27,00	blb	symétrie
<b>9</b>	-53,00	15,00		
<b>12</b>	70,00	0,0	lbl	Appui simple
<b>13</b>	-70,00	0,0	lbl	Appui simple
<b>15</b>	-52,39	6,28		
<b>21</b>	-62,00	0,0	lbl	Appui simple
<b>30</b>	-20,00	0,0		
<b>31</b>	-30,00	-20,00		
<b>36</b>	-61,19	3,14		
<b>43</b>	-58,67	10,00		
<b>46</b>	-46,69	10,00		
<b>47</b>	-34,00	0,0		
<b>52</b>	-25,00	-10,00		
<b>54</b>	-24,00	-8,00		
<b>55</b>	-12,00	-18,00		
<b>56</b>	0,0	0,0	blb	symétrie

nomenclature des nœuds de la structure

	<b>Nom de l'appui</b>	<b>Liste des noeuds</b>	<b>UX</b>	<b>UZ</b>	<b>RY</b>	<b>BETA (Deg)</b>	<b>KX (kN/m)</b>	<b>KZ (kN/m)</b>	<b>HY (kNm/Deg)</b>
	Rotule		bloqué	bloqué	libre	0,0	0,0	0,0	0,0
	Encastrement		bloqué	bloqué	bloqué	0,0	0,0	0,0	0,0
	Appui simple	12 13 21	libre	bloqué	libre	0,0	0,0	0,0	0,0
	Appui horizontal		bloqué	libre	libre	0,0	0,0	0,0	0,0
	symétrie	3 56	bloqué	libre	bloqué	0,0	0,0	0,0	0,0
*									

Tableau de caractérisation des appuis

Barre/Noeud/Cas	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
23/ 21/ 1	-138,39	0,94	0,0
23/ 31/ 1	-137,21	-0,94	0,0
24/ 31/ 1	-142,71	0,88	0,0
24/ 3/ 1	-142,30	-0,88	0,0
26/ 43/ 1	0,91	6,14	-21,05
26/ 9/ 1	-2,34	2,45	11,41
27/ 13/ 1	429,46	-3,92	14,02
27/ 36/ 1	427,42	-9,65	-49,40
28/ 36/ 1	369,34	1,94	-2,92
28/ 15/ 1	367,30	-3,79	-11,59
29/ 13/ 1	-538,55	3,07	-14,02
29/ 43/ 1	-545,05	-4,30	-23,25
31/ 43/ 1	334,97	2,87	-10,91
31/ 36/ 1	339,43	1,23	4,06
32/ 36/ 1	314,67	-19,18	50,55
32/ 21/ 1	316,71	-19,71	-12,51
35/ 43/ 1	-391,89	9,92	-22,60
35/ 46/ 1	-391,89	-9,85	-22,20
36/ 9/ 1	-2,83	-1,87	11,41
36/ 46/ 1	0,43	-5,97	-20,16
37/ 47/ 1	-24,45	3,26	-5,48
37/ 46/ 1	-30,96	-4,99	-19,45
39/ 43/ 1	126,20	-1,55	9,49
39/ 15/ 1	128,62	-5,64	-16,75
40/ 15/ 1	353,46	7,89	-26,10
40/ 46/ 1	351,04	4,19	14,97
41/ 15/ 1	251,07	4,58	-20,44
41/ 1/ 1	255,16	-2,60	-7,87
42/ 46/ 1	-177,85	1,63	-7,94
42/ 1/ 1	-171,34	-1,85	-9,15
43/ 1/ 1	133,52	-1,10	15,03
43/ 47/ 1	133,52	-5,88	-10,60
45/ 47/ 1	110,28	2,14	-0,77

Valeurs des efforts

Barre/Noeud/Cas	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
39/ 15/ 1	128,62	-5,64	-16,75
40/ 15/ 1	353,46	7,89	-26,10
40/ 46/ 1	351,04	4,19	14,97
41/ 15/ 1	251,07	4,58	-20,44
41/ 1/ 1	255,16	-2,60	-7,87
42/ 46/ 1	-177,85	1,63	-7,94
42/ 1/ 1	-171,34	-1,85	-9,15
43/ 1/ 1	133,52	-1,10	15,03
43/ 47/ 1	133,52	-5,88	-10,60
45/ 47/ 1	110,28	2,14	-0,77
45/ 30/ 1	110,28	-6,97	-34,57
50/ 31/ 1	44,36	-2,33	0,00
50/ 52/ 1	37,86	-5,58	-44,21
51/ 52/ 1	23,73	2,38	-15,64
51/ 54/ 1	22,43	1,73	-11,05
52/ 54/ 1	3,93	1,69	4,72
52/ 47/ 1	-1,27	-4,82	-15,32
53/ 54/ 1	30,65	-3,62	6,69
53/ 30/ 1	25,45	-6,22	-37,34
54/ 1/ 1	-96,88	5,80	-17,05
54/ 52/ 1	-90,38	-4,83	-7,67
55/ 52/ 1	-83,68	9,72	-36,24
55/ 55/ 1	-78,47	1,26	47,58
56/ 1/ 1	90,08	5,65	-15,01
56/ 54/ 1	95,29	-5,63	-14,75
57/ 54/ 1	94,13	8,46	-27,77
57/ 55/ 1	100,63	0,65	43,34
58/ 55/ 1	22,27	-10,44	90,93
58/ 3/ 1	28,13	-18,25	-124,27
59/ 30/ 1	127,23	13,01	-71,91
59/ 56/ 1	127,23	0,00	58,18
60/ 21/ 1	68,47	0,45	12,51
60/ 15/ 1	64,38	-5,80	-18,20

Valeurs des efforts (suite)

	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
<b>MAX</b>	429,46	13,01	90,93
<b>Barre</b>	27	59	58
<b>lloeu</b>	13	30	55
<b>Cas</b>	1	1	1
<b>MIN</b>	-545,05	-19,71	-124,27
<b>Barre</b>	29	32	58
<b>lloeu</b>	43	21	3
<b>Cas</b>	1	1	1

Extremums des efforts de la structure étudiée

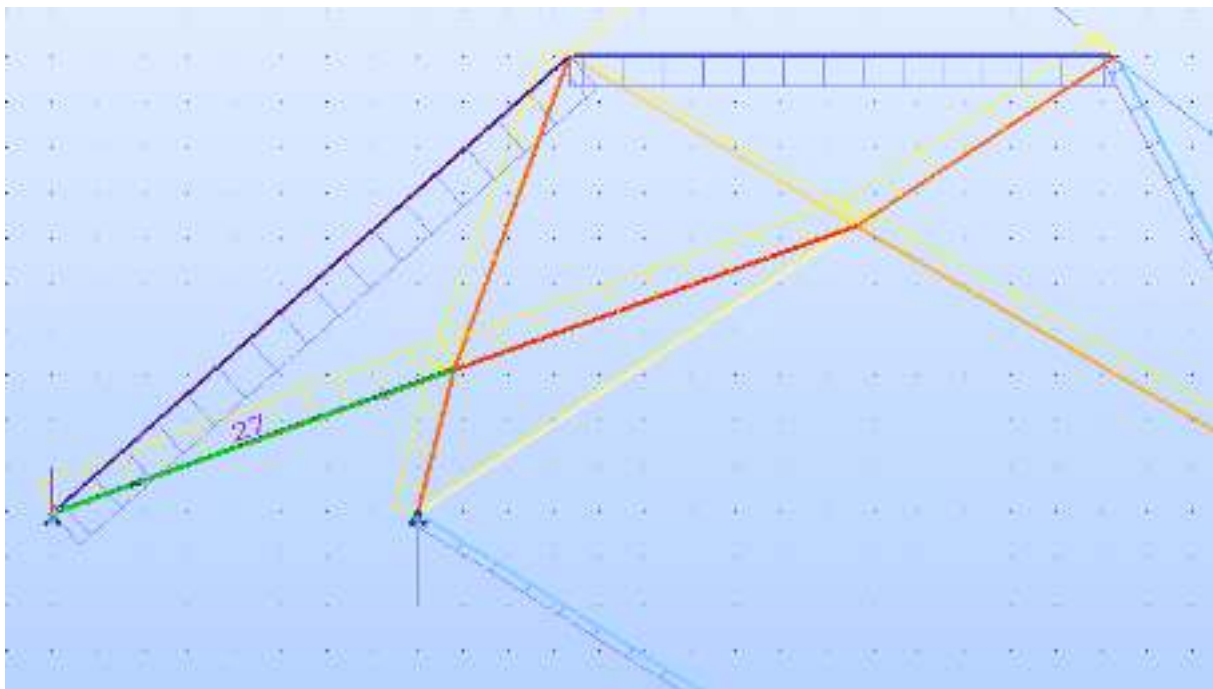
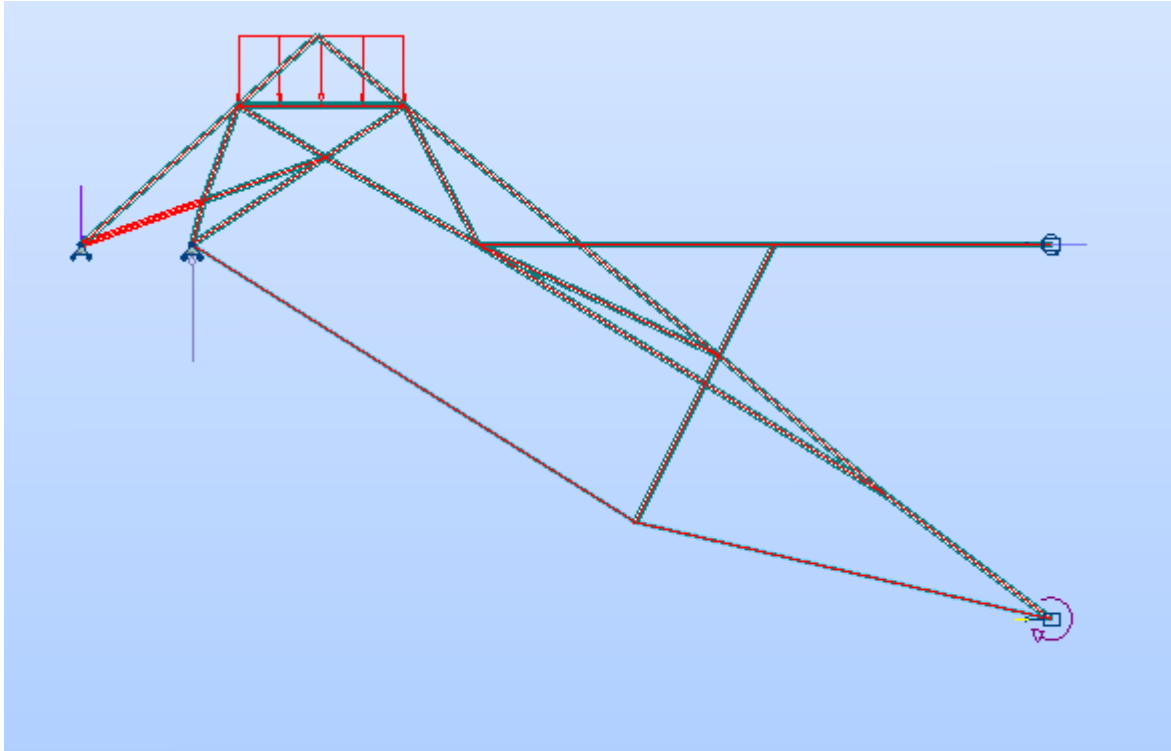


Diagramme des efforts Fx : sensibilité 450 kN/cm (zoom sur la partie où sont concentrés les efforts maximaux).

	Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge
	1	poids propre	23 24 26A29	PZ Moins Coef=1,00
	1	charge uniforme		PZ=-1,00(kN/m)
	1	charge uniforme		PZ=-1,00(kN/m)
	1	charge uniforme	35	PZ=-1,00(kN/m)

Répartition des charges

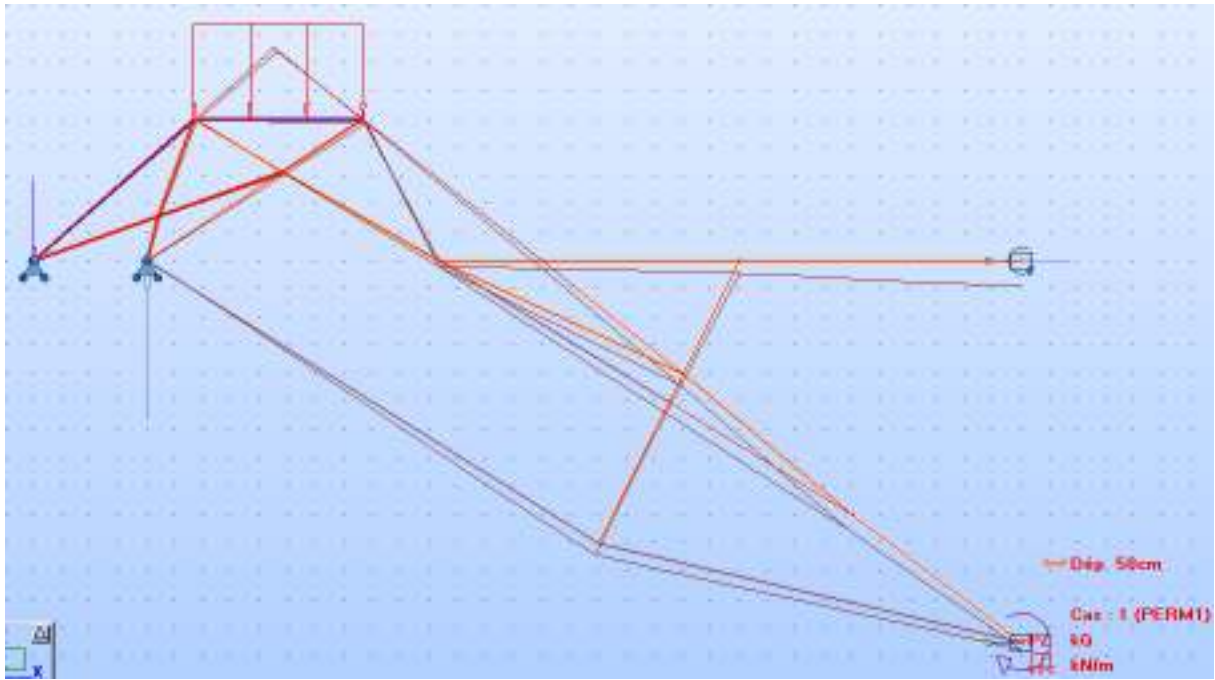


Mode de chargement

	UX (cm)	UZ (cm)	RY (Rad)
<b>MAX</b>	5,9663	0,0	0,006
<b>Hoeud</b>	9	12	30
<b>Cas</b>	1	1	1
<b>MIN</b>	-5,9281	-31,4794	-0,002
<b>Hoeud</b>	55	56	55
<b>Cas</b>	1	1	1

Déplacements globaux





déformée de la structure