

# Résistance des Matériaux

-

## Étude de cas : dimensionnement de la charpente de la Statue de la Liberté (Gustave Eiffel)



FIG. 1. — La Statue de la Liberté éclairant le Monde.

# Introduction

*La Liberté éclairant le monde*, plus connue sous le nom de Statue de la Liberté, a été conçue par Auguste Bartholdi (1834-1904), sculpteur et peintre français. Ce que l'on sait moins, c'est que la charpente a été réalisée par Gustave Eiffel et ses collaborateurs : « *C'est à M. Eiffel, l'ingénieur bien connu qui a construit le pont du Douro et qui travaille en ce moment au viaduc de Garabit, qu'est échue la tâche difficile de calculer le squelette en fer de cette œuvre gigantesque* » (Talansier, 1883, p. 5).

La statue de la Liberté a été inaugurée en 1886. Elle est devenue un emblème des États-Unis d'Amérique mondialement connu.

Dans cette étude de cas, on propose de découvrir le dimensionnement de la charpente métallique.

Cette étude s'inspire de l'article : *La statue de la liberté éclairant le monde*. Le Génie Civil. (Talansier, 1883), disponible sur gallica.bnf.fr.

Conformément au document original, les efforts sont en  $kg$  et les contraintes en  $kg/mm^2$ . Les dimensions des sections seront en  $mm^2$  ; les longueurs en  $m$ . Il en résulte que les moments seront en  $kg.m$ .

## 1 Données générales

### 1.1 Description de la structure

La charpente « *qui sert de point d'appui à toute l'enveloppe en cuivre, forme une sorte de grand pylône ayant quatre points d'attache sur la base en maçonnerie qui supporte la statue* ». (Talansier, 1883, p. 15).

Ce grand pylône est de conception similaire aux piles des viaducs métalliques construits par Eiffel : « *La charpente de la statue a été constituée comme une pile, c'est-à-dire qu'elle se compose de quatre arbalétriers, formant quatre faces dans lesquelles sont disposés des entretoises et un treillis en croix de Saint-André* » (Talansier, 1883, p. 20) (Figure 2).

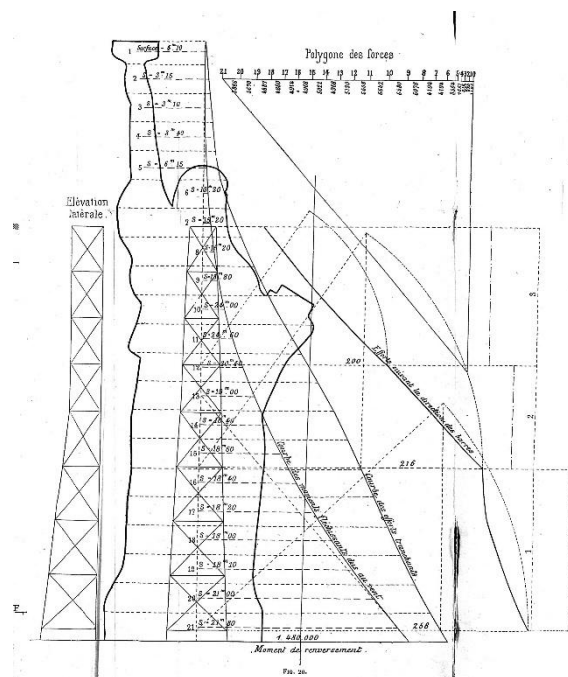


Figure 1. Aperçu général de la charpente et de la sculpture (Talansier, 1883)

La statue mesure 46m de hauteur (de la base au sommet du flambeau). Elle mesure 34 m, du talon au sommet de la tête.

L'écartement des arbalétriers à la base est de 3,80 m sur la face de la statue et de 4,90 m sur les faces latérales.

« Dans le prolongement des arbalétriers se trouvent des tirants à amarrage qui descendent dans la maçonnerie et qui viennent se fixer à des sommiers constitués par des poutres » (Talansier, 1883, p. 20) (Figure 14).

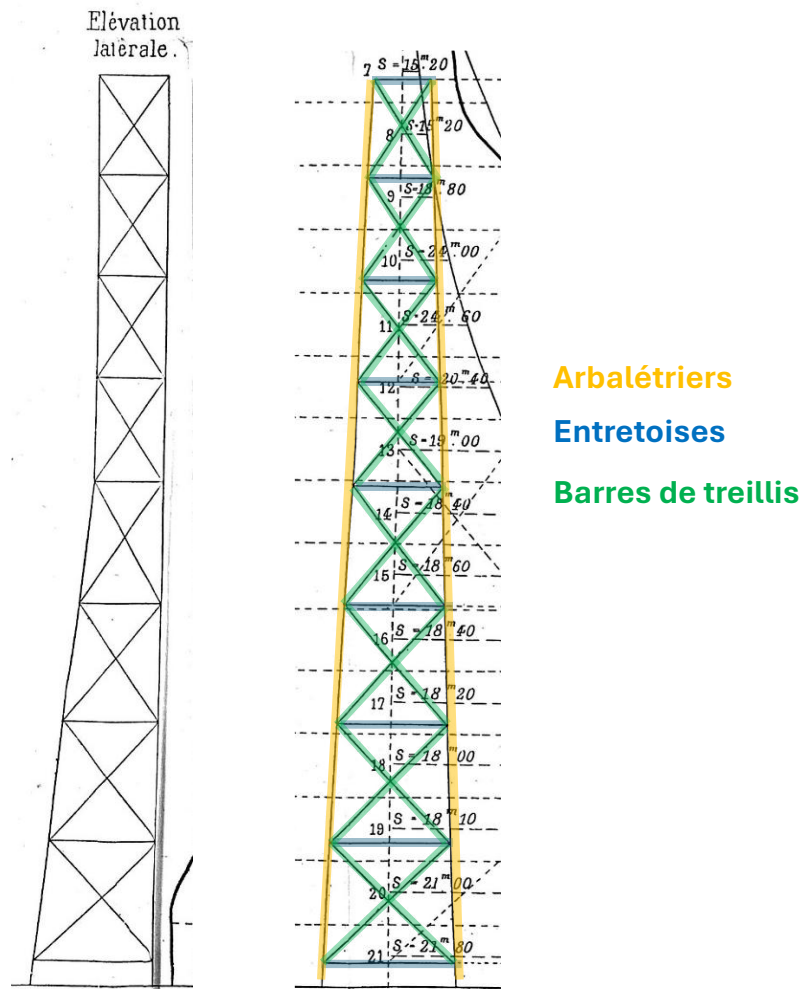


Figure 2. Schéma général de la charpente (Talansier, 1883)

## 1.2 Matériaux

La statue est en cuivre martelé et la charpente est en fer.

## 1.3 Charges et cas de charges

La charpente doit résister au poids propre de la structure et aux efforts horizontaux exercés par le vent.

### 1.3.1 Poids propre

Le poids propre de la charpente en fer est estimé à 120 000 kg.

Le poids de l'enveloppe en cuivre de la statue est estimé à 80 000 kg.

### 1.3.2 Action du vent

Pour les efforts horizontaux exercés par le vent : « l'effort maxima du vent, généralement adopté dans les calculs des viaducs, est de 270 kilogr. par mètre carré de surface présentée au vent ; c'est cette valeur qui a été adoptée » (Talansier, 1883, p. 20). La valeur de  $270 \text{ kg/m}^2$  est effectivement l'effort maximal considéré pour le viaduc de Garabit (Eiffel, 1888).

Trois cas sont étudiés (a,b et c), en fonction de l'orientation du vent (Figure 3).

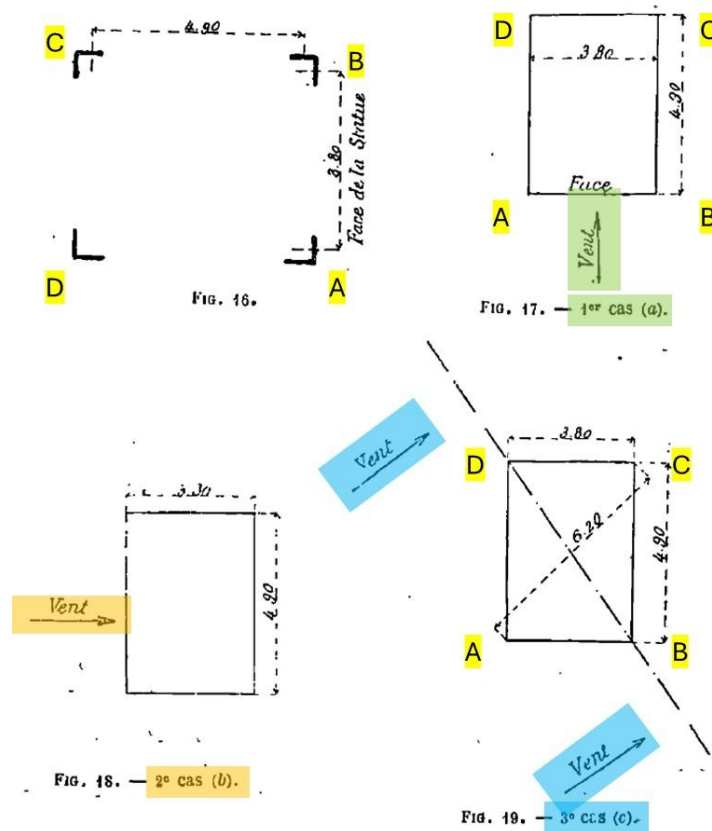


Figure 3. Cas de charges étudiés pour les effets du vent. Cas a : le vent agit sur la face. Cas b : le vent agit de côté. Cas c : le vent agit de biais. Les arbalétriers sont repérés par les lettres A, B, C et D. (Talansier, 1883)

Eiffel discrétise ensuite la statue en 21 surfaces (Voir exemples encadrés en Figure 4). Au centre de chaque surface, l'effort dû au vent est le produit de la surface par la pression dynamique ( $270 \text{ kg/m}^2$ ). Ces efforts sont représentés en Figure 4.

Pour le cas a, Eiffel présente les surfaces exposées au vent et les efforts qui en résultent (Figure 5).

Pour effectuer le calcul analytique, il faut aussi la position  $h_i$  de chaque résultante  $F_i$ . Elles sont lues par sur l'épure de l'article et résumées dans le Tableau 1.

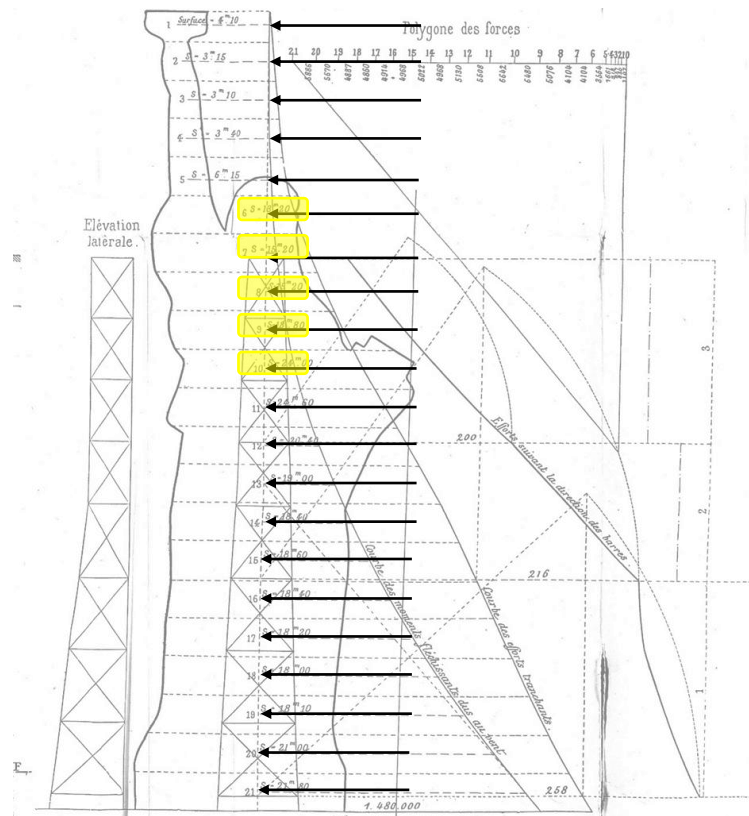


Figure 4. Surfaces considérées pour les efforts du vent et illustration des efforts du vent sur la statue pour le cas a. (Talansier, 1883)

N° des éléments	Surface (mètres-carrés)	Effort du vent (kilogr.)
1.	4,10	1 107
2.	3,15	850
3.	3,10	837
4.	3,40	918
5.	6,15	1 661
6.	13,20	3 564
7.	15,20	4 104
8.	15,20	4 104
9.	18,80	5 076
10.	24,00	6 480
11.	24,60	6 642
12.	20,40	5 508
13.	19,00	5 130
14.	18,40	4 968
15.	18,60	5 022
16.	18,40	4 968
17.	18,20	4 914
18.	18,00	4 860
19.	18,10	4 887
20.	21,00	5 670
21.	21,80	5 886
<b>TOTAUX.</b>	<b>322,80</b>	<b>87 156</b>

Figure 5. Surfaces au vent, valeur des résultantes pour le cas a (Talansier, 1883)

Surface i	hi (m)	Si (m²)	Résultante Fi (kg)
	42,9		
1	42,1	4,1	1107
2	40,1	3,15	850,5
3	38,1	3,1	837

4	36,0	3,4	918
5	33,7	6,15	1660,5
6	32,0	13,2	3564
7	29,7	15,2	4104
8	27,9	15,2	4104
9	25,9	18,8	5076
10	23,6	24	6480
11	21,6	24,6	6642
12	19,5	20,4	5508
13	17,5	19	5130
14	15,5	18,4	4968
15	13,4	18,6	5022
16	11,4	18,4	4968
17	9,3	18,2	4914
18	7,2	18	4860
19	5,1	18,1	4887
20	3,0	21	5670
21	0,8	21,8	5886

Tableau 1. Surfaces au vent, position des résultantes et valeur des résultantes pour le cas a

## 1.4 Éléments étudiés par Eiffel

Le calcul de la charpente comprend :

1. Le calcul des arbalétriers
2. Le calcul des treillis
3. Le calcul des amarrages
4. Le calcul du bras droit, qui constitue une autre poutre métallique reliée à la charpente principale

Dans cette étude de cas, nous nous intéresserons aux arbalétriers, aux treillis et aux amarrages.

## 1.5 Hypothèses

Comme pour les piles des viaducs qu'il a conçus, Eiffel suppose que les arbalétriers doivent résister au moment fléchissant, et que les barres de treillis doivent résister aux efforts tranchants. Il étudie donc les efforts induits dans les arbalétriers par le moment fléchissant seul, et les efforts induits dans les barres de treillis par les efforts tranchants seulement.

Pour les arbalétriers, Eiffel considère que le vent crée un moment fléchissant  $M$  au pied des arbalétriers, et que ce moment induit un effort  $+P$  dans chaque arbalétrier face au vent, et  $-P$  dans chaque arbalétrier protégé du vent (Figure 6). La valeur  $2P$  est indiquée sur la figure car il y a deux arbalétriers face au vent et deux arbalétriers derrière le vent.

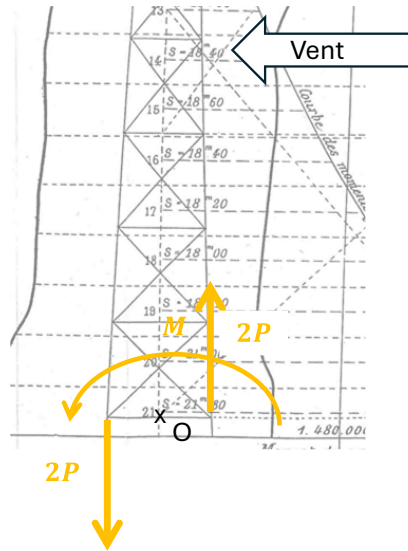


Figure 6. Moment fléchissant et efforts dans les arbalétriers dus au vent (Talansier, 1883)

## 1.6 Présentation des calculs effectués par Eiffel : statique graphique

### 1.6.1 Moment fléchissant sur la charpente

A partir des efforts du vent sur les surfaces 1 à 21, Eiffel trace le polygone des forces du vent et en déduit le diagramme du moment fléchissant (Figure 7 et Figure 8). En Figure 7 on illustre la création du diagramme du moment fléchissant à partir du polygone des forces, pour le début de la courbe. Le diagramme du moment fléchissant lui donne le moment fléchissant maximal à la base de la charpente. Ce moment maximal lui permet de déterminer les efforts de compression et de traction dans les arbalétriers.

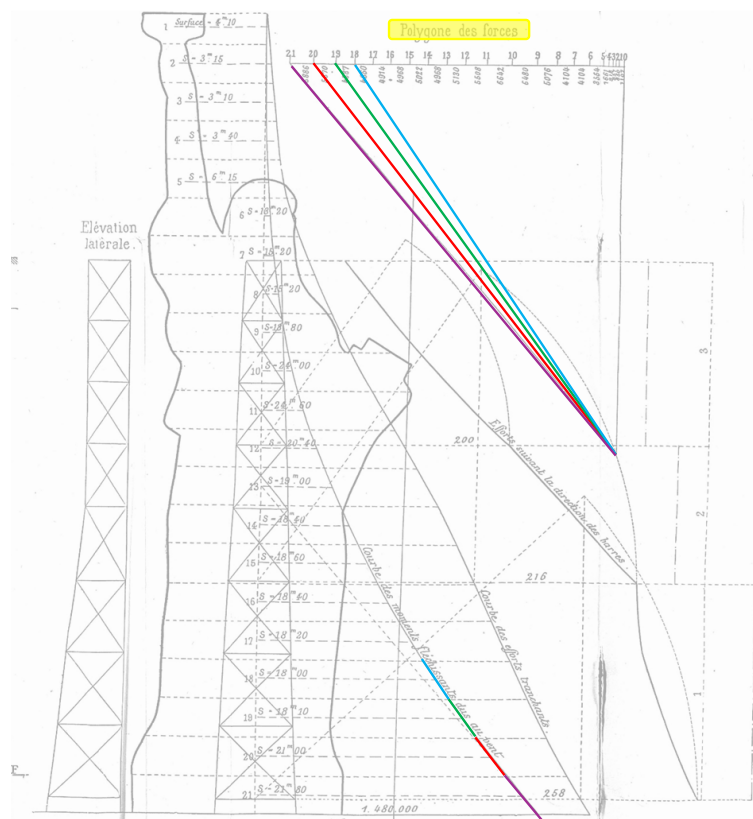


Figure 7. Construction du diagramme du moment fléchissant à partir du polygone des forces (Talansier, 1883)

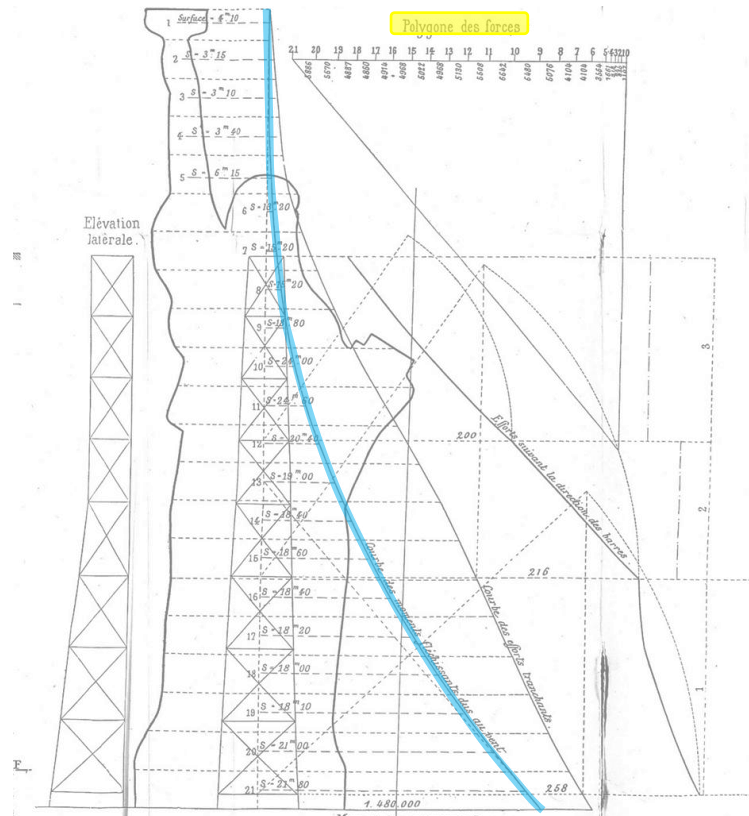


Figure 8. Polygone des forces et diagramme des moments fléchissant (Talansier, 1883)

### 1.6.2 Présentation de la méthode graphique utilisée par Eiffel

A partir des efforts du vent sur les surfaces 1 à 21, Eiffel détermine par statique graphique le diagramme des efforts tranchants (Figure 9).

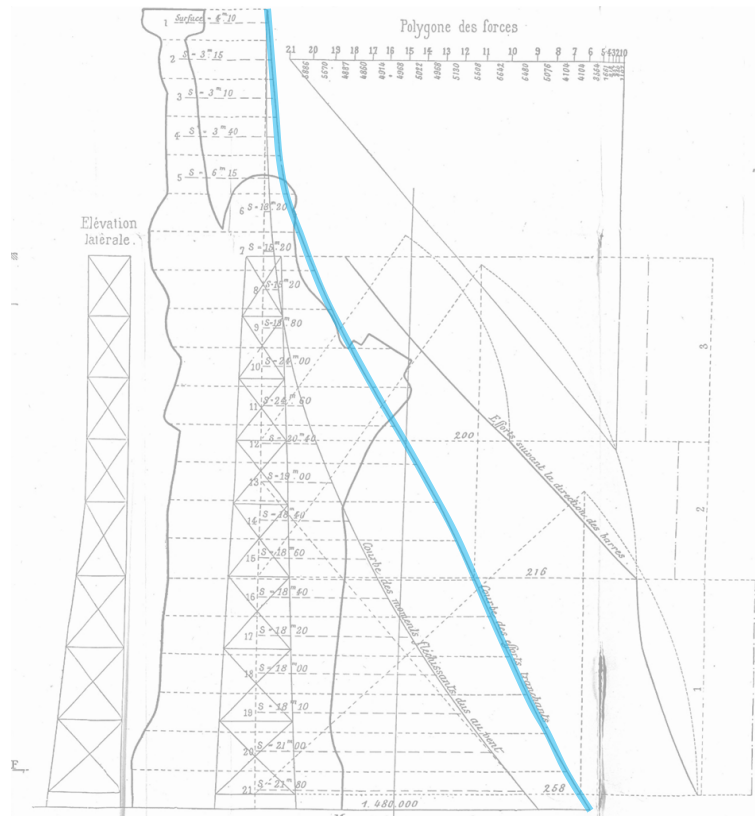


Figure 9. Diagramme de l'effort tranchant obtenu par Eiffel par statique graphique (Talansier, 1883)

Eiffel définit ensuite trois sections de treillis, notées 1 à 3 (Tableau 2). La section 1 est utilisée dans les trois premiers panneaux, que l'on notera I à III. La section 2 est utilisée dans les panneaux IV et V. La section 3 est utilisée dans les panneaux VI à VIII (Figure 10).

NUMÉROS des BARRES	EFFORT TOTAL	EFFORT par BARRÉ	SECTION DES BARRES en millimètres carrés	COEFFICIENT par millimètre carré
	kilogr.	kilogr.		kil.
1	114 000	28 500	5 208	5,47
2	98 500	24 625	4 512	5,50
3	75 000	18 750	4 032	4,65

Tableau 2. Calcul des treillis dans l'article de Talansier (Talansier, 1883)

Finalement, Eiffel détermine graphiquement les efforts dans la direction des barres (Figure 11).

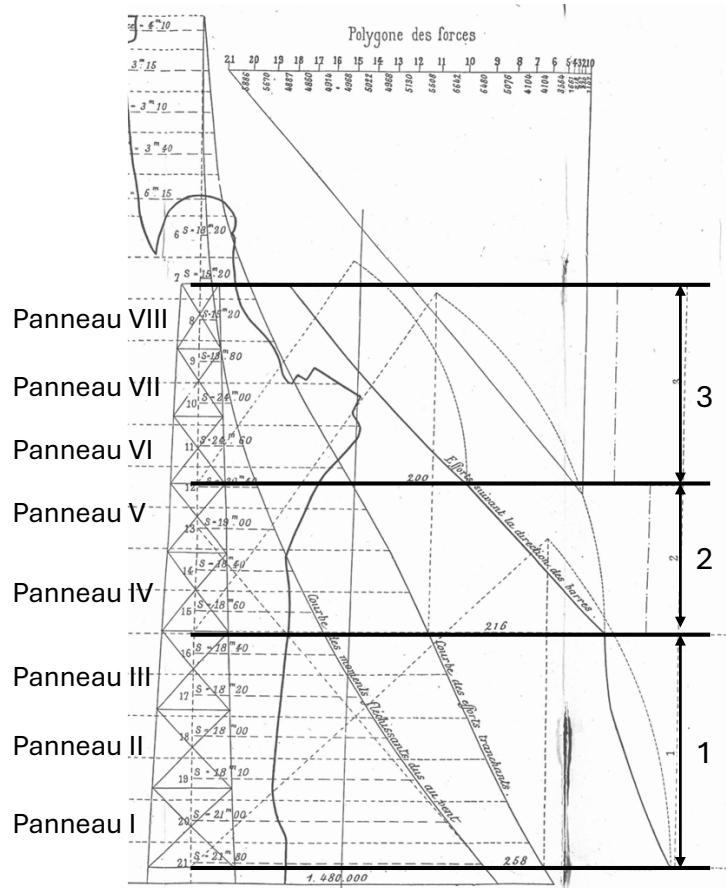


Figure 10. Panneaux et sections des barres 1, 2 et 3 (Talansier, 1883)

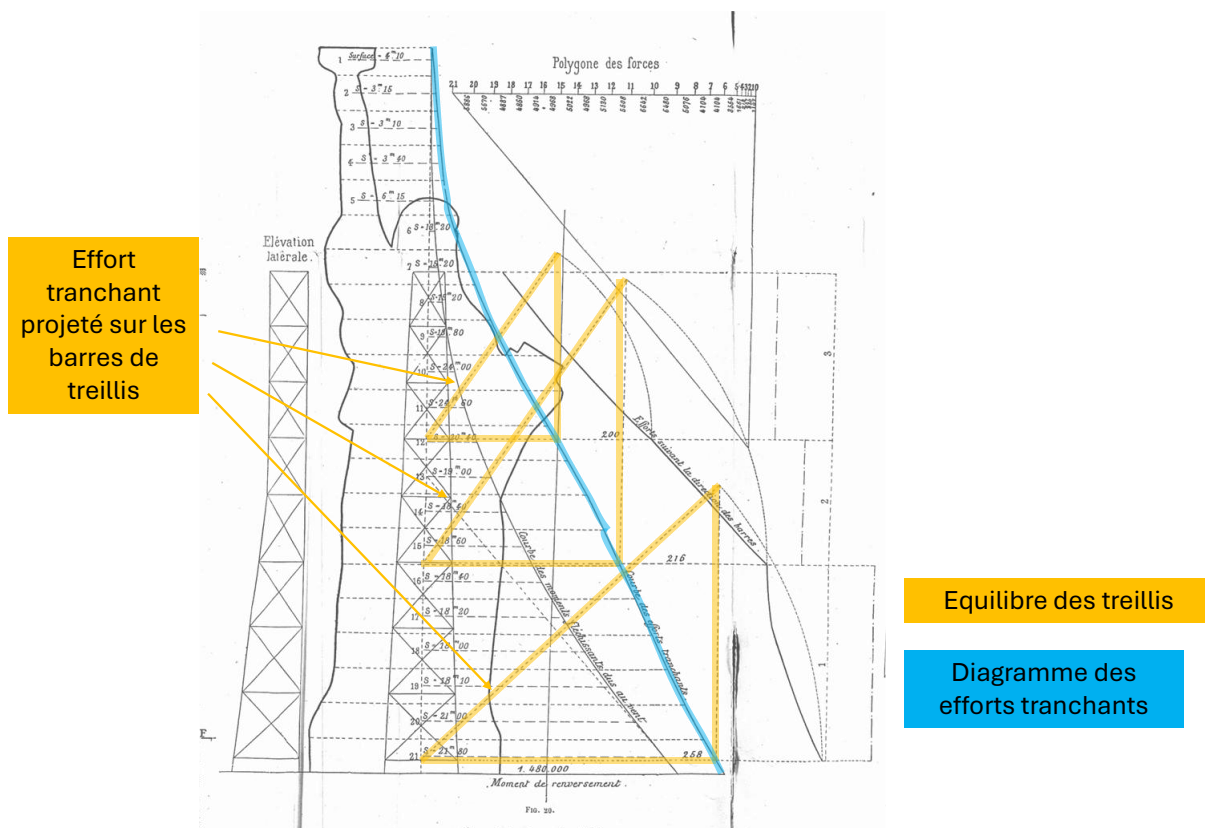


Figure 11. Tracé des efforts dans la direction des barres par statique graphique, par Eiffel (Talansier, 1883)

## 2 Questions

### 2.1 Calcul des arbalétriers

#### 2.1.1 Effets des charges verticales

Q1/ Calculer l'effort de compression  $P$  provenant du poids propre de la structure, sur chacun des 4 arbalétriers. On néglige l'inclinaison des arbalétriers.

#### 2.1.2 Effets du vent

Q1/ Le moment fléchissant  $M_a$  à la base des arbalétriers est la somme des moments fléchissant de chaque résultante  $F_i$  de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Pour le cas a, calculer le moment fléchissant maximal, à la base de la charpente, induit par les efforts horizontaux dus au vent.

Q2/ Eiffel calcule le moment fléchissant à la base de la charpente par statique graphique. Son objectif est un gain de temps : « assez longues lorsqu'on les fait analytiquement, ces opérations sont très rapides lorsque l'on a recours à la méthode graphique. C'est ce qui a été fait dans le cas présent » (Talansier, 1883, p. 21). Eiffel obtient la valeur  $M_a = 1\,480\,000\text{ kg.m}$ . Comparer avec la valeur trouvée dans la question précédente.

Q3/ Calculer l'effort  $P_a$  dans les arbalétriers, induit par le moment fléchissant  $M_a$ . On prendra la valeur donnée par Eiffel,  $M_a = 1\,480\,000\text{ kg.m}$ .

Q4/ On étudie le cas b du vent, quand le vent agit de côté. Si la surface exposée au vent est environ 2/3 de la surface exposée au cas a, en déduire le moment fléchissant  $M_b$  et l'effort  $P_b$  dans les arbalétriers pour ce cas.

Q5/ On étudie le cas c du vent, quand le vent agit de biais. Si la surface exposée au vent est environ 5/6 de la surface exposée au cas a, en déduire le moment fléchissant  $M_c$  et l'effort  $P_c$  dans les arbalétriers pour ce cas.

Q6/ Dans quel cas a-t-on l'effort maximal dans les arbalétriers ?

#### 2.1.3 Combinaison charges verticales et vent

Q1/ à partir des questions précédentes, déterminer l'effort maximal de compression et l'effort maximal de traction dans un arbalétrier.

Q2/ La section d'un arbalétrier est donnée ci-dessous. Calculer la section  $S$  des arbalétriers.

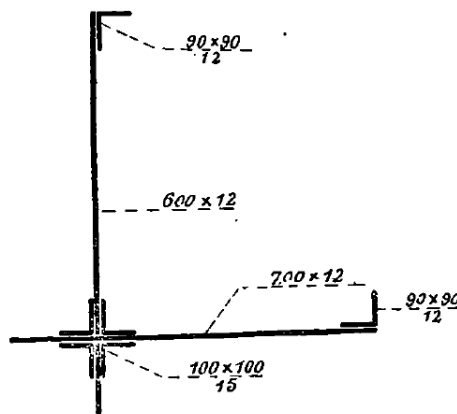


Figure 12. Section d'un arbalétrier (Talansier, 1883)

Q3/ En déduire la contrainte maximale de compression et la contrainte maximale de traction dans un arbalétrier

## 2.2 Calcul des Treillis

On propose de retrouver par le calcul les contraintes maximales dans les sections 1, 2 et 3 ( ).

Q1/ Les barres de treillis doivent résister aux efforts tranchants dus au vent et sont identiques sur les quatre faces de la charpente. En déduire le cas (a, b, ou c) qui induira les plus grands efforts tranchants dans les barres.

Q2/ Tracer le diagramme des efforts tranchants. Comparer ce diagramme avec le diagramme obtenu par Eiffel, par statique graphique.

Q3/ En déduire l'effort tranchant maximal que subissent les sections 1, 2 et 3.

Q4/ On donne ci-dessous les angles des barres de treillis les plus sollicitées des sections 1, 2 et 3, par-rapport à l'horizontale. Calculer les contraintes maximales dans les barres de treillis, pour les sections 1, 2 et 3.

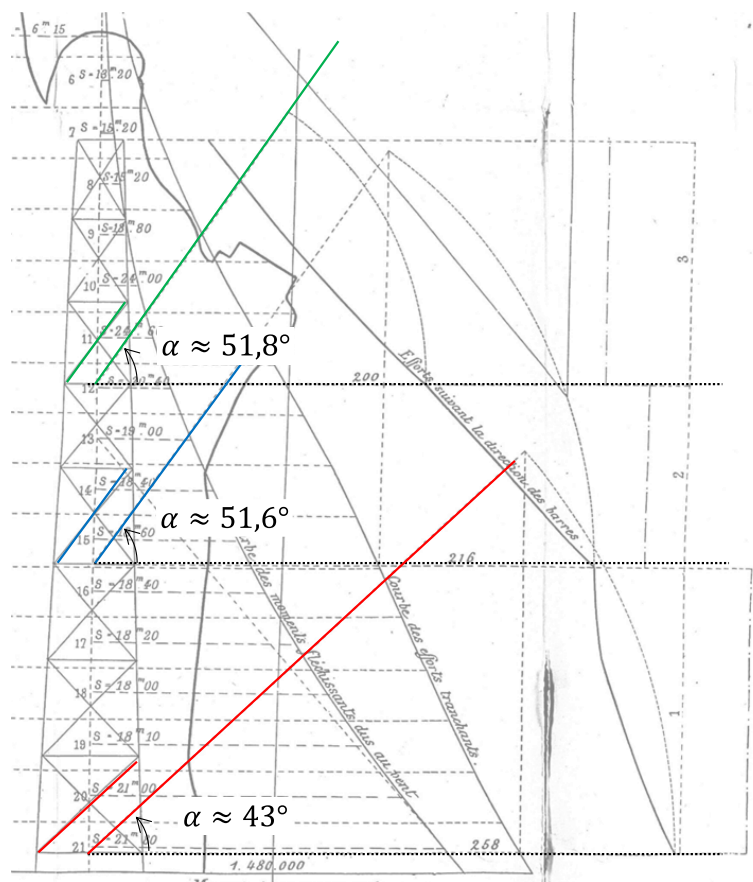


Figure 13. Angles pour la projection des barres de treillis (Talansier, 1883)

## 2.3 Calcul des amarrages et des maçonneries

« Les tirants d'amarrages de la charpente dans la maçonnerie auront à résister un effort de traction égal à celui qui se développe à la partie inférieure d'un arbalétrier, soit 150 000 kg ». (Talansier, 1883, p. 24).

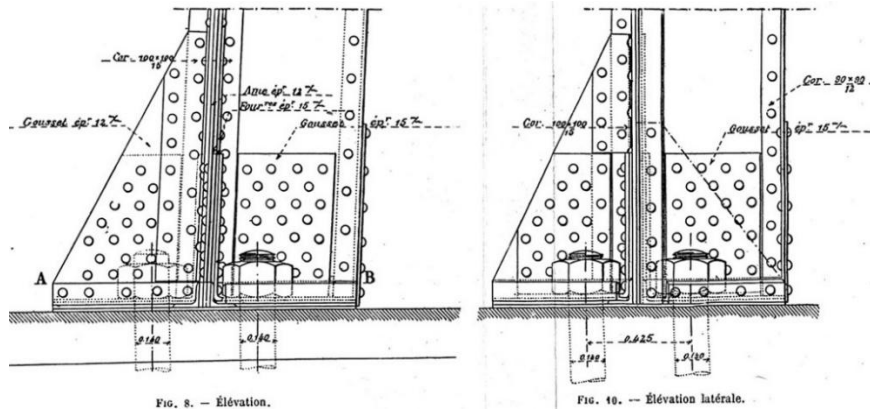


Figure 14. Schéma des tirants d'amarrages (Talansier, 1883)

Q1/ Chaque arbalétrier est amarré par trois tirants de diamètre sont de 120 mm. Déterminer les sections des tirants

Q2/ En déduire les contraintes dans chaque tirant.

Q3/ « La longueur des tirants et les dimensions des sommiers sont déterminées de manière à intéresser un cube de maçonnerie assez grand pour empêcher le renversement. » (Talansier, 1883, p. 20). Eiffel suppose que le poids propre de la maçonnerie retiendra la statue. L'effort de traction maximal dans un arbalétrier est de 150 000 kg. On considère que la maçonnerie a une masse volumique de 2500 kg/m<sup>3</sup>. Déterminer le volume de maçonnerie nécessaire. Ce volume déterminera directement la longueur des tirants d'amarrages.

## 3 Correction

### 3.1 Calcul des arbalétriers

#### 3.1.1 Effets des charges verticales

Q1/ Le poids propre de toute la statue (cuivre et fer) est estimé à 200 000 kg. Sur chaque arbalétrier, l'effort de compression  $P$  induit par le poids propre est donc de

$$P = \frac{200\,000}{4} = 50\,000 \text{ kg}$$

#### 3.1.2 Effets du vent

Q1/ Le moment fléchissant  $M_a$  à la base des arbalétriers est la somme des moments de chaque résultante  $F_i$  :

$$M_a = \sum_{i=1}^{21} F_i \cdot h_i = 1\,505\,311 \text{ kg.m}$$

Surface i	hi (m)	Si (m <sup>2</sup> )	Résultante Fi (kg)	Moment (kg.m)
	42,9			0
1	42,1	4,1	1107	46626,2
2	40,1	3,15	850,5	34096,2
3	38,1	3,1	837	31856,0
4	36,0	3,4	918	33075,4
5	33,7	6,15	1660,5	56035,7
6	32,0	13,2	3564	113941,6
7	29,7	15,2	4104	121833,7
8	27,9	15,2	4104	114544,5
9	25,9	18,8	5076	131369,9
10	23,6	24	6480	152908,7
11	21,6	24,6	6642	143249,1
12	19,5	20,4	5508	107611,5
13	17,5	19	5130	89813,3
14	15,5	18,4	4968	76892,8
15	13,4	18,6	5022	67534,7
16	11,4	18,4	4968	56724,2
17	9,3	18,2	4914	45509,5
18	7,2	18	4860	35144,3
19	5,1	18,1	4887	24799,7
20	3,0	21	5670	17263,9
21	0,8	21,8	5886	4480,4

Tableau 3. Moments des efforts du vent pour le cas a

Q2/ L'écart relatif est inférieur à 2% ce qui démontre la bonne précision de la statique graphique utilisée par Eiffel.

$$\frac{1480000 - 1505311}{1480000} = 1,71\%$$

Q3/ Les efforts dans les arbalétriers doivent équilibrer le moment fléchissant  $M_a$  induit par le vent. Si l'on écrit l'équilibre des moments au point O de la Figure 6, on a

$$2P_a \cdot \frac{4,90}{2} \times 2 - M_a = 0$$

Cas a. L'écartement des arbalétriers étant de 4,90 m, l'effort  $P_a$  dans les arbalétriers A et B est tel que

$$2 \cdot P_a = \frac{M_a}{4,90} = \frac{1\,480\,000}{4,90} = 302\,041 \text{ kg}$$

Eiffel arrondi à 300 000 kg. On obtient un effort  $P_a$  dans les arbalétriers tel que

$$P_a = 150\,000 \text{ kg}$$

Q4/ Quand le vent agit de côté,

$$M_b = \frac{2}{3} \times 1\,480\,000 = 986\,667 \text{ kg.m}$$

Eiffel arrondi à 980 000 kg. L'effort  $P_b$  dans chaque arbalétrier A et B a pour valeur

$$P_b = \frac{1}{2} \times \frac{986\,667}{3,80} = 129\,825 \text{ kg}$$

La valeur calculée dans l'article est de 130 000 kg.

Q5/ Pour le cas c,

$$M_c = \frac{5}{6} \times 1\,480\,000 = 1\,233\,333 \text{ kg.m}$$

L'effort  $P_b$  dans chaque arbalétrier A et B a pour valeur

$$P_c = \frac{1\,233\,333}{\sqrt{4,9^2 + 3,8^2}} = 198\,899 \text{ kg}$$

Eiffel arrondi à 200 000 kg.

Cette fois-ci on ne divise pas par deux car le moment fléchissant agit sur un seul arbalétrier, voir cas c Figure 3.

### 3.1.3 Combinaison charges verticales et vent

Q1/ « Dans la face opposée au vent, les efforts dus aux charges et au vent s'ajoutent tandis que, dans celle directement frappée par le vent, elles se retranchent l'une de l'autre ».

L'effort de compression maximal dû au vent est de 200 000 kg. L'effort de compression dans un arbalétrier dû au poids de la structure a pour valeur 50 000 kg donc

$$F_{max} = -200\,000 - 50\,000 = -250\,000 \text{ kg}$$

L'effort de traction maximal dû au vent est de 200 000 kg. L'effort de compression dans un arbalétrier dû au poids de la structure a pour valeur 50 000 kg donc

$$F_{min} = 200\,000 - 50\,000 = 150\,000 \text{ kg}$$

Q2/

$$S = 30\,732 \text{ mm}^2$$

Q3/ La contrainte de compression maximale dans un arbalétrier a pour valeur

$$\sigma = -\frac{250000}{30\,732} = 8,1 \text{ kg/mm}^2$$

La contrainte de traction maximale dans un arbalétrier a pour valeur

$$\sigma = \frac{150000}{30\,732} = 4,8 \text{ kg/mm}^2$$

## 3.2 Calcul des Treillis

Q1/ Les efforts vent les plus élevés sont, d'après les données, pour le cas a, donc ce cas induira les plus grands efforts tranchants dans les barres de treillis.

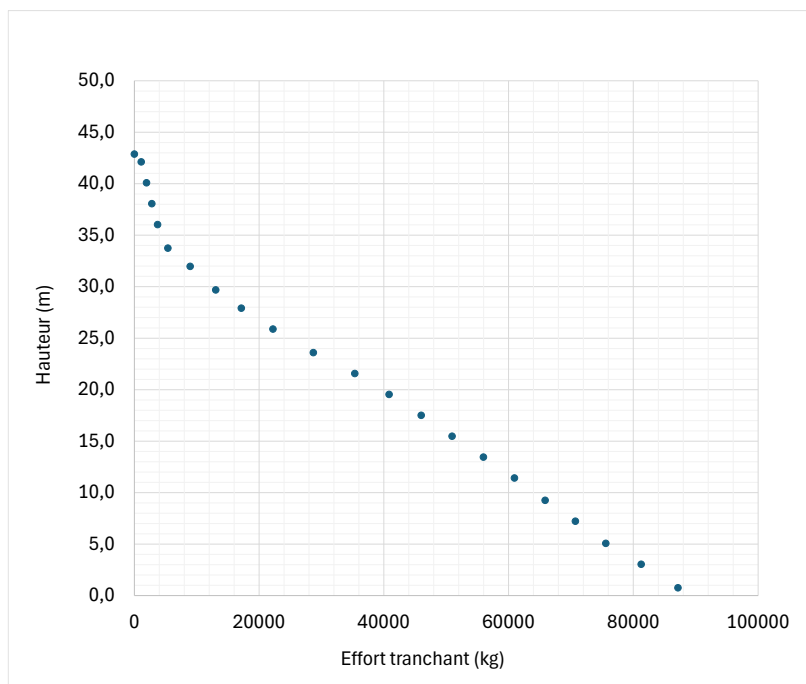
Q2/ L'effort tranchant est la somme des efforts tranchants sur les surfaces situées au-dessus de la section considérée.

Ordonnée	Surface i	hi (m)	Si (m <sup>2</sup> )	Fi (kg)	T (kg)
169		42,9			0
166	1	42,1	4,1	1107	1107
158	2	40,1	3,15	851	1957,5
150	3	38,1	3,1	837	2794,5
142	4	36,0	3,4	918	3712,5
133	5	33,7	6,15	1661	5373
126	6	32,0	13,2	3564	8937
117	7	29,7	15,2	4104	13041
110	8	27,9	15,2	4104	17145
102	9	25,9	18,8	5076	22221
93	10	23,6	24	6480	28701
85	11	21,6	24,6	6642	35343
77	12	19,5	20,4	5508	40851
69	13	17,5	19	5130	45981
61	14	15,5	18,4	4968	50949
53	15	13,4	18,6	5022	55971
45	16	11,4	18,4	4968	60939
36,5	17	9,3	18,2	4914	65853
28,5	18	7,2	18	4860	70713
20	19	5,1	18,1	4887	75600
12	20	3,0	21	5670	81270
3	21	0,8	21,8	5886	87156

Tableau 4. Calcul des efforts tranchants le long de la charpente

Il suffit maintenant de tracer l'effort T en fonction des positions  $h_i$ .

On retrouve la courbe des efforts tranchants de l'article.



Q3/

Panneau	Ordonnée	Surface i	hi (m)	Si (m <sup>2</sup> )	Fi (kg)	T (kg)	T proj (kg)
	169		42,9			0	
	166	1	42,1	4,10	1107	1107	
	158	2	40,1	3,15	851	1957,5	
	150	3	38,1	3,10	837	2794,5	
	142	4	36,0	3,40	918	3712,5	
	133	5	33,7	6,15	1661	5373	
	126	6	32,0	13,20	3564	8937	
8	117	7	29,7	15,20	4104	13041	
8	110	8	27,9	15,20	4104	17145	
7	102	9	25,9	18,80	5076	22221	
7	93	10	23,6	24,00	6480	28701	
6	85	11	21,6	24,60	6642	35343	
5	77	12	19,5	20,40	5508	40851	
5	69	13	17,5	19,00	5130	45981	74 079
4	61	14	15,5	18,40	4968	50949	
4	53	15	13,4	18,60	5022	55971	
3	45	16	11,4	18,40	4968	60939	98 635
3	36,5	17	9,3	18,20	4914	65853	
2	28,5	18	7,2	18,00	4860	70713	
2	20	19	5,1	18,10	4887	75600	
1	12	20	3,0	21,00	5670	81270	
1	3	21	0,8	21,80	5886	87156	119 219

Barre section 1

$$F = \frac{45981}{\cos \alpha} = \frac{45981}{\cos 43,0^\circ} = 74079 \text{ kg}$$

Barre section 2

$$F = \frac{60939}{\cos \alpha} = \frac{60939}{\cos 51,8^\circ} = 98635 \text{ kg}$$

Barre section 3

$$F = \frac{87156}{\cos \alpha} = \frac{87156}{\cos 51,6^\circ} = 119219 \text{ kg}$$

Q4/ On compare ci-dessous les contraintes calculées et les contraintes obtenues par Eiffel, par statique graphique.

Section	$\alpha$	$\alpha$ (deg)	Effort dans les barres (kg)		Effort par barre (kg)		S (mm <sup>2</sup> )	Contrainte dans les barres (kg/mm <sup>2</sup> )	
			Calcul	Article	Calcul	Article		Calcul	Article
1	0,75	43,03	119219	114000	29805	28500	5208	5,72	5,47
2	0,90	51,84	98635	98500	24659	24625	4512	5,47	5,50
3	0,90	51,63	74079	75000	18520	18750	4032	4,59	4,65

Tableau 5. Calcul des treillis, comparaison calcul / article

### 3.3 Calcul des amarrages

Q1/ Section de chaque tirant

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 11\,310 \text{ mm}^2$$

Q2/

Le coefficient de travail de ces tirants sera donc :

$$R = \frac{150\,000}{3 \times 11\,310} = 4^k,4 \text{ par millimètre carré.}$$

Q3/

Le cube de maçonnerie, qui devra être intéressé par les tirants de chaque arbalétrier, sera, en comptant la maçonnerie à 2500 kilogr. le mètre cube, de :

$$\frac{150\,000}{2\,500} = 60 \text{ mètres cubes.}$$

## Références

Eiffel, G., 1888. Mémoire présenté à l'appui du projet définitif du viaduc de Garabit. Mémoires de la Société des ingénieurs civils. <http://cnum.cnam.fr/redir?ECCMC6.49>. Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique <http://cnam.cnum.fr> 50, 55–184.

Talansier, C., 1883. La statue de la liberté éclairant le monde. Publications du journal “Le Génie civil” (Paris) - <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb31429851w> 1–29.

Viaduc de Garabit [WWW Document], n.d. URL [https://fr.wikipedia.org/wiki/Viaduc\\_de\\_Garabit](https://fr.wikipedia.org/wiki/Viaduc_de_Garabit) (accessed 12.29.24).

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Auguste\\_Bartholdi](https://fr.wikipedia.org/wiki/Auguste_Bartholdi)