

Points du programme

- **S2-3.3 - Comportement mécanique des systèmes** : Résistance des matériaux : types de sollicitations simples, notion de contrainte et de déformation, limite élastique d'une sollicitation simple.
- **S2-3.4 - Structures porteuses** : Transfert de charges.

Séquence 4

Objectifs

- Analyser le comportement mécanique des structures porteuses et de leurs constituants.
- Identifier le type de contrainte et son intensité.
- Dimensionner une structure.

Pré requis

- Séquence 3 : Résistance des matériaux.

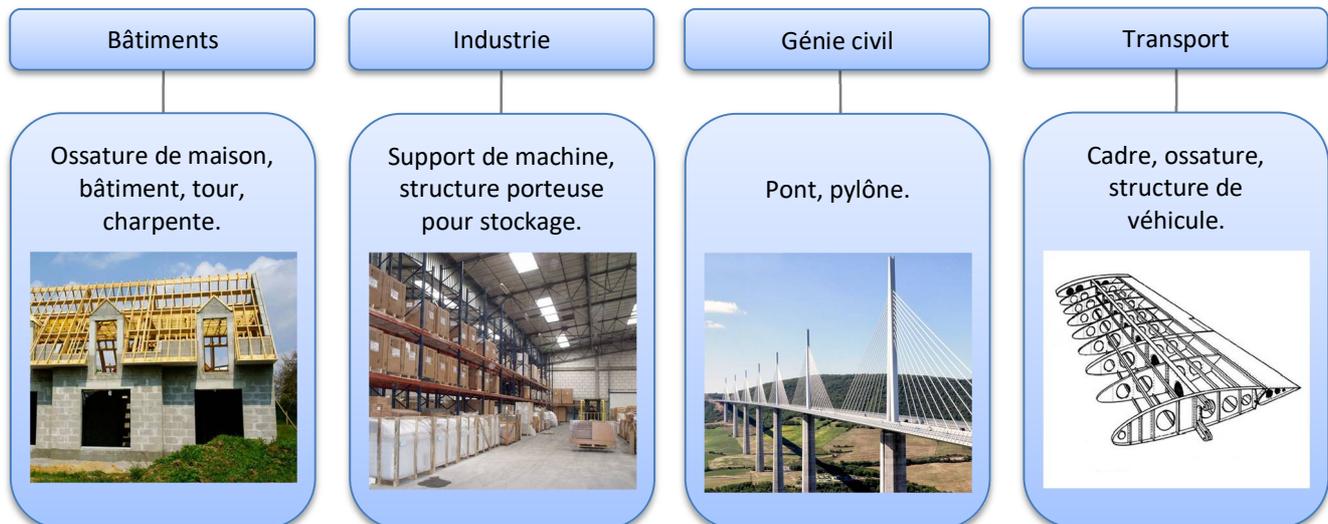
## 1 - Introduction

Les structures porteuses rencontrées dans le domaine de la construction sont principalement de deux types : les bâtiments (à usages individuels ou collectifs) et les ouvrages d'aménagement du territoire (ponts, barrages, ...). Le service rendu par ces réalisations n'est pas le même, cependant les principes de comportement de leurs structures sont similaires. Le comportement mécanique des structures porteuses dépend principalement de leur constitution au regard des actions mécaniques qu'elles subissent.

### 1.1 - Notion de structure porteuse

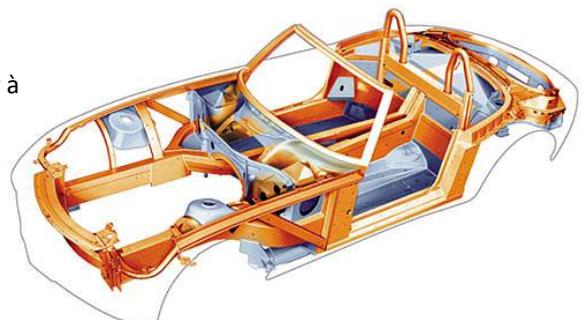
**La structure porteuse est l'ensemble des éléments structurels chargés de reprendre les sollicitations mécaniques subies par la construction.**

On identifie principalement quatre types :



Certaines structures doivent à tout prix conserver une rigidité et une stabilité dans toutes les situations. D'autres doivent se déformer, se plier en fonction du besoin.

- Dans l'automobile, la structure d'une voiture doit être suffisamment rigide pour assurer la tenue de route mais elle doit aussi se déformer en cas de choc pour absorber l'énergie.
- Une aile d'avion doit pouvoir se déformer, ne pas vibrer, résister à de fortes variations de températures et de pressions.
- La structure d'un pont doit supporter de fortes charges sur de grandes longueurs tout en résistant aux intempéries et surtout au vent.
- Les bâtiments doivent résister aux tremblements de terre. Ils doivent supporter des déplacements et absorber les vibrations.



## 1.2 - Pour les bâtiments

Les structures sont parfois apparentes, mais elles sont le plus souvent masquées derrière des enveloppes.



Structure constituée d'éléments masqués en béton.



Structure constituée d'éléments masqués en bois.



Structure acier masquée par une enveloppe métallique.

Les constructions reposent sur un terrain et sont souvent destinées à abriter des espaces fonctionnels. Leurs structures porteuses ont pour fonction d'encaisser et d'acheminer les charges mécaniques subies (poids, charges spécifiques comme le vent ou la neige) jusqu'aux points d'ancrage au sol (fondations).

On distingue la partie visible nommée **superstructure** de la partie invisible nommée **infrastructure** :

La superstructure est constituée de la toiture et des étages. Sa fonction mécanique est de résister aux actions de l'environnement (neige, vent) et de supporter le poids des espaces et leurs charges.

L'infrastructure est constituée de sous-sols, parkings et des fondations. Sa fonction mécanique est de retenir le terrain environnant et les pressions d'eaux souterraines et de transmettre les charges mécaniques au sol.

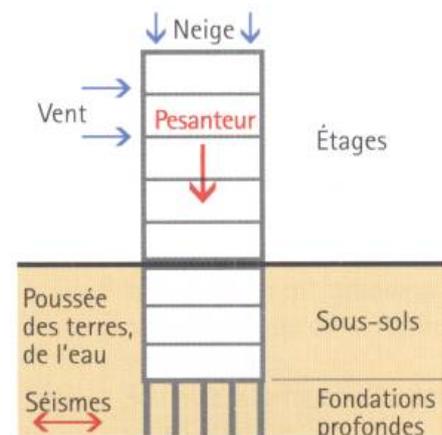
## 2 - Comportement des structures sous chargement

### 2.1 - Principales actions mécaniques sur les structures porteuses

Le poids propre des structures s'exerce de façon permanente et constitue souvent l'action mécanique principale. L'optimisation mécanique des structures nécessite de les alléger au maximum (ce qui améliore aussi souvent l'impact écologique d'une structure).

On peut cependant être amené à concevoir des structures plus lourdes pour atteindre d'autres objectifs fonctionnels (acoustique, thermique, sécurité au feu ou anti-intrusions...).

Direction des actions mécaniques	Fréquence	Source de l'action mécanique
Verticale	Permanente	Poids propre
	Variable	Charges d'exploitation (utilisateurs, stockages...), neige, sous-pressions des nappes phréatiques
Horizontale	Permanente	Poussée des terres
	Variable	Vent, séisme ...

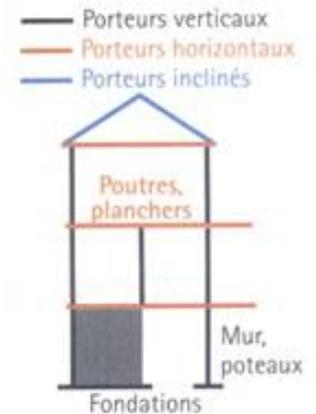


### 2.2 - Comportement sous chargement vertical

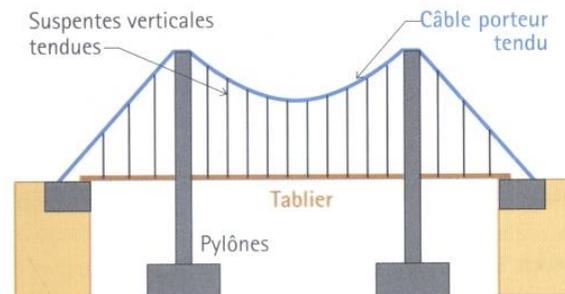
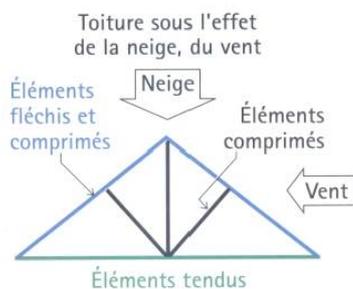
Les charges principales sont généralement dues à la gravité. On analyse donc le comportement de la structure sous ces charges verticales.

Elles transitent par plusieurs éléments porteurs dits « horizontaux » principalement fléchis, lesquels reportent ces charges sur des porteurs « verticaux » principalement comprimés.

Type de structure	Exemples	Fonctions	Sollicitation principale
<b>Porteurs horizontaux</b>	Planchers poutres charpentes	Supporter le poids des espaces fonctionnels. Transmettre ce poids aux porteurs verticaux inférieurs.	<b>Flexion</b>
<b>Porteurs verticaux</b>	Murs poteaux	Recevoir les charges verticales apportées par les porteurs horizontaux. Transmettre ces charges vers le sol de fondation.	<b>Compression</b>



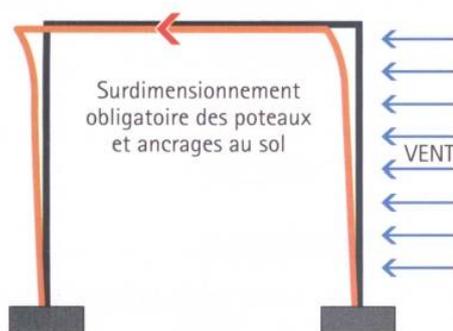
D'autres constituants structurels peuvent intervenir, comme des éléments inclinés (comprimés et fléchis comme dans les charpentes) ou des éléments tendus (câbles porteurs, haubans, suspentes verticales, ...)



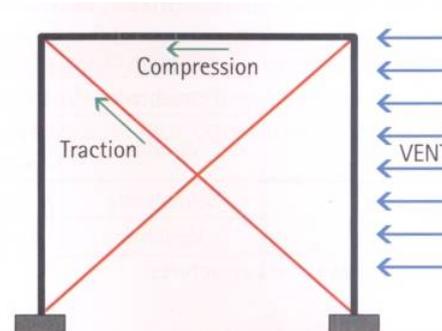
### 2.3 - Comportement sous chargement horizontal

On s'assure aussi que les structures ne se déforment pas sous chargement horizontal tel que l'action du vent ou des séismes. On peut les stabiliser par un raidissement des porteurs verticaux et des ancrages au sol au prix d'un surdimensionnement des constituants.

On optimise la structure en ajoutant des dispositifs de « **contreventement** » à l'aide de murs rigides créant des blocages ou des « croix de Saint-André ». Ces contreventements doivent être disposés dans les 3 plans de l'espace pour stabiliser la structure en 3D.



Stabilité assurée par la raideur des poteaux et des encastremets en pied de poteaux



Contreventement assurée par une croix de Saint-André

Documentation technique - Tableau IPE/IPER

Moments quadratiques des profilés usuels	profil	Dimensions				Section masse		Moments quadratiques				
		$h$ (mm)	$b$ (mm)	$a$ (mm)	$e$ (mm)	$S$ (cm <sup>2</sup> )	kg.m <sup>-1</sup>	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$I_y/V_y$ (cm <sup>3</sup> )	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	$I_z/V_z$ (cm <sup>3</sup> )	$V_z$ (mm)
	80	80	46	3,8	5,2	7,64	6,0	80,1	20,0	8,49	3,69	
	100	100	55	4,1	5,7	10,3	8,1	171	34,2	15,9	5,79	
	120	120	64	4,4	6,3	13,2	10,4	318	53,0	27,7	8,65	
	140	140	73	4,7	6,9	16,4	12,9	541	77,3	44,9	12,3	
	160	160	82	5,0	7,4	20,1	15,8	869	109	68,3	16,7	
	180	180	91	5,3	8,0	23,9	18,8	1 317	146	101,0	22,2	
	200	200	100	5,6	8,5	28,5	22,4	1 943	194	142,0	28,5	
	220	220	110	5,9	9,2	33,4	26,2	2 772	252	205,0	37,5	
	240	240	120	6,2	9,8	39,1	30,7	3 892	324	284,0	47,3	
	270	270	135	6,6	10,2	45,9	36,1	5 790	429	420,0	62,2	
	300	300	150	7,1	10,7	53,8	42,2	8 356	557	604,0	80,5	
	330	330	160	7,5	11,5	62,6	49,1	11 770	713	788,0	98,5	
	360	360	170	8,0	12,7	72,7	57,1	16 270	904	1 043,0	123,0	
	400	400	180	8,6	13,5	84,5	66,3	23 130	1160	1 318,0	146,0	
	450	450	190	9,4	14,6	98,8	77,6	33 740	1500	1 676,0	176,0	
	500	500	200	10,2	16,0	116,0	90,7	48 200	1930	2 142,0	214,0	
550	550	210	11,1	17,2	134,0	106,0	67 120	2440	2 667,0	254,0		
600	600	220	12,0	19,0	156,0	122,0	92 080	3070	3 387,0	308,0		
	140	142	72	5,3	7,8	18,3	14,4	611	86	48,7	13,5	
	160	162	81	5,6	8,5	22,6	17,7	988	122	75,6	18,7	
	180	183	89	6,4	9,5	28,0	22,0	1 554	170	112	25,2	
	200	204	98	6,6	10,5	33,9	26,6	2 363	232	166	33,8	
	220	225	108	6,7	11,8	40,2	31,6	3 474	309	249	46,0	
	240	245	118	7,5	12,3	47,5	37,3	4 823	394	339	57,4	
	270	276	133	7,7	13,1	55,9	43,9	7 312	530	516	77,6	
	300	306	147	8,5	13,7	65,9	51,7	10 499	686	728	99,1	
	330	336	158	9,2	14,5	76,8	60,3	14 688	874	958	121,0	
	360	366	168	9,9	16,0	89,6	70,3	20 288	1 109	1270	151,0	
	400	407	178	10,6	17,0	104,0	81,5	28 862	1 418	1606	180,0	
	450	458	188	11,3	18,6	121,0	95,2	42 395	1 851	2069	220,0	
500	508	198	12,6	20,0	142,0	111,0	59 932	2 360	2600	263,0		
550	560	210	14,0	22,2	170,0	137,7	86 579	3 092	3447	328,0		
600	608	218	14,0	23,0	185,0	144,4	110 307	3 628	3992	366,0		

## Applications

### Exercice 1 - Réservoir d'eau

Un réservoir cylindrique contenant  $90 \text{ m}^3$  d'eau et dont le poids propre est de  $10000 \text{ N}$  est soutenu par 4 colonnes en maçonnerie de diamètre  $d$ .

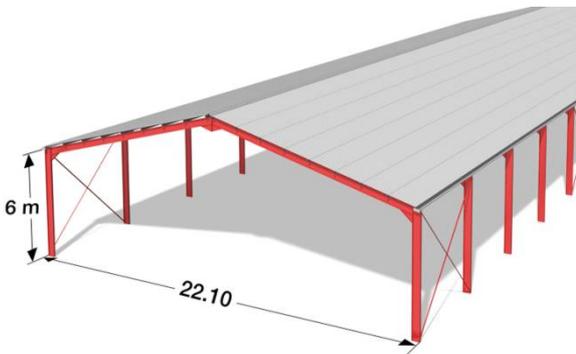
La résistance pratique de la maçonnerie est estimée à  $R_{pe} = 2 \text{ MPa}$ .

**Question 1.1** - Identifier la sollicitation auquel est soumis une colonne.

**Question 1.2** - Déterminer le diamètre des colonnes pour qu'elles soutiennent l'ensemble.



### Exercice 2 - Hangar agricole



Un hangar agricole est construit avec des poutres métalliques verticales porteuses IPE300. La hauteur de ces poutres est de  $6 \text{ m}$ . La charge supportée par les poutres (charpente + toiture) est estimée à  $65\,000 \text{ daN}$ . Le coefficient de sécurité est de  $10$ .

- $\rho_{\text{acier}} = 7600 \text{ kg/m}^3$ .
- Module d'élasticité  $E_{\text{IPE}} = 200\,000 \text{ MPa}$ .
- Limite élastique  $R_{e\text{IPE}} = 215 \text{ MPa}$ .

Le critère de dimensionnement prépondérant est la fissuration. On veut donc un  $\Delta I < 1 \text{ mm}$ .

**Question 2.1** - Calculer la charge maximale  $F_{\text{IPE}}$  que peut supporter une poutre pour satisfaire le critère de dimensionnement. Pour cela, calculer d'abord  $\epsilon$  pour  $\Delta I = 1 \text{ mm}$ . Puis calculer  $\sigma$  et en déduire  $F_{\text{IPE}}$ .

**Question 2.2** - Déterminer le nombre de poutre nécessaires pour supporter la charge donnée.

**Question 2.3** - Vérifier que la condition  $\sigma < R_{pe}$  est bien respectée. Apporter des modifications si nécessaire.

**Question 2.4** - Recalculer le  $\Delta I$  réel.

On souhaite maintenant comparer cette structure métallique avec une structure béton. Reprendre la même démarche avec des poteaux en béton. Afin de respecter l'équivalence des surfaces, faire les calculs avec des poteaux béton de sections  $S = 53,8 \text{ cm}^2$ .

- $\rho_{\text{béton}} = 2500 \text{ kg/m}^3$ .
- Module d'élasticité  $E_{\text{béton}} = 2\,000 \text{ Mpa}$ .
- Limite élastique  $R_{e\text{béton}} = 25 \text{ Mpa}$ .

**Question 2.5** - Calculer le rayon en cm du poteau en béton de section  $S$  donnée précédemment.

**Question 2.6** - Calculer la charge maximale  $F_{\text{poteaux}}$  que peut supporter une poutre pour satisfaire le critère de dimensionnement  $\Delta I < 1 \text{ mm}$ .

**Question 2.7** - Déterminer le nombre de poteaux nécessaires pour supporter la charge donnée.

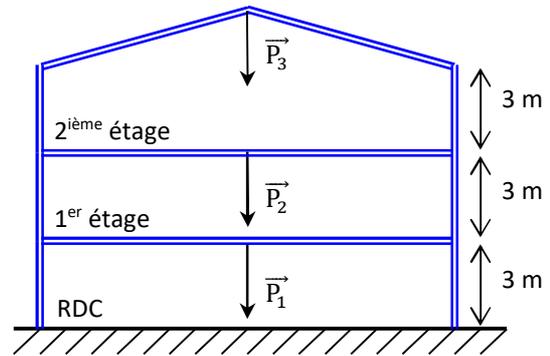
**Question 2.8** - Déterminer quel devrait être le diamètre d'un poteau béton pour réaliser le bâtiment avec le même nombre de poutres métalliques que calculé à la **Question 2.3**.

**Exercice 3 - Structure métallique**

**Etude de la structure verticale**

Un bâtiment de deux étages est construit avec des poutres métalliques porteuses **IPER**. L'implantation est de **8** poutres porteuses par étage. La structure du 2<sup>ème</sup> étage supporte une charge  $\vec{P}_3$  de **50 000 daN** correspondant au poids de la toiture. La structure du 1<sup>er</sup> étage supporte une charge  $\vec{P}_2$  de **150 000 daN** et le RDC une charge  $\vec{P}_1$  de **250 000 daN**.

La limite élastique des poutres est  $Re_{IPER} = 215 \text{ MPa}$  et le coefficient de sécurité est  $cs = 10$ .



**Hypothèse** - le poids des poutres porteuses est négligé devant les autres charges.

**Question 3.1** - En tenant compte du coefficient de sécurité, calculer  $\sigma_{max}$ .

**Question 3.2** - Calculer la section  $S$  minimale des poutres du deuxième étage. Choisir la dimension des poutres IPER.

**Question 3.3** - Calculer la section  $S$  minimale des poutres du premier étage. Choisir la dimension des poutres IPER.

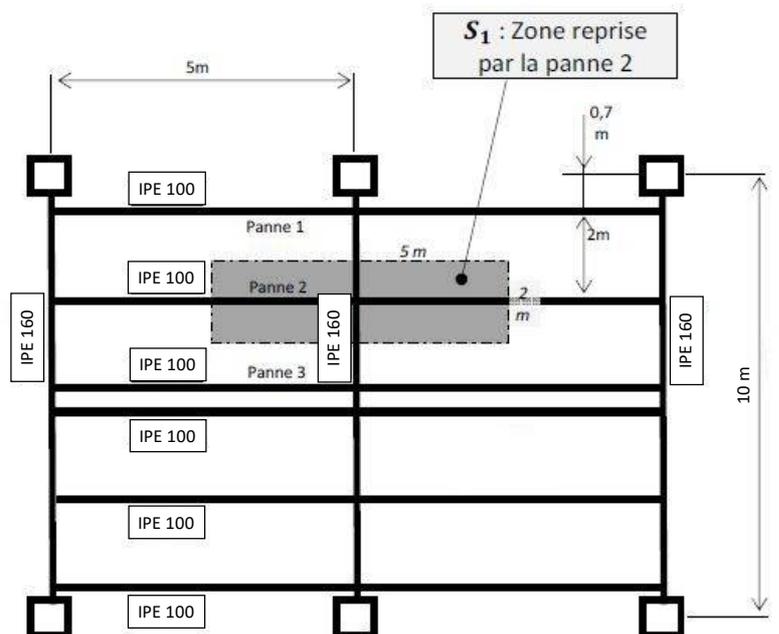
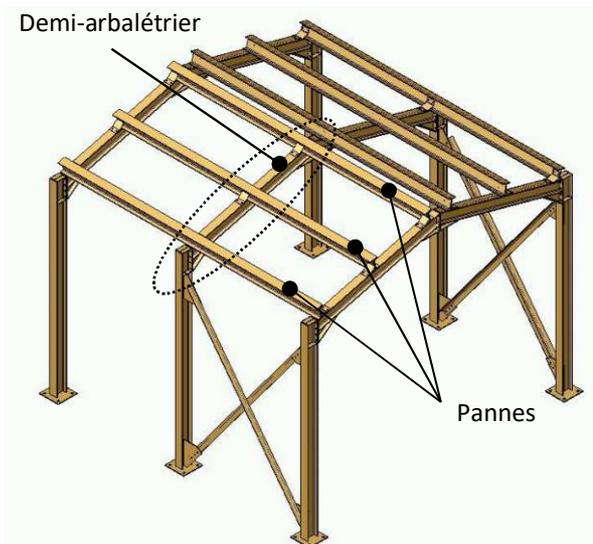
**Question 3.4** - Calculer la section  $S$  minimale des poutres du RDC. Choisir la dimension des poutres IPER.

**Question 3.5** - Calculer les poids des poutres du 2<sup>ème</sup> étage et du 1<sup>er</sup> étage. L'hypothèse est-elle acceptable ?

**Etude de la structure horizontale**

La structure supportant la toiture est composée de « demi-arbalétriers » réalisés en **IPE 160**. Ces demi-arbalétriers supportent 3 « pannes » réalisés en **IPE 100**.

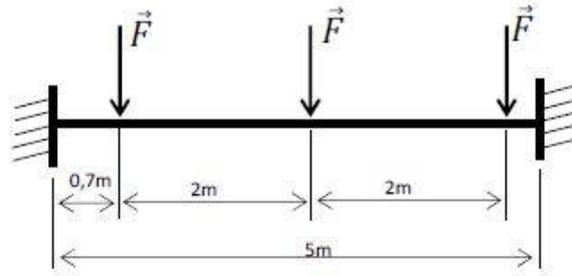
**Objectif** - On veut vérifier la résistance et la déformation du demi-arbalétrier central.



Données

- Les pannes supportent la couverture et le chargement climatique (celui étudié sera le poids de la neige).
- La zone « supportée » par la panne 2 est  $S_1$  et a pour dimensions : 5 m x 2 m.
- Chargement dû à la neige  $qn = 1,5 \text{ kN/m}^2$ .
- Poids de la couverture :  $qt = 500 \text{ N/m}^2$ .
- $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Le demi-arbalétrier étudié est modélisé par une poutre horizontale. La force  $\vec{F}$  modélise l'action des pannes 1, 2 et 3.



**Question 3.6** - Calculer la surface  $S_1$  en  $\text{m}^2$ .

**Question 3.7** - Calculer, pour la surface  $S_1$ , le poids de la neige + couverture, en N, qu'on nommera  $\vec{F}_C$ .

**Question 3.8** - A l'aide de la documentation technique sur les poutres IPE, calculer le poids  $\vec{F}_p$  de la panne pour la surface  $S_1$ .

**Question 3.9** - Dédurre des deux questions précédentes la valeur de l'action  $\vec{F}$ .

Les charges sur le demi-arbalétrier ont été simulées sur un logiciel de RDM dont les résultats sont présentés page suivante.

**Question 3.10** - A partir des résultats de la simulation, identifier le point de la poutre avec son abscisse  $x$  (en m) où le moment fléchissant est maximum (en valeur absolue).

**Question 3.11** - Relever la valeur du moment fléchissant maxi,  $Mf_{\text{maxi}}$ , en N.m.

**Question 3.12** - Sachant que la contrainte  $\sigma$  en flexion se calcule par la relation donnée ci-dessous, déterminer la contrainte maximale que subit la poutre.

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{Mf_{\text{max}}}{I_y/V_y}$$

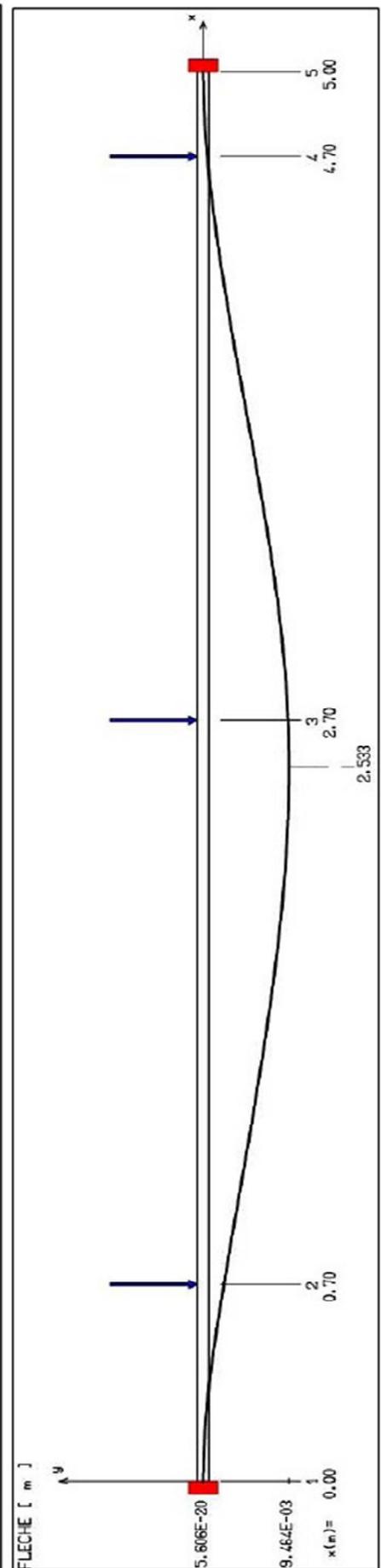
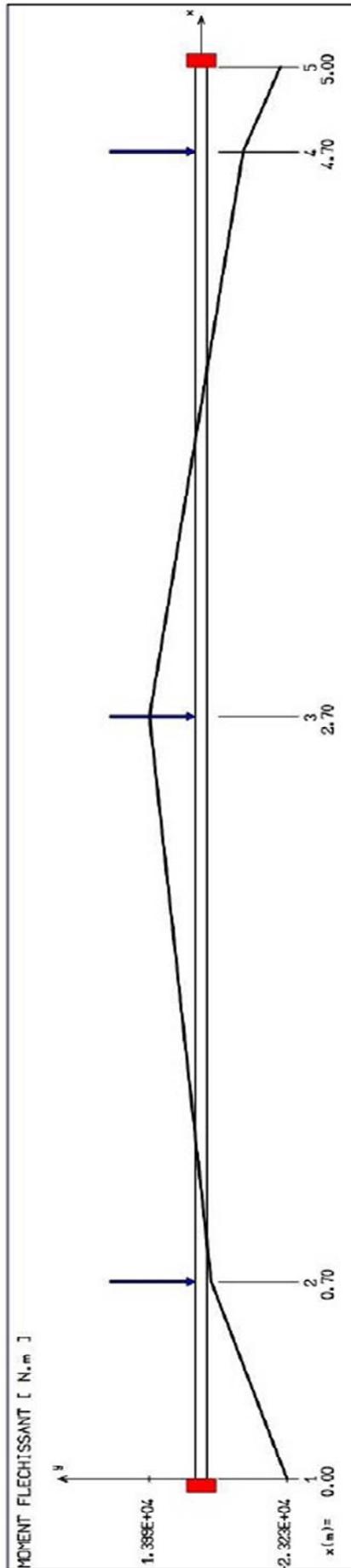
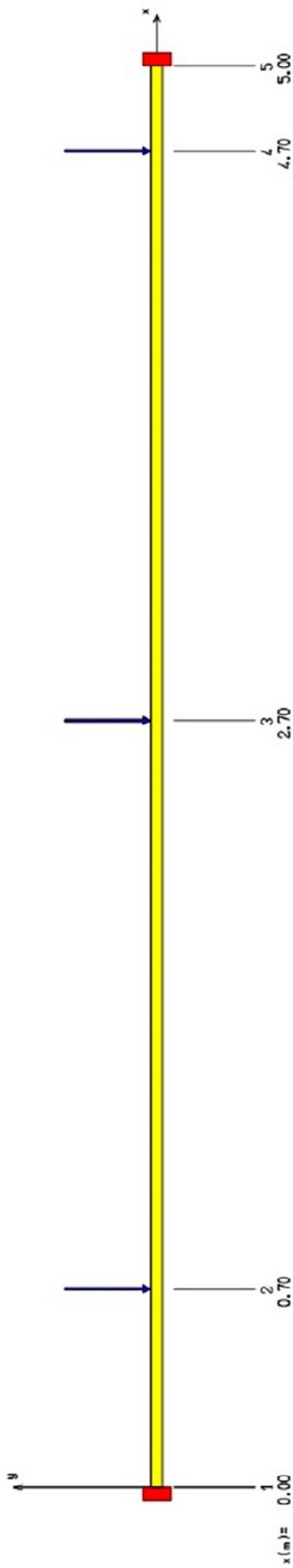
**Question 3.13** - Sachant que la poutre est en acier dont la limite élastique est de 450 MPa, déterminer le coefficient de sécurité.

**Question 3.14** - A partir des résultats de la simulation, relever la déformation maximale, appelée flèche.

**Question 3.15** - La norme imposant une déformation maximum est-elle respectée ?

*Normes sur les flèches maximales des poutres d'ouvrages métalliques*

Élément d'ouvrage	$\delta_{\text{max}}$
Toitures en général (accessible uniquement pour l'entretien)	L/200
Toitures normalement accessibles	L/250
Planchers en général (sans équipement particulier)	L/250
Planchers et toitures supportant des matériaux fragiles (cloisons en plâtre)	L/250
Planchers supportant des poteaux	L/400



## Sujet de bac

### Session 2014 - Gare de dépôt des trolleybus

#### Mise en situation

La plupart des grandes villes mettent en place un réseau de transports en commun pour réduire le trafic automobile et pour garantir la mobilité des personnes n'ayant pas accès aux moyens de transport individuels.

Ces réseaux sont le plus souvent basés sur l'utilisation d'autobus à moteur diesel qui génèrent également des nuisances environnementales. Certaines villes ont fait le choix de véhicules de transport en commun alimentés par l'énergie électrique, le plus courant étant le tramway.

L'agglomération de Limoges, quant à elle, est équipée depuis de nombreuses années de trolleybus. Il s'agit de véhicules équipés de pneumatiques, roulant sur les mêmes chaussées que les autobus, mais alimentés électriquement par des lignes aériennes.



#### Etude d'un bâtiment d'entreposage

La gare de dépôt des trolleybus reçoit sur sa toiture le parking du personnel. Ce bâtiment doit donc résister à la charge des véhicules en stationnement et aux charges exceptionnelles dues à la neige.

Le bâtiment est composé d'une dalle en béton armé supportée par des poutres elles-mêmes soutenues par des poteaux, comme on peut le voir sur le modèle numérique simplifié suivant.

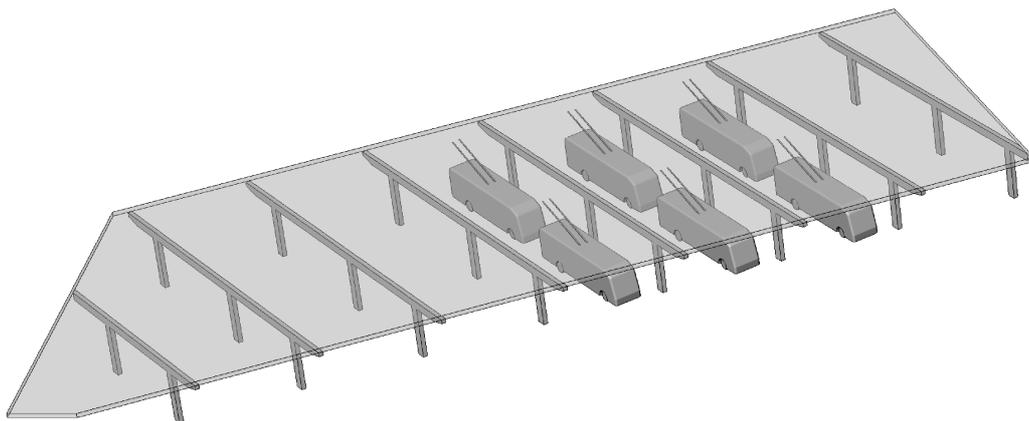


Figure 6 : Modèle numérique simplifié du bâtiment de dépôt des trolleybus

Le bâtiment devra supporter en toiture les charges liées à son exploitation (stationnement des véhicules) et les charges exceptionnelles (neige). Les valeurs normalisées de ces charges sont données dans les tableaux suivants.

Le but de notre étude est de déterminer les charges exercées par les poteaux sur les fondations, afin de vérifier si les fondations sont suffisantes.

Utilisation du local	Charge verticale (kN.m <sup>-2</sup> )
Habitation courante	1.5
Balcon	3.5
Grenier	2.5
Bureaux	2.5
Commerces et Grandes surfaces	5
Parking véhicules légers	2.5
Salle de concert	5
Aire de stockage industriel	7.5

Tableau 1 : Charges normalisées d'exploitation

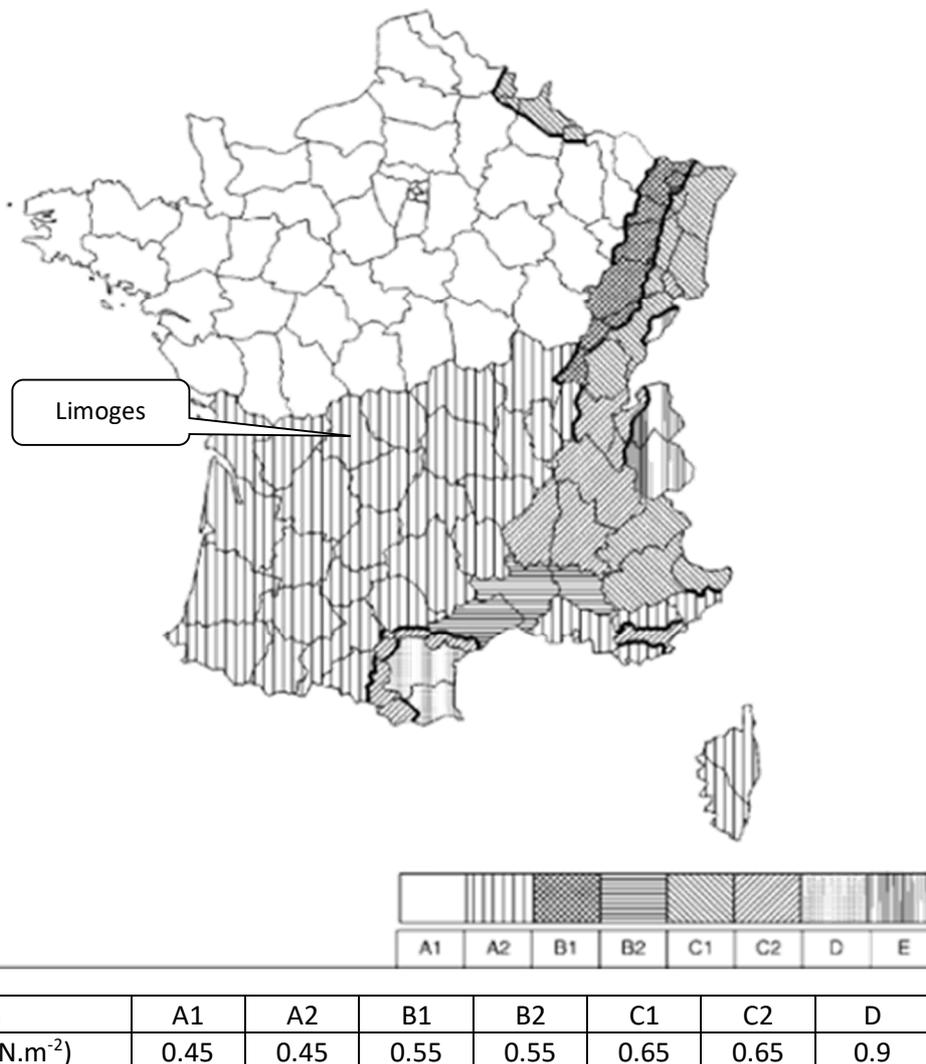


Figure 1 : zonage pour les charges exceptionnelles de neige

Question 21 | **Déterminer** la charge surfacique maximale  $q_{ne}$  (neige et exploitation) en kN.m<sup>-2</sup> que devra supporter la toiture du bâtiment.

Le dessin suivant montre la zone d'influence de la dalle en béton armé sur un ensemble poteaux-poutre reposant sur des fondations standards.

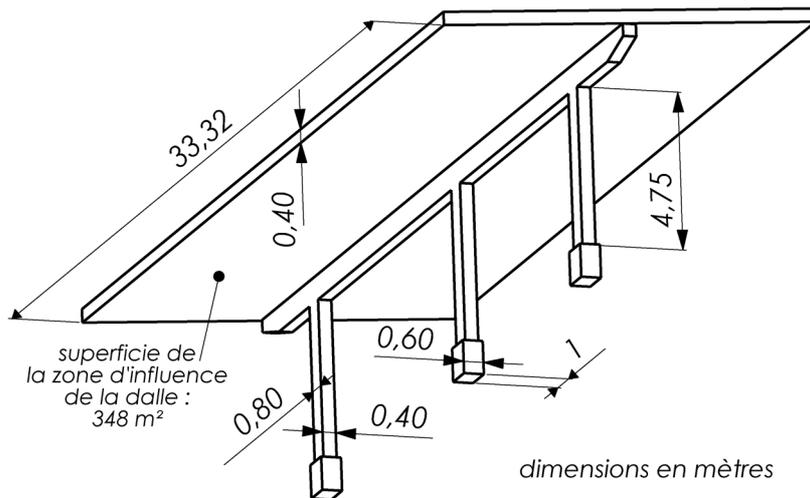


Figure 8 : zone d'influence de la dalle sur un ensemble poteaux-poutre

Question 22 | **Déterminer** la charge totale  $Q_{ne}$  (neige + exploitation) en kN exercée sur l'ensemble de la zone d'influence.

Matériaux	Poids volumique ( $\text{kN.m}^{-3}$ )
Béton léger	9 - 20
Béton armé	25
Mortier de plâtre ou de chaux	12 - 18
Acier	77
Aluminium	27
Bois	4 - 11

Tableau 2 : Poids volumique des principaux matériaux de construction

Question 23 | A partir de sa superficie et de son épaisseur, **déterminer** le volume  $V$  de la portion de dalle constituant la zone d'influence. **En déduire** alors le poids  $P_d$  en kN de cette portion de dalle à l'aide du poids volumique du matériau.

Question 24 | **En déduire** la charge totale  $Q_T$  (dalle + exploitation + neige) en kN que la dalle exerce sur un ensemble poteau-poutre.

Question 25 | **Identifier** les sollicitations (traction, compression, flexion) auxquelles sont soumis la poutre puis les poteaux.

Le poids linéique des poteaux et des poutres est de  $8 \text{ kN.m}^{-1}$ .

Question 26 | **Déterminer** approximativement le poids propre  $P_p$  en kN d'un ensemble poteaux-poutre. On négligera les chanfreins aux extrémités de la poutre.

On supposera pour la suite de l'étude que les charges se répartissent équitablement sur les 3 poteaux supportant la poutre. On négligera le poids propre des fondations, des poteaux et de la poutre. On prendra la valeur  $P_p = 4500 \text{ kN}$  pour la suite.

Question 27 | **Déterminer** la charge  $Q_P$  supportée par un seul poteau et **en déduire** la charge surfacique  $q_F$  (en  $\text{kN.m}^{-2}$ ) qui s'exerce sous les fondations.

Le bâtiment repose sur un sol argileux qui résiste à une pression maximale de  $2 \text{ MPa}$  ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$ ).

Question 28 | **Conclure** sur la nécessité ou non de faire reposer la structure sur des dés de fondation dont la surface au sol serait plus grande que les fondations standard. **Déterminer** alors la surface minimale  $S$  que devrait avoir chacune de ces fondations avec un coefficient de sécurité de 2.

## Sujet de bac

### Session 2016 - Centrale biomasse

#### Mise en situation

Depuis 2013, la centrale biomasse étudiée est devenue la principale unité de production d'électricité et de chauffage urbain de la ville de Metz. Elle pourvoit aux besoins en électricité de 10 000 ménages et alimente en chauffage l'équivalent de 20 000 logements

La cogénération d'électricité et de chauffage urbain permet d'obtenir un rendement supérieur à 80 % pour cette centrale (35 % précédemment avec son ancienne voisine au charbon). La biomasse présente désormais un intérêt économique dans la mesure où son coût est compétitif et qu'elle subit peu la spéculation comme c'est le cas pour les énergies fossiles.



L'usine d'électricité de Metz (UEM) s'est lancée dans ce choix de modernisation après avoir constaté qu'elle pouvait ici valoriser jusqu'à 100 000 tonnes de bois local par an :

- 57 % de plaquettes issues de l'exploitation forestière dans un rayon de 100km ;
- 31 % de bois de récupération « non pollué » issu des centres de tri de déchets ;
- 12 % d'écorces et de résidus de scieries.

Dans cette partie, nous nous intéressons à la structure porteuse du groupe turbo-alternateur.

Celui-ci permet la transformation en électricité à partir des vapeurs haute-pression émanant de la chaudière biomasse. Il est situé dans le bâtiment GTA (groupe turbine alternateur), localisé près de la chaudière.

Il est porté par une structure en béton armé, désolidarisée du reste de la structure du bâtiment et composée (voir DT10) :

- d'une épaisse dalle en béton armé (BA), appelée table GTA ;
- de 6 poteaux en béton armé ;
- de 6 boîtes à ressorts intercalées entre la table et la tête des poteaux.

Le GTA génère des vibrations qui ont des conséquences sur sa structure porteuse. Identifions les solutions mises en œuvre pour absorber ces vibrations.

Question 2.1

DT10

**Justifier** le choix d'une structure lourde en béton armé pour la table GTA et de boîtes à ressorts, en vous appuyant sur le DT10 (résonance).

#### Etude de la structure porteuse du GTA sous charges verticales

On admettra que les poids de la turbine et de l'alternateur sont uniformément répartis sur les zones de dalle sur lesquelles ils s'appuient.

Question 2.2

DR1

**Tracer, hachurer et coter**, sur la vue en plan du DR1, les zones de dalle reprises par les poteaux P1 (tracé en bleu) et P2 (tracé en vert).

La zone reprise par le poteau P3 est donnée.

Les charges surfaciques des deux zones de dalles sont les suivantes :

- zone turbine :  $q_{turb} = 48,6 \text{ kN.m}^{-2}$  ;
- zone alternateur :  $q_{alt} = 77,3 \text{ kN.m}^{-2}$ .

On a simulé le comportement d'une moitié de dalle sous charges statiques avec un logiciel de RDM (résistance des matériaux). Les nœuds N1, N2 et N3 correspondent aux poteaux P1, P2, P3. Les barres B1 et B2

correspondent à la moitié longitudinale de la table GTA. Une partie des résultats de la simulation est fournie dans le DT11.

**Remarque :** le modèle pris pour faire cette simulation est un modèle simplifié.

Question 2.3

DT11 et DR3

À partir des charges surfaciques  $q_{turb}$  et  $q_{alt}$  données ci-dessus, **justifier** par le calcul, la valeur des charges linéiques uniformément réparties utilisées pour faire la simulation (voir graphique DT11 : « chargement de la structure » et DR3).

En vous aidant du diagramme des efforts tranchants, **donner** la valeur des actions verticales d'appuis sur les poteaux P1, P2 et P3.

### Étude de la structure porteuse du GTA sous charges totales

Pour tenir compte de l'effet dynamique (ou vibratoire) du groupe turbo-alternateur, le prescripteur demande de tenir compte d'un effort horizontal, en tête de poteau, égal à 15 % de l'effort vertical.

Nous allons nous intéresser au poteau P2 (le plus chargé) et à sa fondation (voir schéma sur le DT11).

Vous considérerez que les charges en tête de poteau sont les suivantes :

- verticalement :  $V_{P2} = 910$  kN ;
- horizontalement :  $H_{P2} = 136$  kN (=15 % de  $V_{P2}$ ).

Question 2.4

DT11

**Déterminer** le poids propre du poteau P2, sachant que le poids volumique du béton armé est de  $25$  kN·m<sup>-3</sup>.

Nous allons maintenant nous intéresser aux charges en pied de poteau (voir schéma sur DT11). Comme aucun effort horizontal n'est appliqué sur le poteau en dehors de  $H_{P2}$ , on a :

$$H_{fond} = H_{P2}$$

Question 2.5

DT11

**Donner** les valeurs non pondérées des efforts  $V_{fond}$  et  $H_{fond}$  à l'encastrement du poteau dans la fondation.

**Montrer** que le moment d'encastrement du poteau dans la fondation a pour module :  $M_{fond} = 625,6$  kN·m.

D'après le rapport de sol, les fondations sous poteaux peuvent être des semelles superficielles. Le terrain dans lequel elles sont ancrées à une portance (ou résistance admissible) de  $0,15$  MPa. On admettra que la charge verticale totale exercée sur la semelle de fondation ( $V_{fond}$  + poids propre de la semelle) est de  $1\,130$  kN (valeur pondérée).

Question 2.6

**Montrer** qu'une semelle de surface  $3$  m x  $3$  m est suffisante pour reprendre les charges verticales.

Dans le DT11, on vous propose deux schémas des contraintes de compression exercées sur le sol, lorsque l'on tient compte de l'effort horizontal et du moment fléchissant, l'un pour une semelle de  $3$  m par  $3$  m, l'autre pour une semelle de  $4$  m par  $4$  m.

Question 2.7

DT11

**Choisir** parmi les 2 solutions proposées, la semelle qui répond au critère de portance.

Question 2.8

En vous servant de vos réponses précédentes, **rédigier** une conclusion argumentée (5 lignes) résumant les conséquences de la présence de vibrations sur la structure porteuse du GTA.

**DT10 - Bâtiment GTA.**

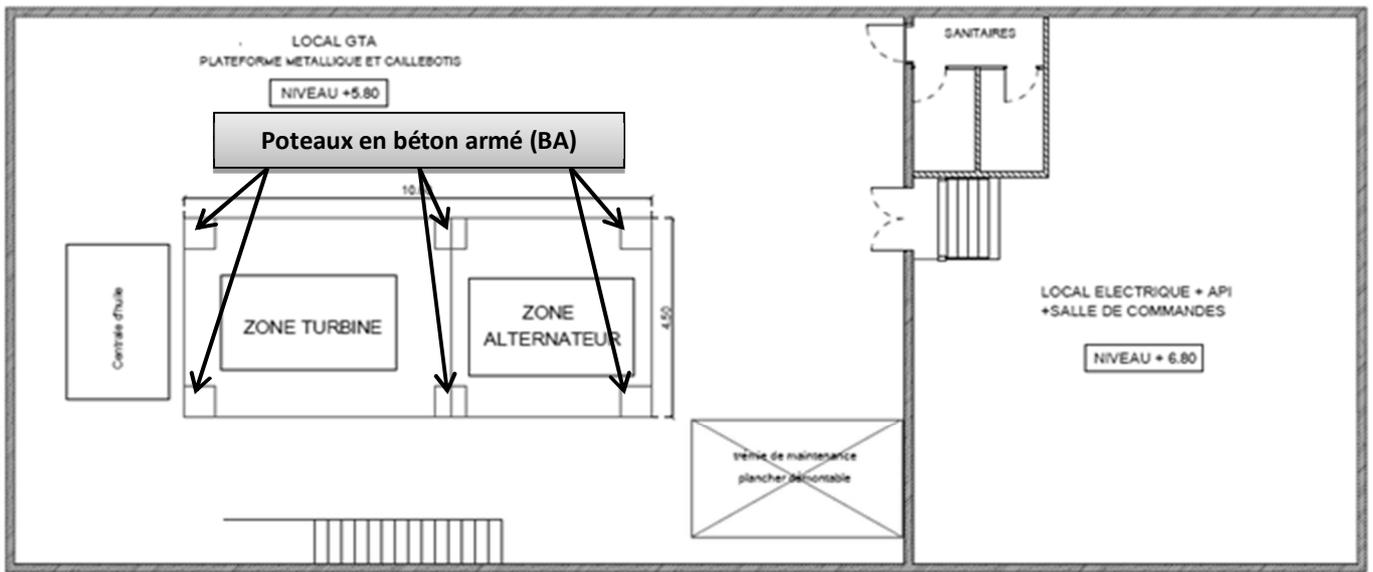
**Phénomène de résonance**

La **résonance** est un phénomène d'augmentation de l'amplitude d'oscillation d'un système, lorsque celui-ci est excité au voisinage de l'une de ses fréquences propres.

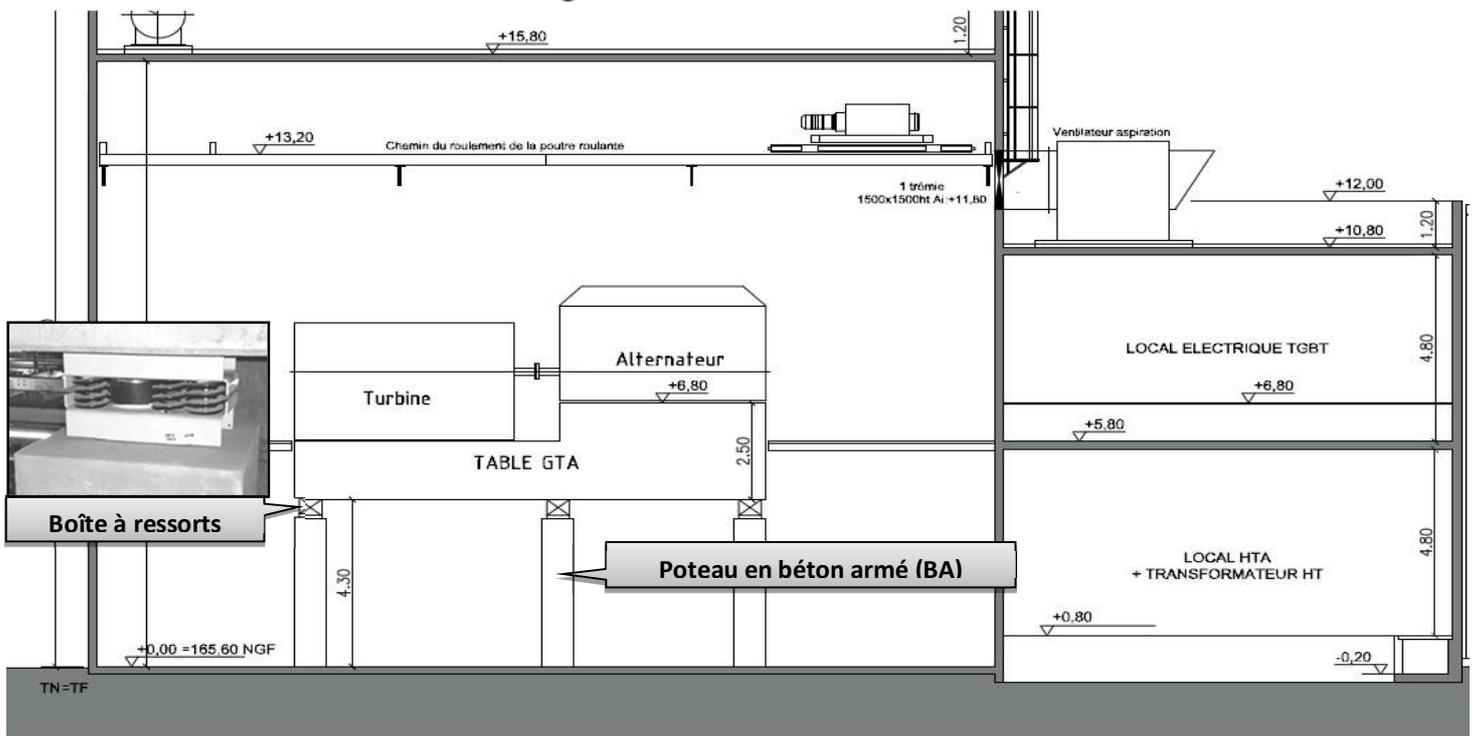
Dans certains cas, l'augmentation de l'amplitude de la vibration du système peut alors provoquer sa destruction. Pour éviter cela, on peut :

- soit décaler la fréquence d'excitation en modifiant la source de vibration ;
- soit augmenter la masse de l'élément soumis aux vibrations ;
- soit utiliser un absorbeur de vibration dynamique ou étouffeur de vibration ;
- soit isoler la structure de la source de vibration à l'aide d'un élastomère.

**Plan du bâtiment GTA**



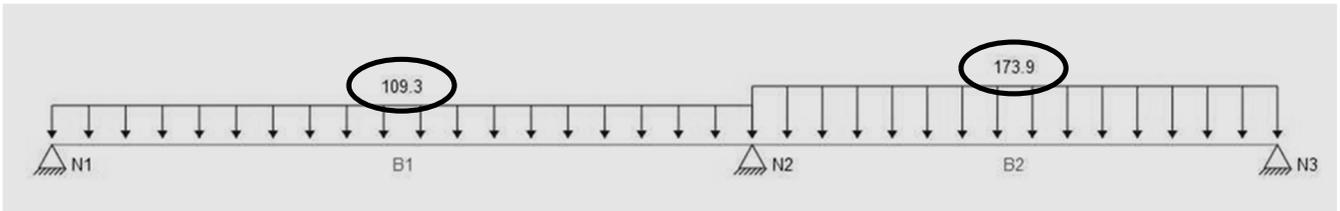
1er étage - Niveau + 5.80



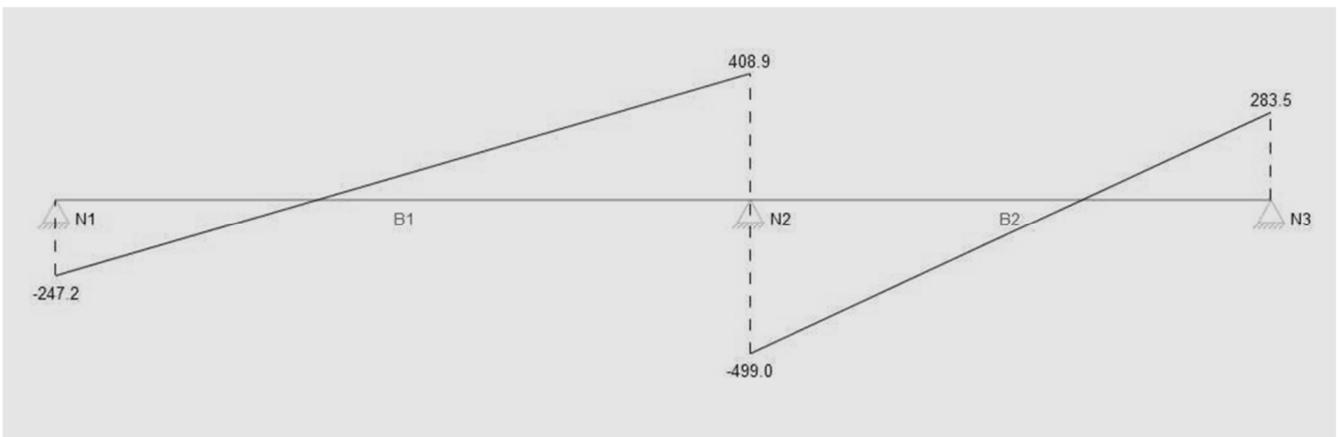
**COUPE**

**DT11 - Simulation en RDM de la ½ dalle GTA**

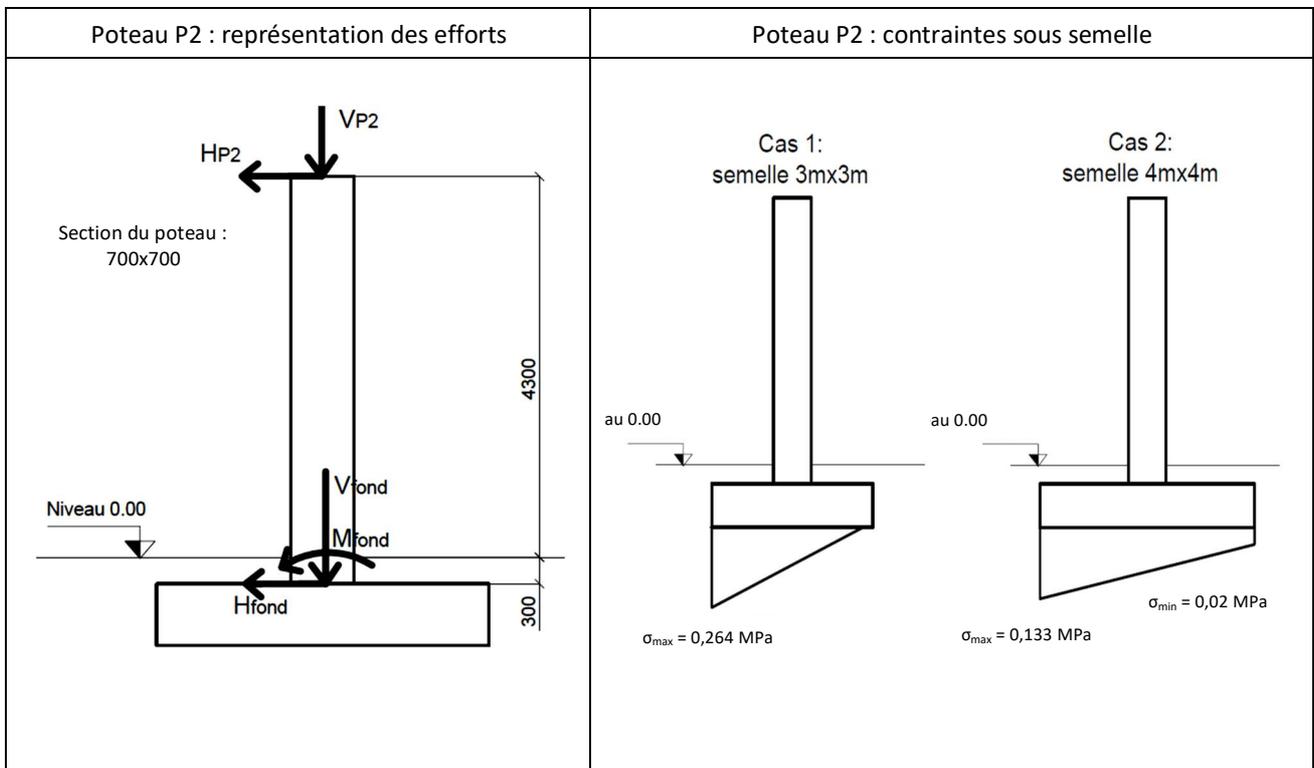
**Chargement de la structure (en  $kN.m^{-1}$ ) :**



**Diagramme des efforts tranchants en kN :**

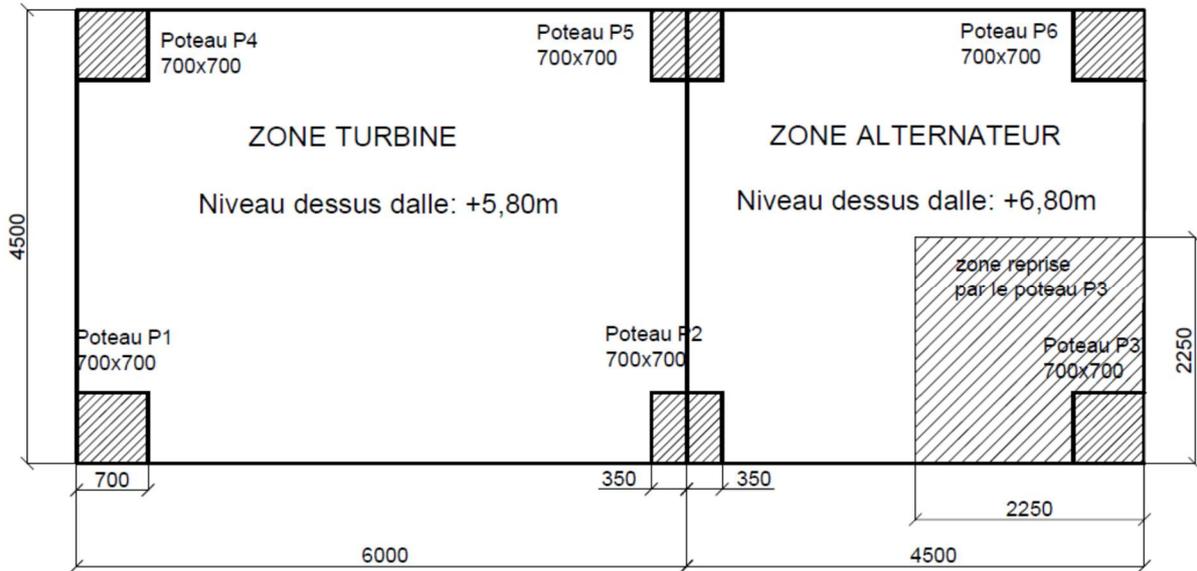


**Poteau P2 et contraintes sous la semelle du poteau P2 :**



DR1 - Document réponse 1

VUE EN PLAN DE LA DALLE SUPPORTANT LE TURBO-ALTERNATEUR :



## Sujet de bac

### Session 2018 - Bâtiment éco-durable

#### Mise en situation

La Communauté de communes des Pays de Brocéliande en Bretagne souhaite rénover l'office de tourisme de Paimpont et créer un musée ouvert toute l'année, dédié à la forêt et à son imaginaire : « la porte des secrets ».

Le choix de la commune s'est porté sur un ensemble de bâtiments anciens en U et sur deux niveaux (rez-de-chaussée et étage).

L'office de tourisme est situé au rez-de-chaussée. Le musée occupe le reste de l'ouvrage et se décline en un accueil, une boutique, 5 zones de scénographie (mise en scène avec sons, vidéos, effets spéciaux) et un espace réservé à l'administration du musée.

Les visiteurs achètent leurs billets à l'accueil puis par groupes de 20 personnes maximum, sont guidés de scénographie en scénographie. Les groupes se succèdent sur chaque scène toutes les 20 minutes.



#### Étude des planchers hauts du rez-de-chaussée du musée

Le maître d'ouvrage souhaite conserver le cachet originel de la bâtisse. Les murs en maçonnerie de schiste devront être conservés, ainsi que, lorsque ce sera possible, les poutres maîtresses en chêne massif du plancher haut du rez-de-chaussée.

Vous allez étudier différentes solutions technologiques pour le plancher haut et en déduire la solution la mieux adaptée..

Question 2.19

Voir DT13, DT14

**Relever** sur le DT14 la valeur de la charge d'exploitation surfacique en  $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$  à appliquer au plancher haut du rez-de-chaussée.

**Relever**, sur le DT13, la charge réellement prise en compte par le Bureau d'Etudes Techniques pour dimensionner le plancher haut.

Les **comparer** et **indiquer** la conséquence sur la gestion des flux de visiteurs.

Pour la zone située au-dessus de la boutique et destinée à l'espace d'interprétation « arbre d'or », deux compositions de plancher sont envisagées sur le DT13 :

- cas 1, un plancher mixte bois/béton,
- cas 2, un plancher bois classique.

Dans les deux cas, pour absorber les bruits aériens, le plancher (solives, panneaux OSB, résilient, revêtement souple) doit intégrer une dalle béton de 68 mm d'épaisseur.

Le plancher repose sur des poutres. Les poutres d'origine en chêne en bon état seront partiellement conservées.

Question 2.20

DR7

Sur la figure du DR7, **tracer** la flèche « f » maximum de la poutre sous chargement.

Question 2.21

Voir DT13

DR8

Pour le plancher mixte, à partir des éléments du DT13, **calculer** les flèches totales admissibles et les flèches nuisibles pour les cloisons et les **inscrire** sur le DR8.

**Indiquer** l'état des deux critères de flèche pour le plancher mixte (valide ou non valide).

**Comparer** les critères pour les deux types de plancher sur le DR8 et **conclure** sur le choix du plancher sur le DR8.

Question 2.22

Voir DT13

**Comparer** la constitution des deux planchers et **expliquer** l'origine d'une telle différence de comportement.

*Dans la zone de plancher située au-dessus de l'accueil du public et supportant l'administration du musée, les poutres sont très abîmées. Comme décrit sur le DT16, un autre type de structure de plancher doit être envisagé pour le même encombrement (hauteur totale 60 cm). La composition du plancher est identique : revêtement souple, dalle béton, résiliant, OSB. Les solives et le système de sous-tension constituent l'ossature porteuse.*

*Les ridoirs (3) sont mis en tension après réalisation du plancher complet (plancher béton, solives bois, et système de sous-tension). En tendant les ridoirs (3), le plancher prend une contre-flèche. Cette contre-flèche est prévue pour s'opposer à la flèche sous charge, de façon à ce que le plancher ne subisse aucune flèche finale.*

Question 2.23

Voir DT15, DT16

**Proposer** un type de liaison entre un ridoir  $\varnothing 25$  mm (repéré 3) et l'axe à double platine (4).

En conséquence, **isoler** le ridoir et **lister** les forces exercées sur le ridoir (le poids propre du ridoir est négligé).

**Dessiner** le ridoir sous forme d'un segment horizontal et **représenter** l'allure de ces forces.

**Citer** les types de sollicitations supportées par le ridoir..

Question 2.24

DR9

Sur le DR9, **dégager** l'intérêt de choisir une structure en treillis pour répondre aux exigences fixées.

**DT13 - Notes de calcul poutre chêne – Zone « arbre d'or » (partie 1)**

	Plancher mixte	Plancher mixte
Géométrie générale	Portée efficace du plancher : $L = 5,90$ m Espacement entre poutres côté gauche : $e_g = 2,60$ m Espacement entre poutres côté droit : $e_d = 2,60$ m	
Géométrie du plancher		
Caractéristiques des matériaux	Résistance du béton à la compression : $f_{ck} = 25$ MPa Charge admise / connecteur : $P_{Rd} = 31,57$ kN Classe du bois : chêne D30 Humidité bois : $H = 15$ % Masse volumique bois : $\rho = 640$ kg.m <sup>-3</sup>	Classe du bois : chêne D30 Humidité bois : $H = 15$ % Masse volumique bois : $\rho = 640$ kg.m <sup>-3</sup>
Charges permanentes	$g_{\text{dalle béton}} = 5\,757$ N.m <sup>-1</sup> $g_{\text{solives+OSB}} = 855$ N.m <sup>-1</sup> $g_{\text{cloisons}} = 1\,425$ N.m <sup>-1</sup> $g_{\text{faux-plafond}} = 712$ N.m <sup>-1</sup> $g_{\text{poutre}} = 697$ N.m <sup>-1</sup> <b>Soit</b> $g_{\text{total}} = 9\,446$ N.m <sup>-1</sup>	$G_{\text{parquet+résiliant}} = 300$ N.m <sup>-1</sup> $G_{\text{solives+OSB}} = 855$ N.m <sup>-1</sup> $G_{\text{cloisons}} = 1\,425$ N.m <sup>-1</sup> $G_{\text{faux-plafond}} = 712$ N.m <sup>-1</sup> $G_{\text{poutre}} = 697$ N.m <sup>-1</sup> <b>Soit</b> $G_{\text{total}} = 3\,989$ N.m <sup>-1</sup>
Charges d'exploitation (1 personne / m <sup>2</sup> )	$q = 2,5$ kN.m <sup>-2</sup>	$q = 2,5$ kN.m <sup>-2</sup>
Flèches admissibles (L en mm)	Flèche totale admissible : $L/200$ Flèche nuisible pour les cloisons sur le plancher et les faux-plafonds sous le plancher : $5$ mm + $L/1000$	

**DT14 - Charges d'exploitation**

(Extrait NF EN 1991-1-1 – Actions sur les structures)

Les charges d'exploitation prennent en compte le poids des personnes, des meubles et équipements (gainés,...), objets mobiles, véhicules. Elles sont fonction de la **CATEGORIE D'USAGE DU BATIMENT**. Les valeurs préconisées ci-dessous sont issues d'une étude statistique. L'ingénieur aura toute latitude pour choisir une valeur plus adaptée à son projet à condition qu'il puisse la justifier.

Catégorie	Usage spécifique et exemples	$q_k$ (kN.m <sup>-2</sup> )	$Q_k$ (kN)
A	Habitation, résidentiel		
	Planchers	1,5	2
	Escaliers	2,5	2
	Balcons	3,5	2
B	Bureaux	2,5	4

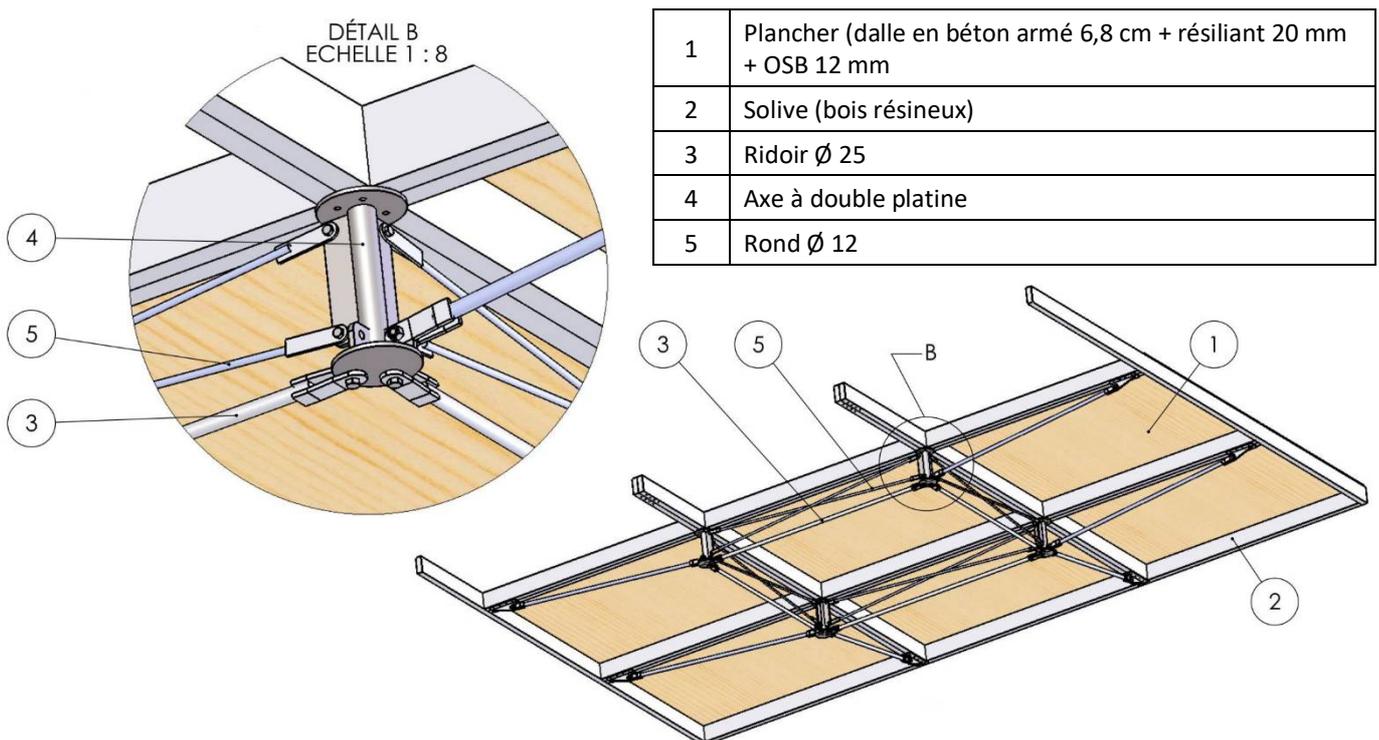
C	Lieux de réunions (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D)	<b>C1 : Espaces équipés de tables, etc.</b> par exemple : écoles, cafés, restaurants, salle de réception, de banquet, de lecture	2,5	3
		<b>C2 : Espaces équipés de sièges fixes</b> par exemple : églises, théâtres, cinémas, amphithéâtres, salles de conférence, de réunion, d'attente	4	4
		<b>C3 : Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes,</b> par exemple : salles de musée (1,5 pers./m <sup>2</sup> ), salles d'exposition, etc., et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares	4	4
		<b>C5 : Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes,</b> par exemple : bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare	5	4,5
D	Commerces	<b>D1 : Commerces de détail courants</b>	5	5
		<b>D2 : Grands magasins</b>	5	7

## DT15 - Tableau des représentations des liaisons usuelles

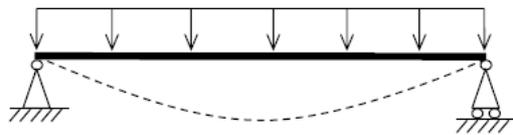
Liaison	Pivot	Glissière	Pivot glissant	Hélicoïdale	Appui plan	Ponctuelle	Rotule
Schéma							

## DT16 - Plancher sous-tendu

Le plancher est renforcé par une structure métallique se présentant comme ci-dessous :



DR7 - Représentation de la flèche (question 2.20)

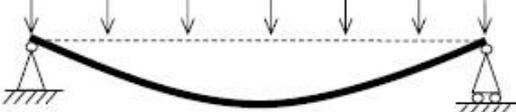
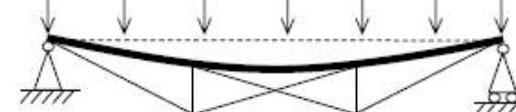
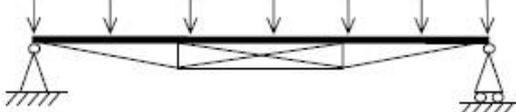


	Poutre avant chargement
	Poutre sous chargement
	Appuis

DR8 - Notes de calcul poutre chêne – Zone « arbre d'or » partie 2 (question 2.21)

Critères :	Plancher mixte			Plancher bois classique		
	Flèche totale (mm)	Flèche totale admissible			Flèche totale admissible	
Flèche calculée		6,0 mm		Flèche calculée	35,7 mm	
Vérification du critère		Valide	Non valide	Vérification du critère	Valide	<b>Non valide</b>
Flèche nuisible pour les cloisons et faux-plafonds (mm)	Flèche nuisible admissible			Flèche nuisible admissible		
	Flèche calculée	3,1 mm		Flèche calculée	21,3 mm	
	Vérification du critère	Valide	Non valide	Vérification du critère	Valide	<b>Non valide</b>
Contrainte normale sur le bois (MPa)	Contrainte limite de calcul	18,5 MPa		Contrainte limite de calcul	18,5 MPa	
	Contrainte calculée	4,7 MPa		Contrainte calculée	17 MPa	
	Vérification du critère	<b>Valide</b>	Non valide	Vérification du critère	<b>Valide</b>	Non valide
Contrainte sur le béton (MPa)	Contrainte limite de calcul	16,7 MPa				
	Contrainte calculée	3,9 MPa				
	Vérification du critère	<b>Valide</b>	Non valide			

DR9 - Validation du type de plancher (question 2.24)

	Sans chargement	Avec chargement
<p><b>Cas 1</b> Plancher bois</p>	 <p><i>Le plancher est soutenu par les solives seules.</i></p>	 <p><i>La résistance des solives est suffisante, mais la flèche est trop importante.</i></p>
<p><b>Cas 2</b> Plancher bois avec système de sous-tension</p>	 <p><i>Les solives sont renforcées par un système de sous-tension.</i></p>	 <p><i>La résistance des solives et la flèche sont suffisantes. L'encombrement de l'ensemble est important et ne respecte pas les 60 cm imposés.</i></p>
<p><b>Cas 3</b> Plancher bois soutenu avec effort de post-tension</p>	 <p><i>Un effort de post-tension est exercé dans les ridoirs. Il provoque, à vide, une contre-flèche.</i></p>	 <p><i>Cette contre-flèche est prévue pour s'opposer à la flèche sous charge, de façon à ce que le plancher ne subisse aucune flèche finale.</i></p>
<p><b>Intérêt de choisir une structure en treillis</b></p>		