

TIPE : Les Constructions Durables



Sommaire

I. Enjeu sociétal

II. Solutions / Objectifs

III. Étude scientifique

1. Réalisation des éprouvettes

2. Tests

3. Caractérisation du matériau

IV. Rapport à l'utilisation

V. Étude environnementale

VI. Conclusion

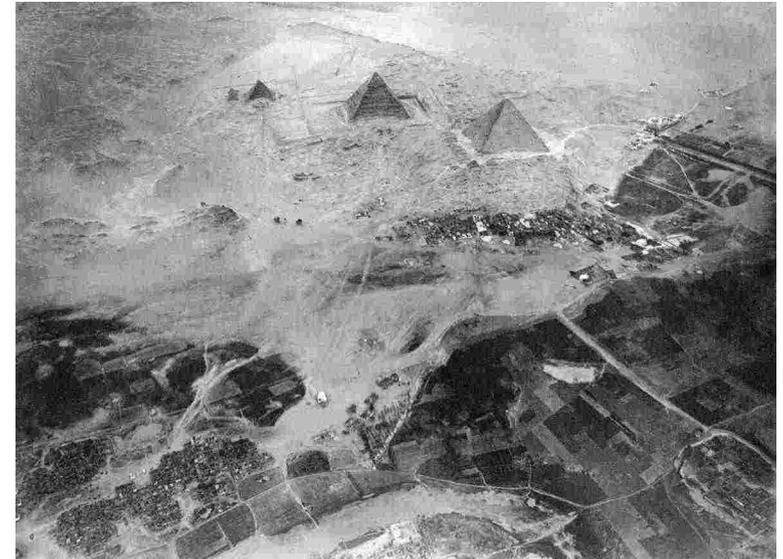
I. Enjeux sociétal

L'évolution de la population :

- augmentation de 207 % depuis 1950 ¹
- 2/3 de la population mondiale habitera en ville d'ici 2050 ²



Thomas Pesquet en 2016



Eduard Spelterini en 1904

Les enjeux environnementaux :

Le secteur du bâtiment représente :

- 23 % des émissions de gaz à effets de serre françaises ³
- 38 % des émissions de gaz à effets de serre mondiales ⁴

II. Solutions / Objectifs

Afin de réduire l'impact environnemental du bâtiment, quels matériaux choisir pour construire les planchers ?

Présentation des matériaux de l'étude :

– Bois :



<https://www.homag.com/>

– Béton de terre (d'argile) :



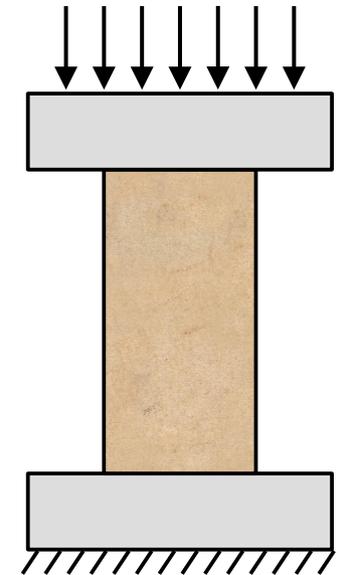
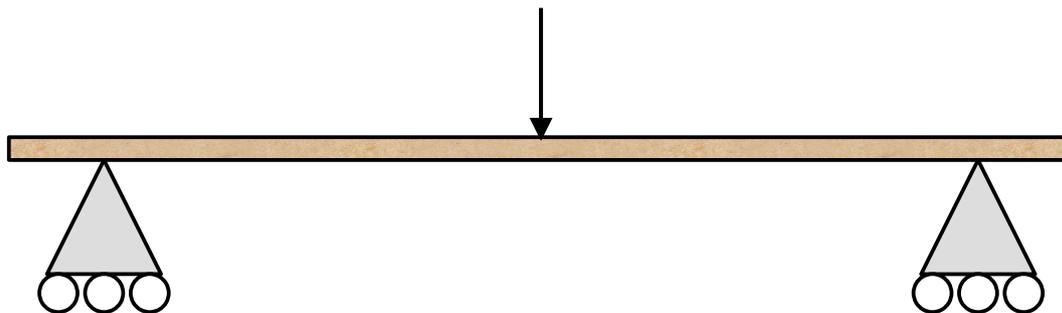
<https://www.youtube.com/@AtelierAmaco>

II. Solutions / Objectifs

Norme Française P06-001 pour une salle de classe : 250 daN/m^2 soit $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Étude des propriétés mécaniques d'un béton de terre :

- Simulation CAO de flexion et de compression
- Étude expérimentale de la flexion et de compression
- Étude calculatoire de la flexion et de compression
- Étude de l'impact environnemental d'une structure



II. Solutions / Objectifs

Le Béton de terre (ou béton d'argile) :

- Innovant.
- Trop peu utilisé.
- Impact carbone largement diminué par rapport au béton classique.



Composition :

- 23 % Sable
- 34 % Gravier
- 11 % Eau
- 25 % Argile
- 7 % Ciment

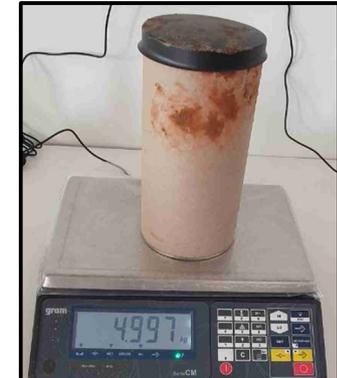
Données Béton traditionnelle :

- Eau / Liant = 0,3 à 0,6
→ 0,34
- Sable / Gravier = 2/3



III. Étude scientifique

1. Réalisation des éprouvettes :



III. Étude scientifique

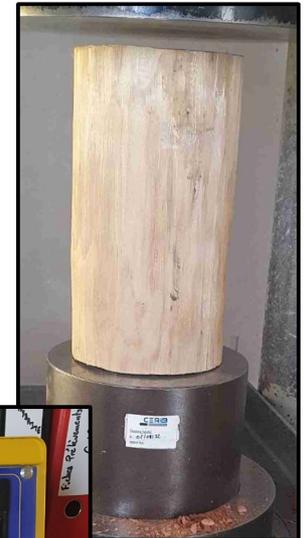
2. Tests :

Compression Dijon Béton :



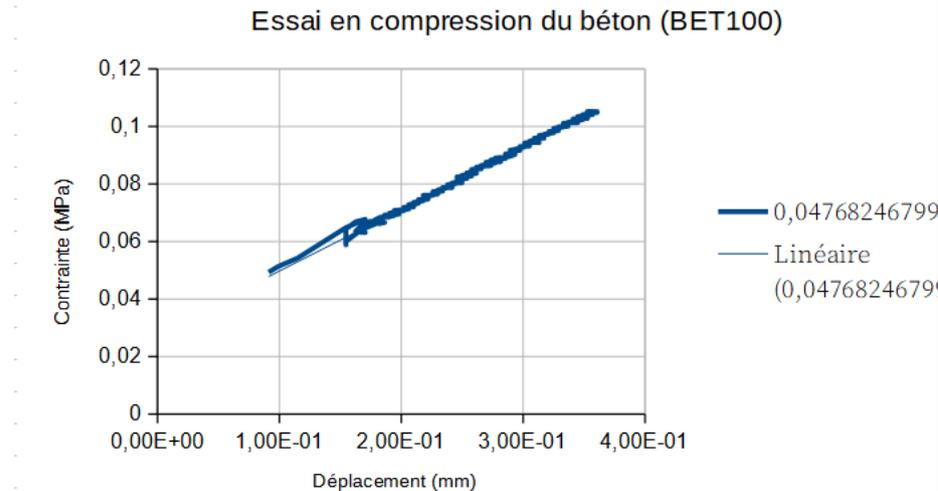
- Aucune donnée
- 3 éprouvettes détruites

On a donc du réaliser d'autre tests en parallèle sur la machine présente dans notre lycée.



III. Étude scientifique

Compression Lycée Eiffel :

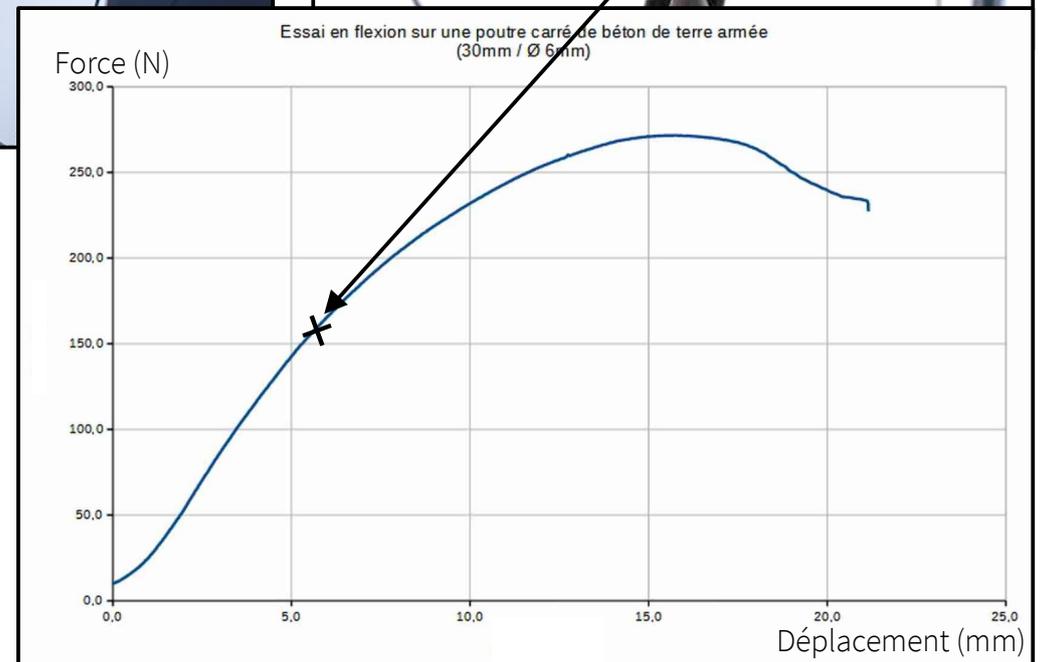
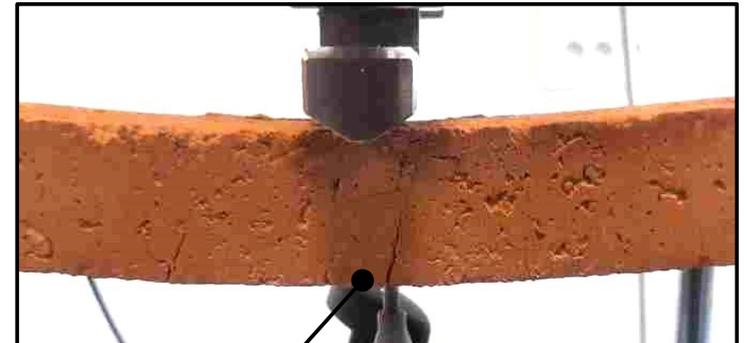


Après ces tests, au vue de la trop faible plage de mesure, nous n'avons pas pu déterminer les caractéristiques du matériau.

Ainsi, nous avons décidé de déterminer le module d' Young de notre béton via le test en flexion.

III. Étude scientifique

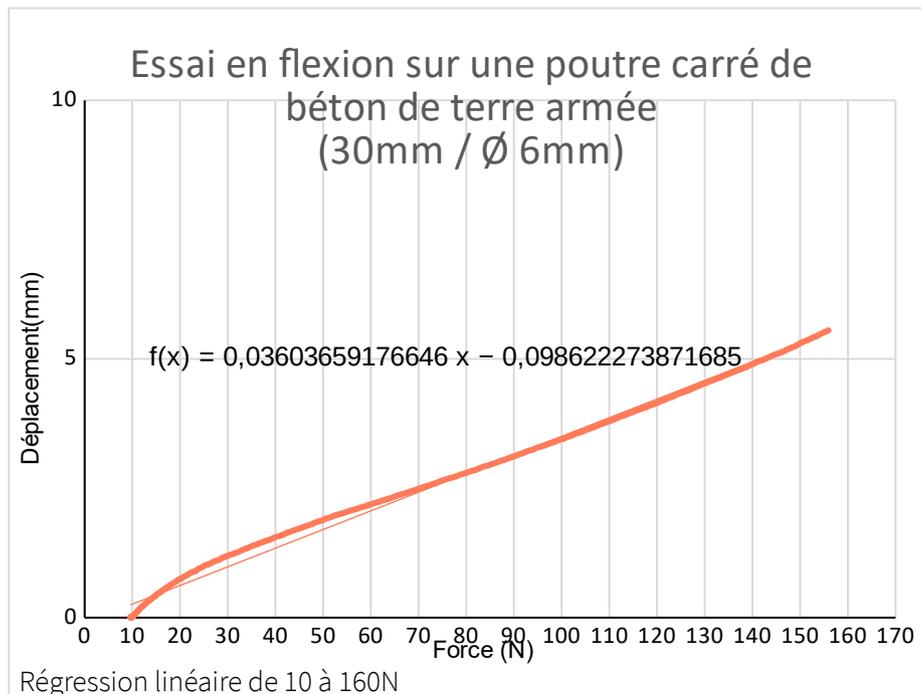
Flexion ESTP :



III. Étude scientifique

3. Caractérisation du matériau :

On peut donc à l'aide d'une étude calculatoire, déterminer le module d'Young théorique.



$$y_{max} = -\frac{F \times L^3}{48 \times E \times I_{gz}}$$

$$L = 50 \text{ cm}$$
$$I_{gz} = 67500 \text{ mm}^4$$

On a pour coefficient directeur :

$$\frac{y}{F} = \frac{L^3}{48 \times E \times I_{gz}}$$

$$E = \frac{F \times L^3}{48 \times 0.036 \times I_{gz}} = 1072 \text{ MPa}$$

III. Étude scientifique

On estime la rupture du béton à 163N, ce qui correspond à un déplacement de 5,9mm.
On a également déterminer la contrainte max lors de cette étude :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fz_{max}} \times y}{I_{gz}}$$

Déplacement (mm)	Force (N)
5,85	162,45
5,90	163,49
5,93	163,90

On obtient M_{fz} à l'aide d'un programme python :

```
3 Created on Wed May 24 22:44:55 2023
4
5 @author: bailly
6 """
7
8 import matplotlib.pyplot as plt
9 import numpy as np
10
11 def Mfz (F,L):
12     T = np.linspace(0,L,1000)
13     Y=[]
14     for k in range (len(T)):
15         if T[k] <= L/2:
16             Y.append ((F/2)*T[k])
17         else:
18             Y.append((F/2)*(L-T[k]))
19     m=max(Y)
20     plt.plot(T, Y)
21     plt.text(0,19,2,m)
22     plt.text(0,1,2,'Mfzmax =
23     plt.xlabel('Position dans la poutre')
24     plt.ylabel('Moment flechissant')
25     plt.title('Évolution du moment le long de la poutre')
26     return plt.show()
27
28 print (Mfz(163,0.5))
29
30
```

→ $M_{fz_{max}} = 20,35 \text{ N.m}$

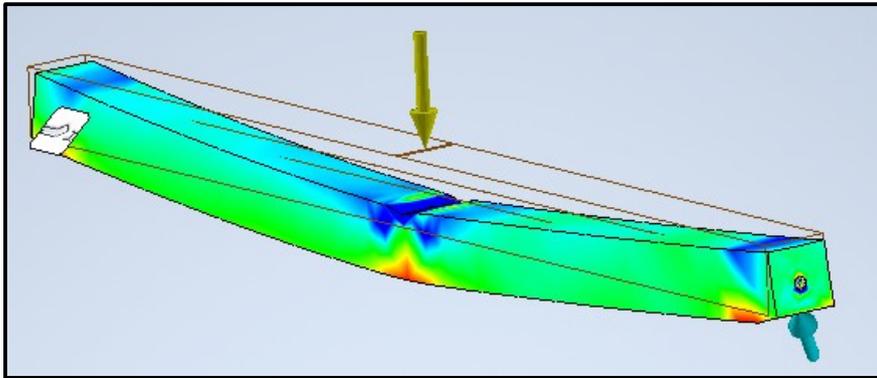
Donc :

$$\sigma_{max} = 4.5 \text{ MPa}$$

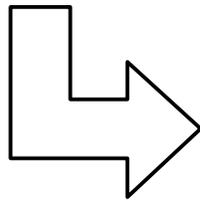
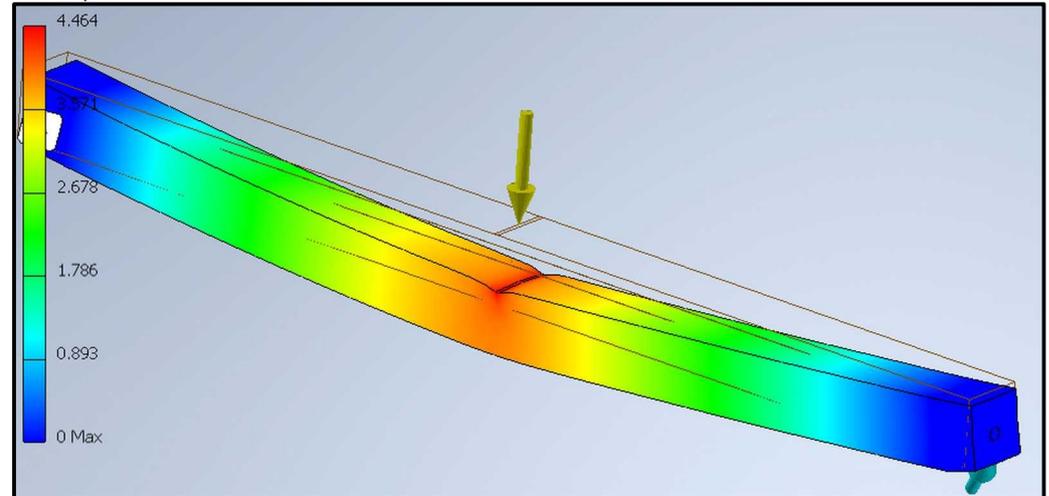
III. Étude scientifique

Simulation Iventor :

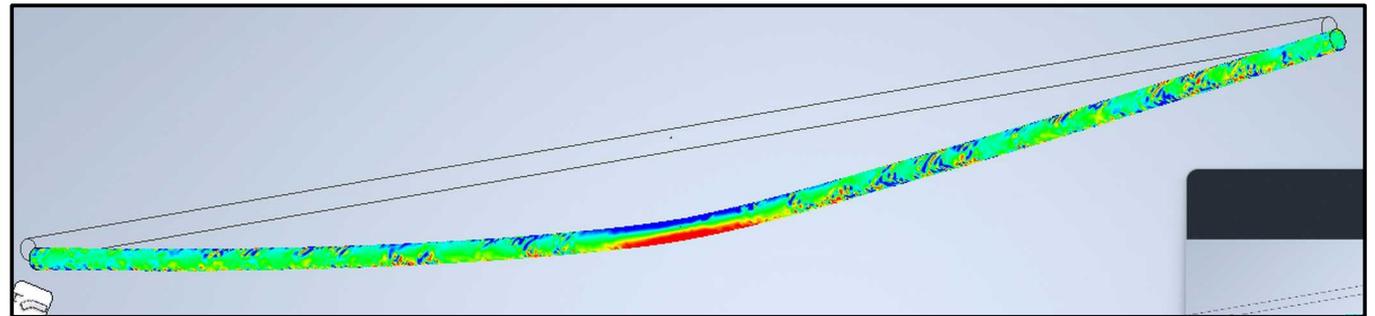
Contrainte :



Déplacement vertical :



Contrainte subit beaucoup plus importante sur la tige en acier (3MPa / 50MPa)



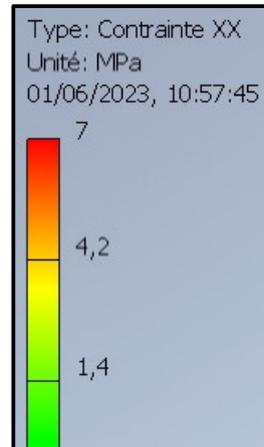
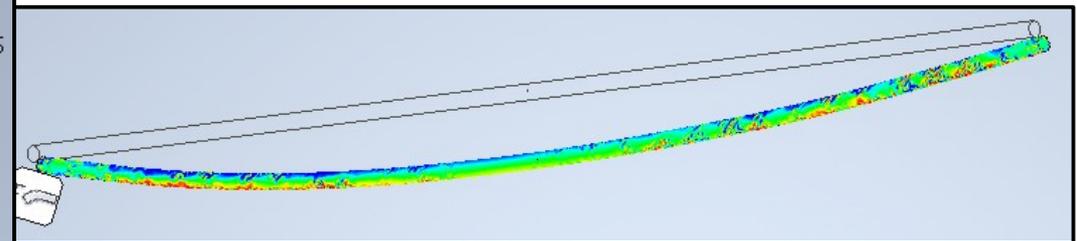
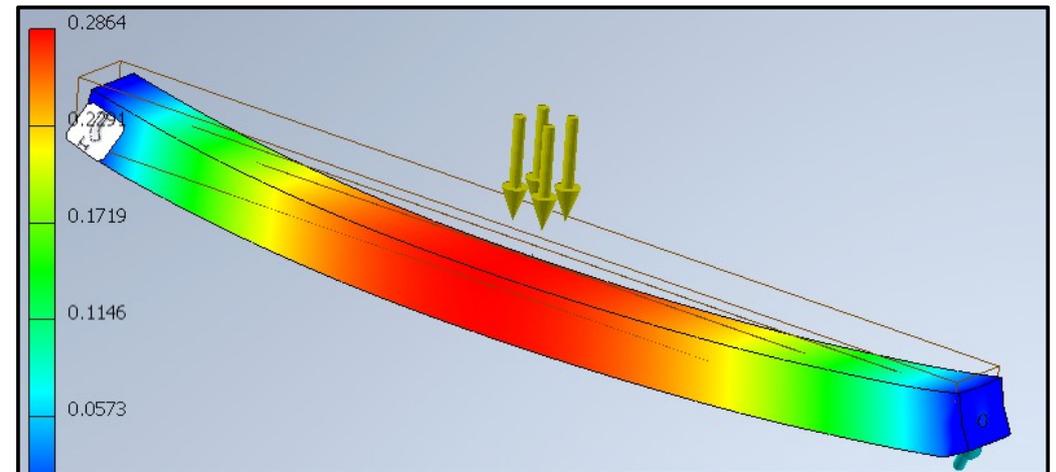
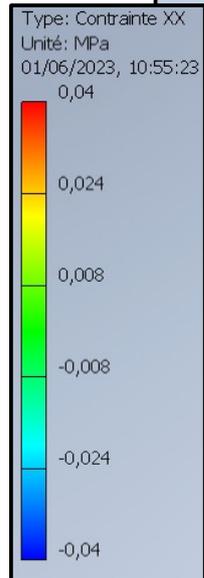
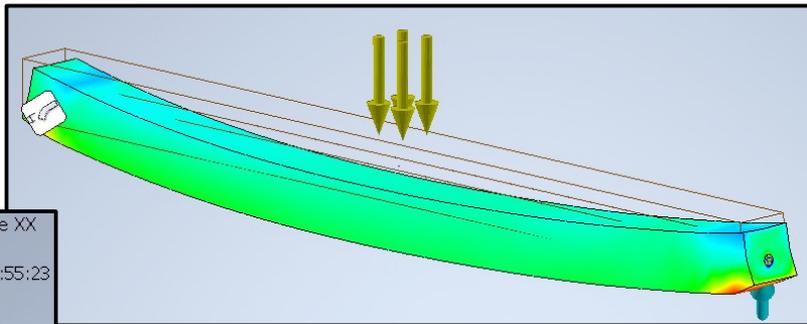
IV. Rapport à l'utilisation

Simulation Inventor :

Charge = norme (0,003MPa)

Déplacement vertical :

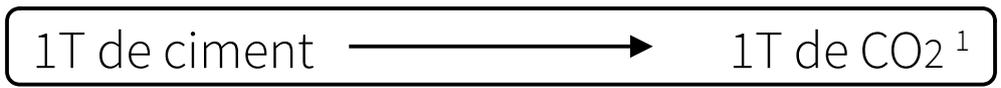
Contrainte :



Même constat :
L'acier permet a
l'ensemble de de
soutenir la charge

V. Étude environnementale

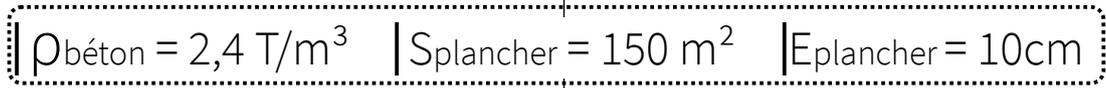
La principale source de pollution du béton est la fabrication du ciment.



Composition en ciment :

– Béton classique : ~ 15 %

– Béton d'argile : ~ 7 %



36T de béton

5,4T de ciment

36T de béton

2,57T de ciment

Réduction de 53 % des
émissions de CO₂

VI. Conclusion

Annexes

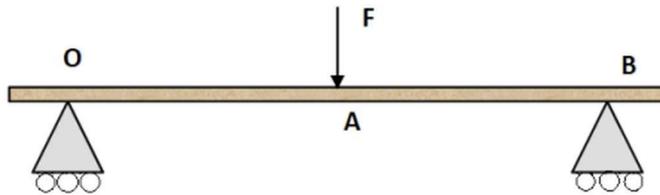
BAILLY Elio
numéro de candidat : 15050

1 Calcul

Voici le type de torseur que nous allons utiliser : $\{T_{coh}\} = \begin{pmatrix} F_x & M_x \\ F_y & M_y \\ F_z & M_z \end{pmatrix}_{(G)}$

1.1 En flexion

La poutre que nous allons étudier est celle ci : avec $OB = L$ et $OA = \frac{L}{2}$



On effectue le Bilan des actions extérieures Il y a 2 liaisons dites ponctuelles et une force en A soit

$$\text{En O : } \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_o & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(O)} \quad \text{Avec } Y_o \text{ un réel}$$

$$\text{En B : } \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_b & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(B)} \quad \text{Avec } Y_b \text{ un réel}$$

$$\text{En A : } \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -F & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(A)} \quad \text{Avec } F \text{ la résultante de la force appliquée}$$

Pour déterminer les inconnues Y_o et Y_b on déplace tout ces torseurs en O Soit :

$$\vec{M}(O) = \vec{M}(B) + Y_b \times \vec{y} \wedge \vec{OB} \quad (1)$$

ce qui donne $\vec{M}(O) = L \times Y_b \times \vec{z}$

soit le torseur suivant :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_b & 0 \\ 0 & L \times Y_b \end{pmatrix}_{(O)}$$

De même pour le torseur situé en A :

$$\vec{M}(O) = \vec{M}(A) - F \times \vec{y} \wedge \vec{OA} \quad (2)$$

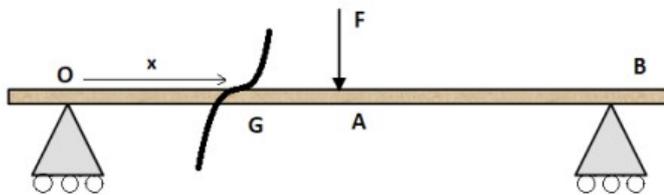
ce qui donne $\vec{M}(O) = \frac{-F \times L}{2} \times \vec{z}$

Ainsi en appliquant le théorème de la résultante statique ainsi que celui du moment statique on obtient les deux équations suivantes :

$$Y_o - F + Y_b = 0 \quad (3)$$

$$\frac{-F \times L}{2} + L \times Y_b = 0 \quad (4)$$

Donc on en déduit $Y_b = Y_o = \frac{F}{2}$



Sur le tronçon OA :

On définit le torseur de cohésion comme : $\{T_{coh}\} = \ominus \{\sum Effort\grave{a} gauche\}$ En G

Il faut donc déplacer le torseur de 0 en G soit : avec $\vec{OG} = x \times \vec{z}$

$$\vec{M}(G) = \vec{M}(A) + \frac{F}{2} \times \vec{y} \wedge \vec{GA} \quad (5)$$

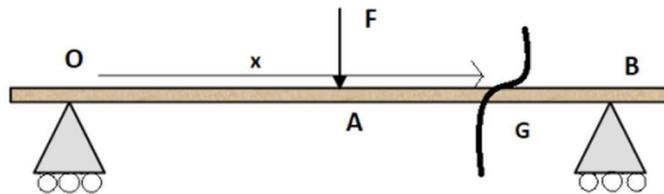
soit $\vec{M}(G) = -\frac{F}{2} \times x \times \vec{z}$

ANNEXES

Soit le torseur suivant :
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{F}{2} & 0 \\ 0 & -\frac{F}{2} \times x \end{pmatrix}_{(G)}$$

On en déduit donc que :
$$\{Tcoh\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{F}{2} & 0 \\ 0 & \frac{F}{2} \times x \end{pmatrix}_{(G)}$$

Sur le tronçon AB :



On a donc $\{Tcoh\} = \oplus \{\sum Effort\grave{a} droite\}$ En G
Il faut donc déplacer le torseur de B en G soit : avec $\vec{GB} = L - x \times \vec{x}$

$$\vec{M}(G) = \vec{M}(B) + \frac{F}{2} \times \vec{y} \wedge \vec{GB} \quad (6)$$

soit $\vec{M}(G) = \frac{F}{2} \times (L - x) \times \vec{z}$

Ainsi
$$\{Tcoh\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{F}{2} & 0 \\ 0 & \frac{F}{2} \times (L - x) \end{pmatrix}_{(G)}$$

Sur le tronçon OA :

Avec E le module d'Young et Igz le moment quadratique on a :

$$E \times Igz \times y''(x) = \frac{F}{2} \times x$$

$$\Leftrightarrow E \times Igz \times y'(x) = \frac{F}{4} \times x^2 + c_1$$

$$\Leftrightarrow E \times Igz \times y(x) = \frac{F}{12} \times x^3 + c_1 \times x + c_2$$

Avec c_1 et c_2 des constantes d'intégration à déterminer

ANNEXES

Sur le tronçon AB :

$$E \times I_{gz} \times y''(x) = \frac{F}{2} \times (L - x)$$

$$\Leftrightarrow E \times I_{gz} \times y'(x) = -\frac{F}{4} \times (L - x)^2 + c_3$$

$$\Leftrightarrow E \times I_{gz} \times y(x) = \frac{F}{12} \times (L - x)^3 + c_3 \times x + c_4$$

Avec c_3 et c_4 des constantes d'intégration à déterminer

Au appui il n'y a pas de déplacement ainsi :

$$y(0)=0 \text{ et } y(L)=0$$

Les conditions de continuité se traduisent par :

$$y_{max}(\frac{L}{2}) = y_{max}(\frac{L}{2}) \text{ et } y'_{max}(\frac{L}{2}) = y'_{max}(\frac{L}{2})$$

Ainsi avec ces conditions on peut déterminer les constantes d'intégrations. On déduit donc :

$$y(0)=0 \\ \Leftrightarrow c_2 = 0 \text{ (1)}$$

$$y(L)=0 \\ \Leftrightarrow c_3 \times L + c_4 = 0 \text{ (2)}$$

$$c_1 \times (\frac{L}{2}) = c_3 \times (\frac{L}{2}) + c_4 \text{ (3)}$$

$$\text{et } c_1 = -\frac{F \times L^2}{8} + c_3 \text{ (4)}$$

De (2) et (3) on obtient $c_1 = -c_3$

et (4) permet donc d'avoir $c_1 = -\frac{F \times L^2}{16}$; $c_3 = \frac{F \times L^2}{8}$ et (2) donne $c_4 = -\frac{F \times L^3}{16}$; $c_2 = 0$ de (1)

Déterminer ces constantes d'intégrations nous permet de trouver le déplacement maximum. On cherche tout d'abord où se situe ce déplacement maximum pour cela on résout :

$$y'(x) = 0 \Leftrightarrow \frac{F}{4} \times x^2 - \frac{F \times L^2}{16} = 0 \quad x = \frac{L}{2}$$

Ainsi le déplacement maximum se trouve en $x = \frac{L}{2}$ soit :

$$y_{max} = y(\frac{L}{2}) \Leftrightarrow y_{max} = -\frac{F \times L^3}{48 \times E \times I_{gz}}$$

ANNEXES

Ainsi l'expression du déplacement maximal est : $y_{max} = -\frac{F \times L^3}{48 \times E \times I_{gz}}$

On en déduit le module d'Young: $E = \frac{F \times L^3}{48 \times y_{max} \times I_{gz}}$

À l'aide du graphique de l'essai, on estime la rupture du Béton lorsque la force atteint $F=163\text{N}$, ce qui correspond à un déplacement y_{max} de $5,9\text{mm}$ La section de la poutre étant carré et de coté égale à 3cm on a : $I_{gz} = \frac{a^4}{12} = 67500\text{mm}^4$.

$L = 500\text{ mm}$

Donc :

$$E = \frac{163 \times 500^3}{48 \times 5.9 \times 67500}$$

$$\Leftrightarrow E = 1066\text{ MPa}$$

On cherche à déterminer aussi la valeur de la contrainte maximum qui a comme expression:

$$\sigma_{max} = \frac{M f z_{max} \times y}{I_{gz}}$$

On peut déterminer l'allure du moment de flexion lorsque la force est de 163N à l'aide d'un code python :

Ce programme nous retourne pour $F = 163\text{ N}$ et $L=0.5$ on a $M f z_{max} = 20.35\text{ N.m}$

```

1 Created on Wed May 24 22:41:55 2023
2
3 @author: baillly
4 ***
5
6 import matplotlib.pyplot as plt
7 import numpy as np
8
9
10 def Mfz(f,L):
11     T = np.linspace(0,L,1000)
12     Y=[]
13     for k in range(len(T)):
14         T[k] = L/2;
15         Y.append ((f/2)*(L-k))
16     else:
17         Y.append (f/2)*(L-T[k])
18
19     return(Y)
20
21 plt.plot(T, Y)
22 plt.text(0.15,2.5)
23 plt.text(0.15, 17.5, 'Mfzmax =')
24 plt.xlabel('Position dans la poutre')
25 plt.ylabel('Moment fléchissant')
26 plt.title('Evolution du moment le long de la poutre')
27 plt.show()
28
29 print (Mfz(163,0.5))
30

```

Figure 1: Code python

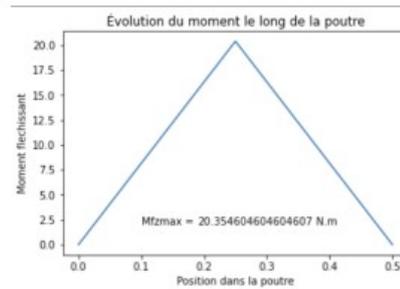


Figure 2: Courbe du moment fléchissant

Ainsi on peut calculer la containte maximum :

$$\sigma_{max} = \frac{20350 \times 15}{67500}$$

$$\Leftrightarrow \sigma_{max} = 4.5\text{ MPa}$$

ANNEXES

1.2 En compression

En compression, on peut également déterminer le tenseur de cohésion au sein de l'éprouvette.
Le tenseur de cohésion associé à la compression est de la forme :

$$\{T_{coh}\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ F_z & 0 \end{pmatrix}$$

Il y a uniquement des résultantes dans ce tenseur, ainsi le point d'application importe peu.

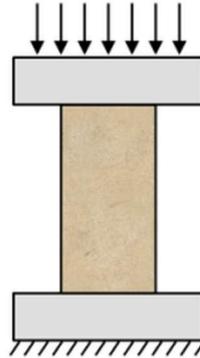
En compression, on a pour la contrainte, qui est la contrainte maximum :

$$\sigma = \frac{F_z}{S}$$

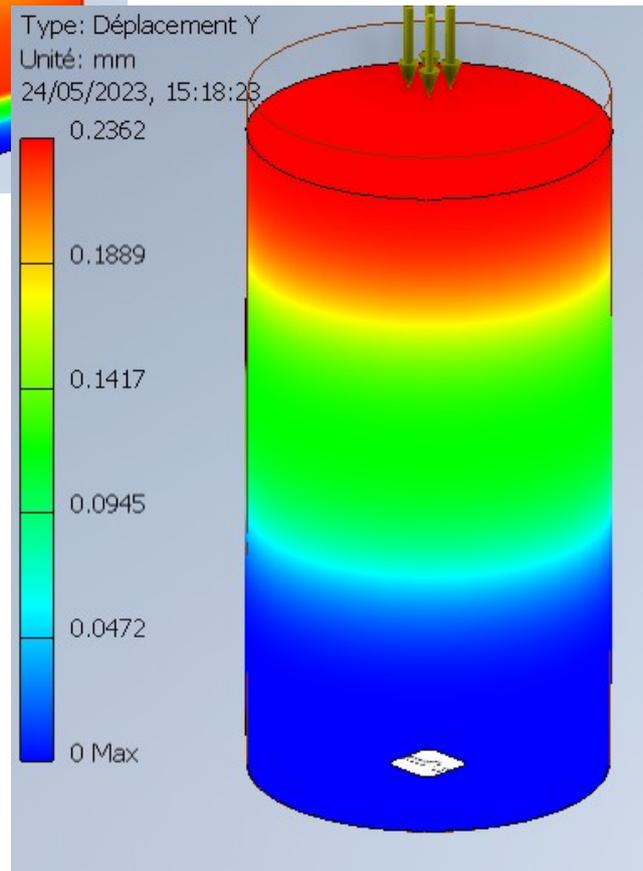
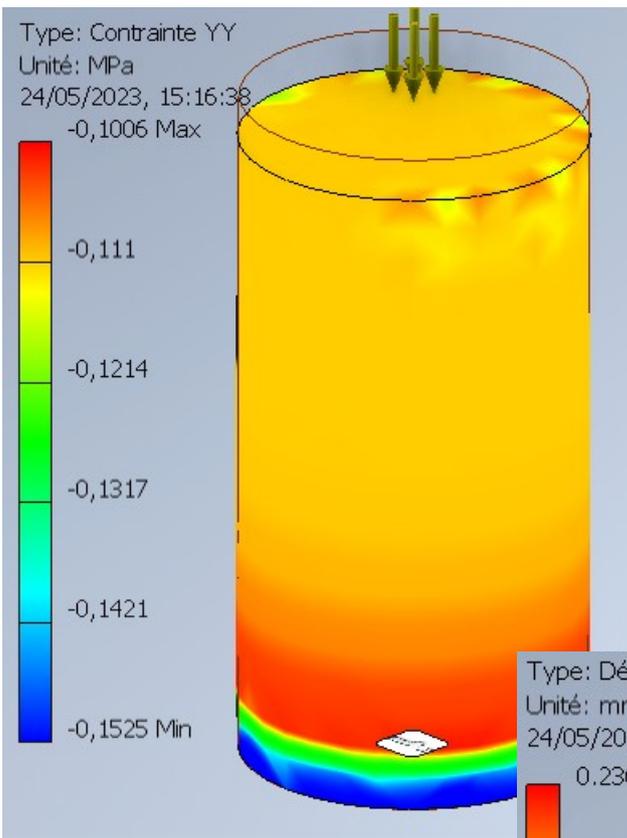
Et pour la déformation :

$$\epsilon(M) = \frac{F_z}{E.S} \Leftrightarrow \frac{y}{H}$$

avec E le module d'Young, S la section et H la hauteur de l'éprouvette



ANNEXES



ANNEXES