

C O N C O U R S A T S
-SESSION 2025-

É P R E U V E D E
S.I. G É N I E C I V I L

CALCULATRICE AUTORISÉE

CODE ÉPREUVE : 929

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 5H

SESSION 2025

CONCOURS ATS

MODELISATION D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, en mode examen, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Textes réglementaires :

L'usage de tout autre ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit. Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

Le support de ce sujet concerne les travaux d'un hôtel particulier situé rue de Lille à Paris, 7ème arrondissement. Il s'agit d'un ensemble immobilier de 2 608 m² de surface de plancher (204 m² surface de plancher de logement et 2 404 m² surface de plancher de bureaux) constitué de :

- un hôtel particulier, une cour et un jardin édifiés en 1715 par l'Architecte Germain Boffrand, classé Monument Historique par arrêté du 3 novembre 1952.
- un bâtiment sur rue datant du 19ème siècle, inscrit par arrêté du 28 octobre 1991,

Le Maître d'Ouvrage souhaite réaliser une restructuration lourde et une restauration de cet ensemble immobilier dans le but d'y réaliser une habitation et un lieu de travail de type club, maison des entrepreneurs.

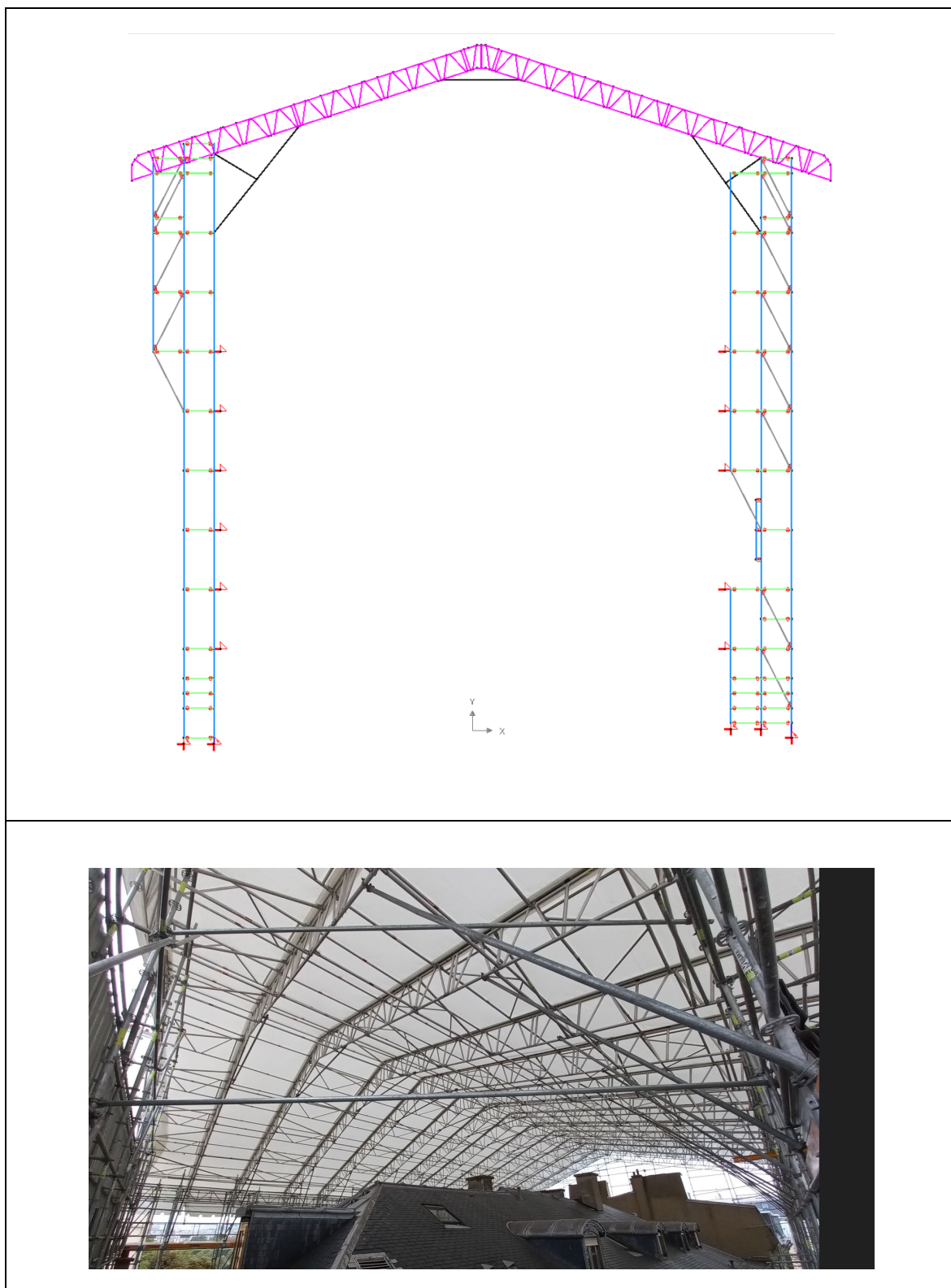
Un Permis de Construire a été obtenu le 1^{er} décembre 2020 concernant les travaux du bâtiment du 19^{ème} siècle.

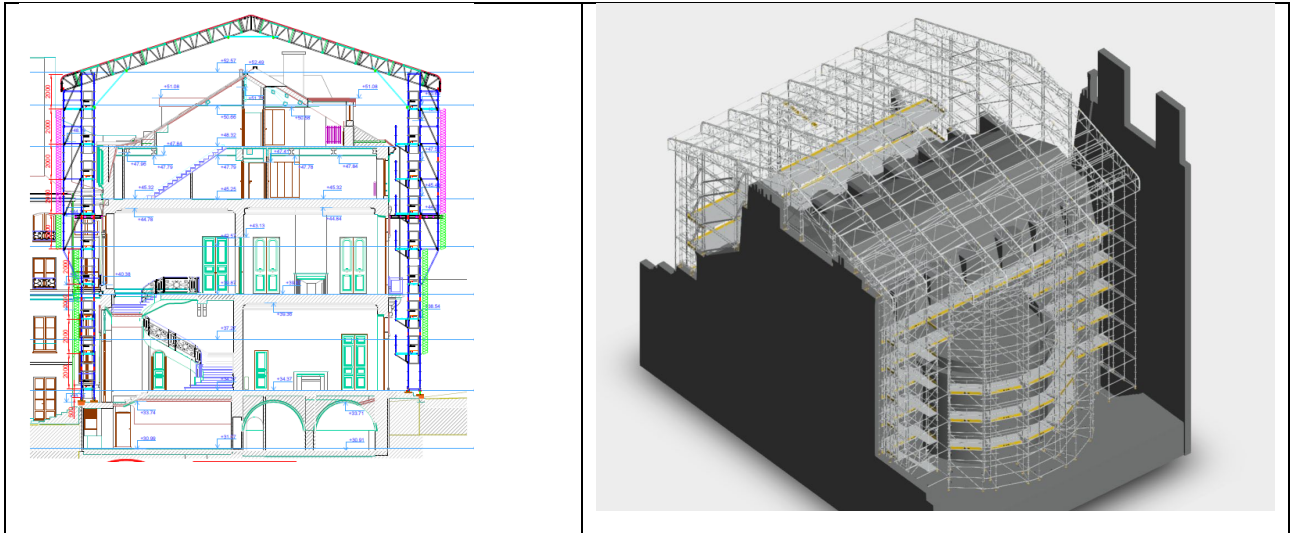
Les études qui vous sont proposées sont indépendantes les unes des autres :

PARTIE 1 : Vérification d'une structure métallique	3
PARTIE 2 : Géotechnique : dimensionnement d'une fondation,.....	13
PARTIE 3 : Etude de levage d'une poutre en béton armé	18
PARTIE 4 : Qualité des ambiances, Etude acoustique et thermique d'une partie de l'hôtel particulier.	24
ANNEXE 1 : Documentation technique concernant l'étude des ambiances	31
DOCUMENT REPONSE 1	32

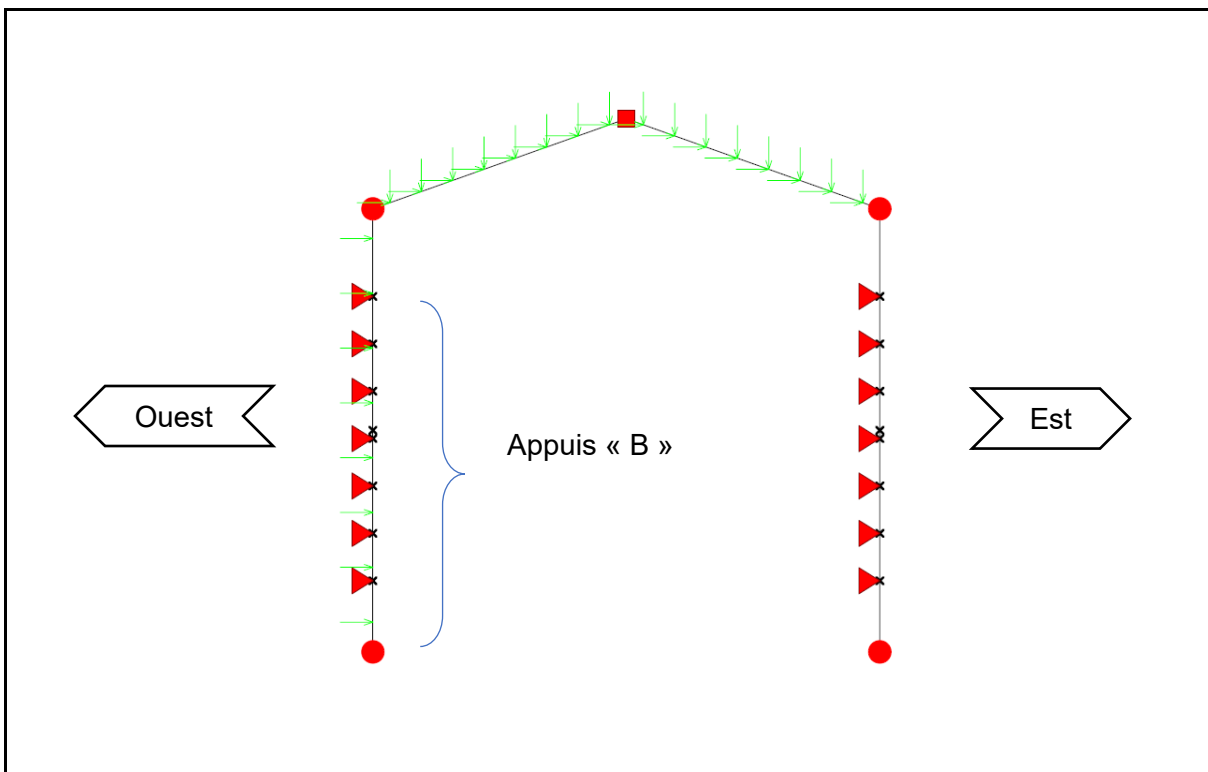
PARTIE 1 : Vérification d'une structure métallique

Objectif : Dans le cadre d'une mission d'exécution, le bon déroulement du chantier nécessite l'installation d'une structure métallique de type « parapluie ».
L'étude porte sur les vérifications de résistance et d'ancrage du parapluie.



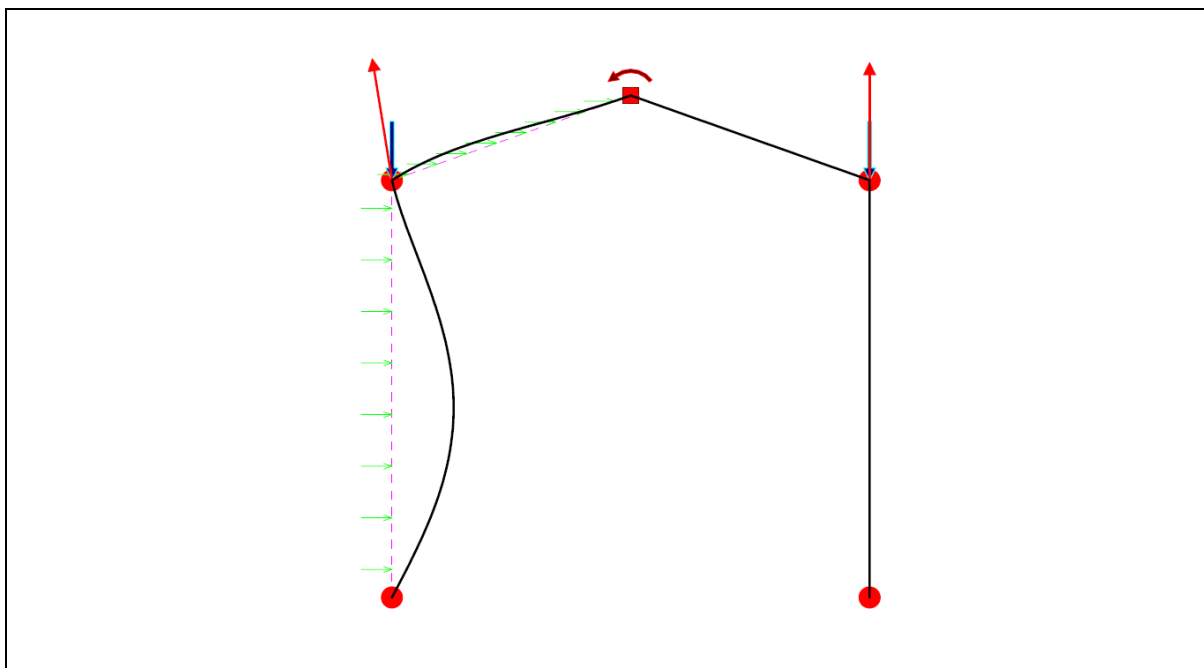


Les images ci-dessus illustrent l'installation du parapluie ainsi que son environnement proche. Pour l'étude du parapluie on retient la modélisation mécanique simplifiée suivante :



La modélisation retenue concerne un vent descendant allant de l'ouest vers l'est.

Sous l'effet du Vent et du poids propre de la couverture, le poteau du parapluie « simplement posé » (sans les appuis B) au sol se déformerait de la manière suivante :



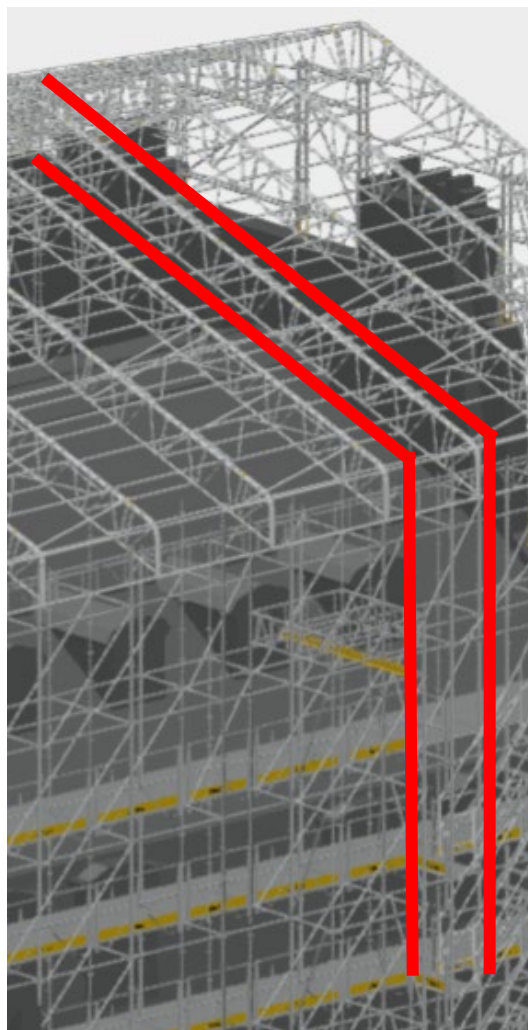
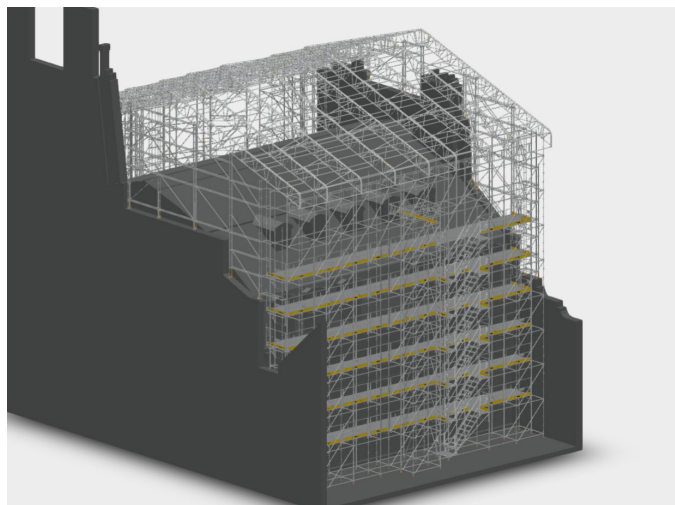
Le bureau d'étude technique (BET) souhaite éviter cette déformation en ajoutant des amarrages.

Étude du poteau côté Ouest

La modélisation retenue pour le poteau étudié est illustrée par la figure suivante :

W : effet du vent sur la structure (représenté en vert)	Description de la modélisation : A : articulation, les déplacements suivant $\vec{y}$ et $\vec{x}$ sont nuls. B : appui simple qui correspond à l'amarrage de l'échafaudage sur le bâtiment existant. Ce sont des appuis simples : les déplacements suivant $\vec{x}$ sont nuls. C : sollicitation modélisée par un couple extérieur de valeur $\mu C = 58,35 \text{ kN}\cdot\text{m}$ et un effort selon $\vec{x}$ de $58,25 \text{ kN}$. W : Valeur de la charge répartie due au vent, $Q_p = 44 \text{ daN}\cdot\text{m}^{-2}$ Pp : poids propre du demi-parapluie, 47 kN tous les $2,5 \text{ m}$
--	---

Les portiques du parapluie sont espacés tous les 2,5 m comme illustré sur les figures suivantes :

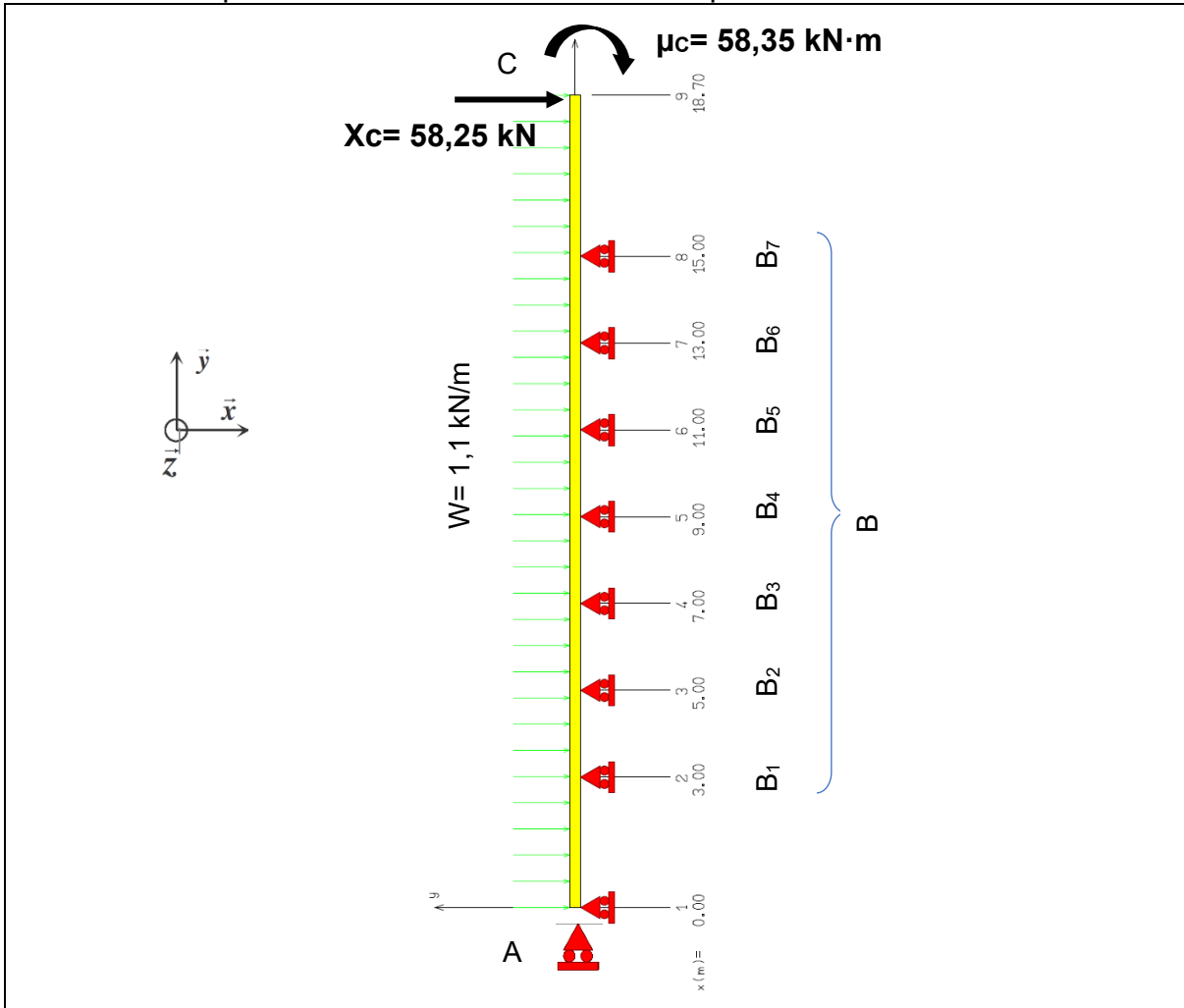


Question 1 : Calculer la charge W en $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Question 2 : Déterminer le degré d'hyperstaticité externe et le degré d'hyperstaticité interne du système complet (voir modélisation simplifiée du parapluie en page 4, puis du poteau ci-dessous).

Vérification de l'amarrage du parapluie en B

On modélise le poteau à l'aide du schéma mécanique suivant :



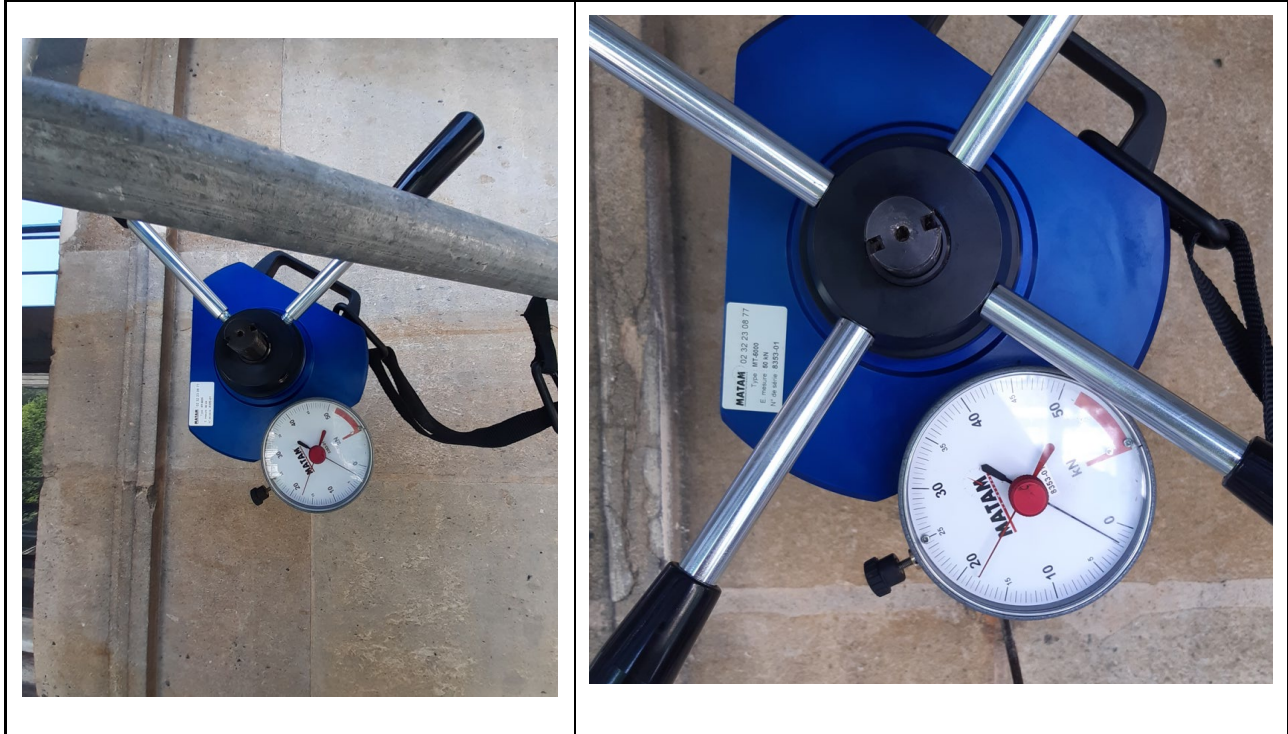
Dans la suite de l'étude on considère les valeurs suivantes :

- La réaction au point A : $Y_A = 47 \text{ kN}$ selon $\vec{y}$; $X_A = 0$ selon $\vec{x}$;
- Les appuis B1 à B7 représentent les amarrages du parapluie sur la paroi ;
- Le couple au point C : $\mu_C = 58,35 \text{ kN}\cdot\text{m}$;
- L'effort au point C : $X_C = 6,24 \text{ kN}$ selon $\vec{x}$;
- Le poids propre $P_p = 47 \text{ kN}$ (charge verticale) ;
- La distance entre les points 1 et 2 est de 3 m ;
- L'espacement entre les points 2 à 8 est de 2 m ;
- La distance entre les points 8 et 9 est de 3 m.

Question 3 : En supposant qu'ils reprennent la même valeur, **déterminer** la valeur des appuis B1 à B7.

Pour la suite de l'étude, on considérera que la valeur des appuis B1 à B7 est égale à 21,27 kN soit 2 127 daN.

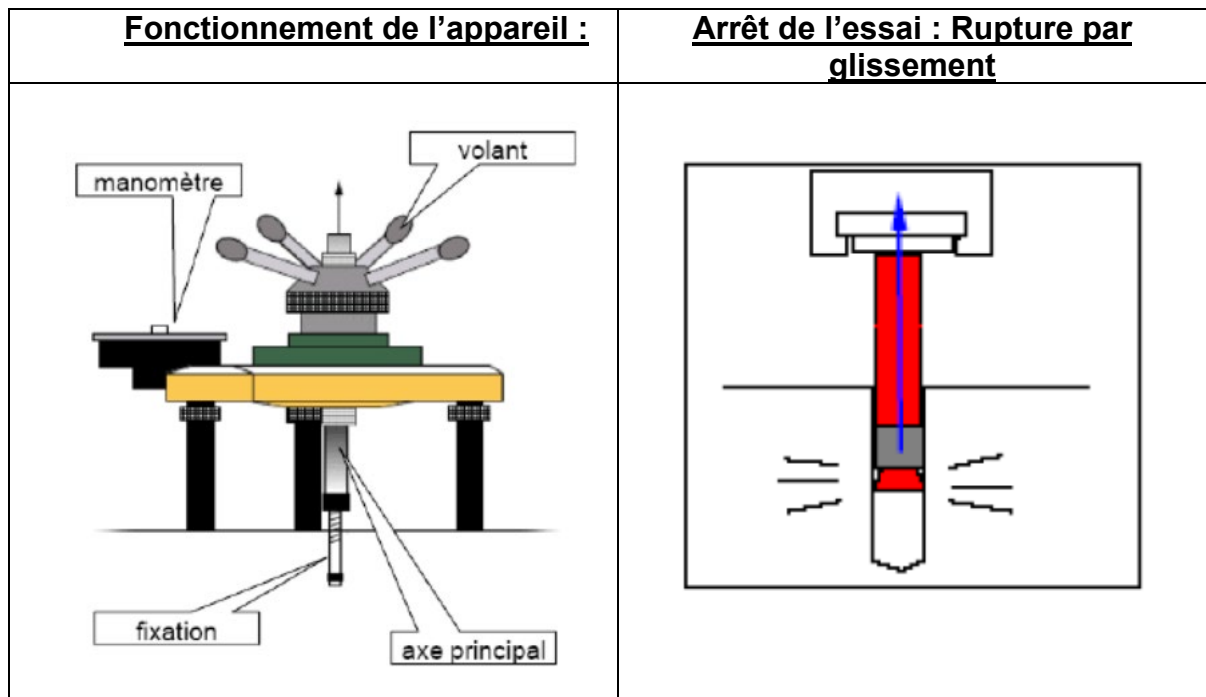
La paroi sur laquelle est fixé le parapluie est composée de pierre dont la résistance est inconnue. Cela oblige l'entreprise à réaliser des essais sur site illustrés par les figures suivantes :



Les essais d'amarrage sur site ont donné les valeurs suivantes extraites de la note de calculs. Les valeurs indiquées sont pour une seule cheville.

Type de fixation : Cheville chimique HSL4-G M12 lg d-18 172 mm (Préciser diamètre et longueur)					
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
N° du point d'essai sur croquis	1	2	3	4	5
N° de la photo	1a + 1b	2a + 2b	3a + 3b	4a + 4b	5a + 5b
Nature du Support :	2	2	2	2	2
Valeur essai Non Destructif (daN)					
Valeur essai Destructif (daN)					
Valeur essai Rupture par glissement (daN)	1300	1800	1800	1400	1800
Reporter le N° correspondant dans le tableau ci-dessus	1	2	3	4	5
Nature du Support :	Béton	Pierre de taille	Pierre calcaire	Corps creux	NC

Le principe des essais réalisés peut être illustré par les figures suivantes :



Question 4 : À l'aide des figures ci-dessus, **expliquer** brièvement le principe de l'essai réalisé sur site pour mesurer la résistance de la paroi en pierre.

La note de calcul indique que la charge à reprendre par amarrage est de 2127 daN, les chevilles (vis) de scellement ont un diamètre de 12 mm. Un coefficient de sécurité de 3 est à appliquer pour ce type d'amarrage

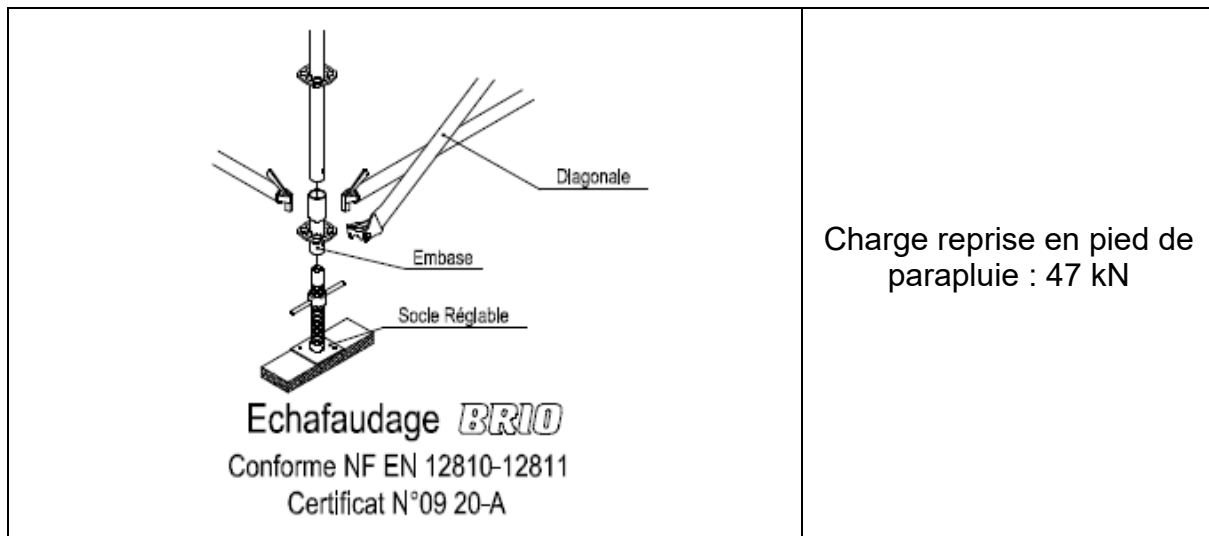


L'effort d'amarrage est repris par une platine scellée (scellement chimique) par 4 chevilles de 12 mm (vis).

Question 5 : Après avoir calculé la moyenne des cinq essais pour une cheville, **vérifier** que l'amarrage choisi est suffisant.

Vérification de l'appui du parapluie en A

L'appui de pied d'échafaudage est constitué de pièces de bois



Question 6 : Justifier que le support de l'appui du parapluie (pied de l'échafaudage) est soumis à un effort de compression simple.

À l'aide des matériaux disponibles sur le chantier, l'appui (calage) du portique du parapluie (échafaudage) peut être réalisé par les boisages suivants :

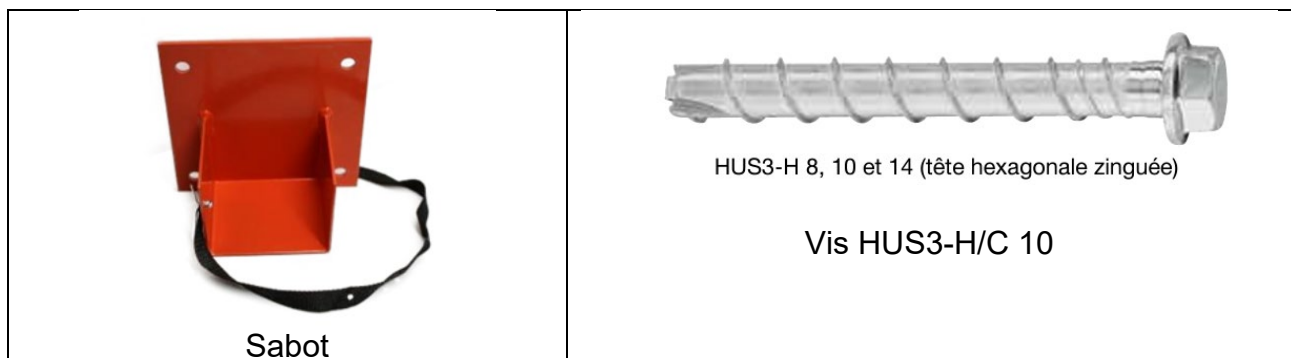
- Bastaing : 16 x 40 x 6,5 ht (cm)
- Madrier : 22,5 x 40 x 6,5 ht (cm)

Le sol de la cour peut reprendre une pression maximum de 0,6 MPa.

Question 7 : Justifier l'emploi de madriers pour réaliser l'appui, **indiquer** la pression transmise par l'échafaudage au sol, **conclure**.

Dimensionnement et vérification d'un variante (parapluie suspendu)

Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre demandent d'étudier l'hypothèse d'un échafaudage suspendu aux façades. L'échafaudage serait posé sur des sabots. Ces sabots permettent d'éviter que l'échafaudage s'appuie le sol, ils sont fixés à l'aide de quatre tiges ancrées dans les murs.

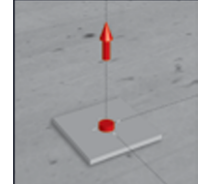


Chaque sabot est fixé à l'aide de quatre vis HUS3-H/C 10 d'une hauteur nominale de 75 mm.

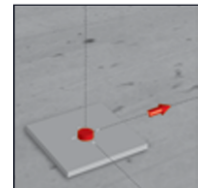
Les caractéristiques des vis utilisées sont données dans le tableau suivant :

Caractéristique des Vis HUS3					
Pleine masse - Béton non fissuré - Version zinguée (en kN)					
Une cheville isolée, pleine masse, béton C20/25 non ferrailé, non fissuré (sans influence de bord et d'entraxe)					
HUS3	h _{nom} (mm)	Traction		Cisaillement	
		Résistance de calcul		Résistance de calcul	
		Ultime N _{rd}	Service N _{rec}	Ultime V _{rd}	Service V _{rec}
HUS3-H/C 8	50	6,0	4,3	8,5	6,1
HUS3-H/C 8	60	8,0	5,7	11,3	8,1
HUS3-H/C 8	70	10,7	7,6	11,3	8,1
HUS3-H/C 10	55	8,0	5,7	9,0	6,4
HUS3-H/C 10	75	13,3	9,5	18,7	13,4
HUS3-H/C 10	85	18,5	13,2	18,7	13,4
HUS3-H 14	65	11,7	8,4	23,3	16,6
HUS3-H 14	85	18,2	13,0	30,0	21,4
HUS3-H 14	115	29,6	21,1	30,0	21,4

Traction



Cisaillement



L'effort de cisaillement pour cette étude repris par cheville (vis) de ce sabot est de 23,5 kN.

Question 8 : À l'aide du tableau ci-dessus, **déterminer** la résistance des vis correspondantes à l'effort tranchant (V_{rd}) des chevilles (vis) HUS3-H/C 10 (h_{nom}= 75 mm), **conclure** sur l'utilisation de ce modèle de cheville (vis).

L'entreprise souhaite ancrer des tiges filetées (vis) qui ont une résistance maximale au cisaillement de 170 MPa. Le diamètre de la vis retenu est de 12 mm. Le BET souhaite s'assurer que ces vis supporteront la contrainte de cisaillement auxquelles elles seront soumises.

Rappel de l'expression générale du cisaillement

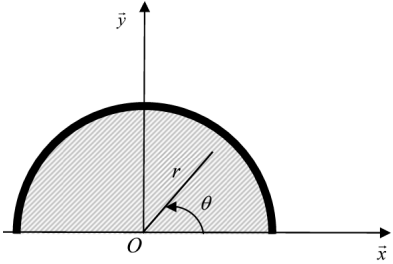
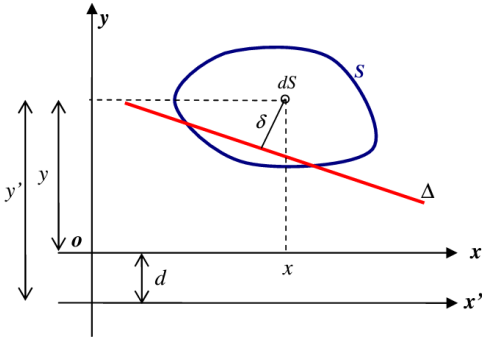
$$\tau(y') = \frac{V_y \cdot s_y(A')}{b \cdot I_y}$$



Avec :

- $\tau(y')$: Contrainte de cisaillement suivant l'axe y (unité : MPa)
- y' est la distance du bord supérieur de la section au point considéré (unité : m),
- V est l'effort tranchant agissant sur la section étudiée (unité : MN),
- b est la largeur de la section au niveau du point considéré (unité : m),
- s_y est le moment statique par rapport à l'axe z-z de la zone A' de la section située au-dessus du point considéré , la section retenue sera cylindrique – les pas de vis sont négligés (unité : m³),
- I_y est le moment d'inertie de flexion par rapport à l'axe z-z de la section complète (unité : m⁴),.

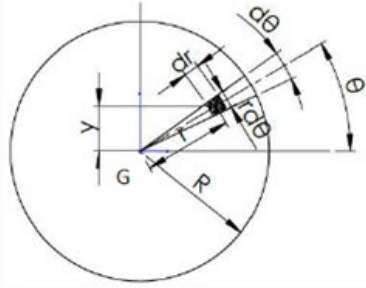
Dans le cadre des barres cylindriques, les éléments nécessaires au calcul de la contrainte de cisaillement $\tau(y')$ sont les suivants :

	$y_G = \frac{1}{m} \int_{P \in (D)} y dm$ y_g est le centre de gravité du demi disque, c'est la distance du bord supérieur de la section au point considéré (l'axe zz)
	Les moments statiques (S_y) par rapport aux axes x et y s'expriment par : $S_y = \iint y dS$ s_y est le moment statique par rapport à l'axe z-z du demi disque.

Question 9 : Montrer que pour le demi-disque de rayon r :

$$Y_g = \frac{4r}{3\pi} \text{ et } S_y = \frac{2r^3}{3\pi} .$$

L'expression du moment quadratique d'un disque est donnée ci-dessous :

	$I_z = I_y = \iint y^2 ds$
---	----------------------------

Question 10 : Montrer que le moment quadratique I_y du disque est égal à $\frac{\pi D^4}{64}$.

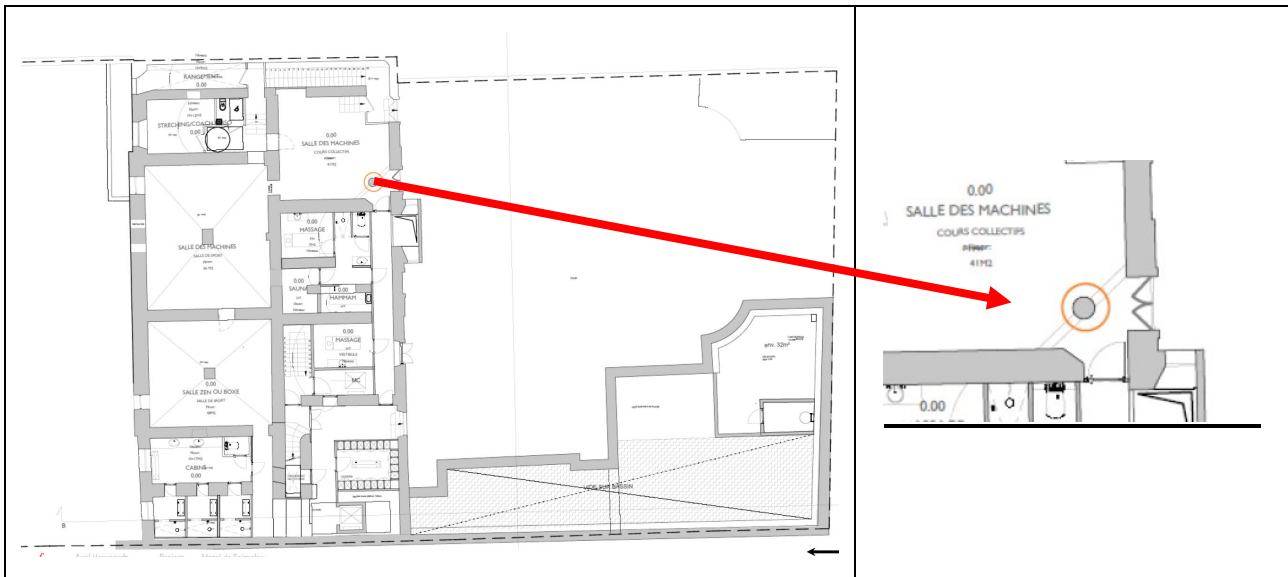
On rappelle que l'entreprise souhaite ancrer des tiges filetées (vis) qui ont une résistance maximale au cisaillement de 170 MPa. Le diamètre de la vis retenu est de 12 mm.

Question 11 : Donner l'expression littérale de la contrainte de cisaillement τ en fonction du rayon r des vis, **calculer** la contrainte de cisaillement reprise par une vis. **Conclure** sur le choix du diamètre choisi.

Question 12 : Donner l'expression littérale du diamètre d d'une vis en fonction de la contrainte de cisaillement τ , **calculer** le diamètre minimum correspondant à la résistance au cisaillement admissible (170 MPa).

PARTIE 2 : Géotechnique : dimensionnement d'une fondation

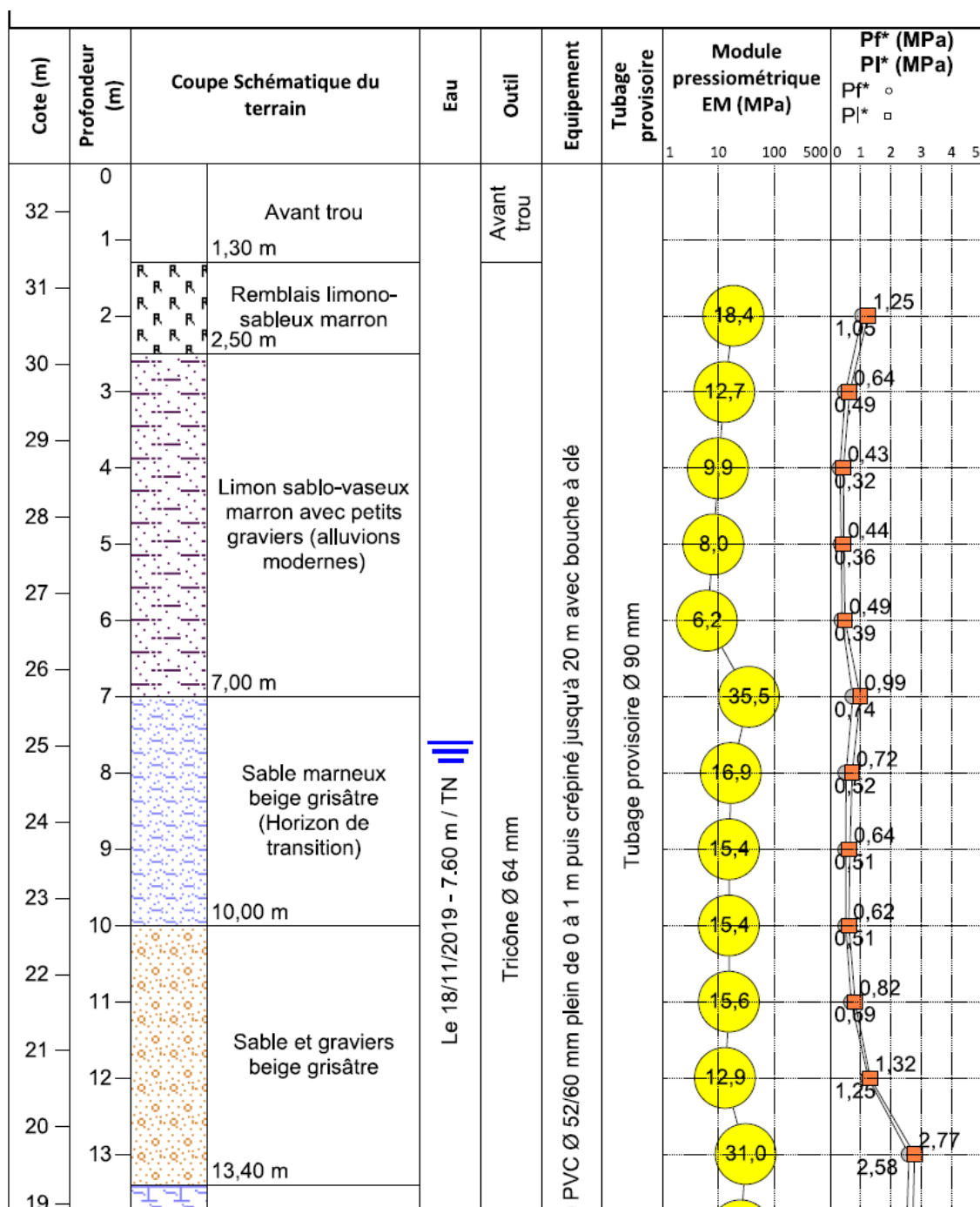
L'étude porte sur la semelle de fondation située sous le poteau de diamètre D=450 mm.



Une première étude en phase d'avant-projet détaillé (APD) préconise les valeurs suivantes :

- Fondations 1,30 m x 1,30 m x 0,50 m ht
- Profondeur de la semelle par rapport au terrain naturel : -3,5 m
- Cote de la plateforme après travaux : (-) 2,5 m
- Poids volumique du béton armé : $25 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$
- Poids volumique des sols : $18 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$
- Sol d'assise : limon sablo-vaseux marron avec petits gravillons (alluvions modernes) :
- Ancrage : 0,3 m minimum dans l'horizon porteur

Extrait du rapport de sols : sondage pressiométrique



Question 13 : Expliquer en vous aidant de schémas ce qu'est un sondage pressiométrique et quelle est son utilité.

Question 14 : Donner le modèle géomécanique du sol jusqu'à 13,4 m de profondeur. Le modèle géomécanique sera de la forme suivante :

Couche n°	Description	Cote de base	Epaisseur de la couche	EM (MPa)	PI* (Mpa)
1					
2					
n					

Les valeurs E_M et PI^* seront calculées suivant la méthode des moyennes harmoniques (détaillées à la page suivante).

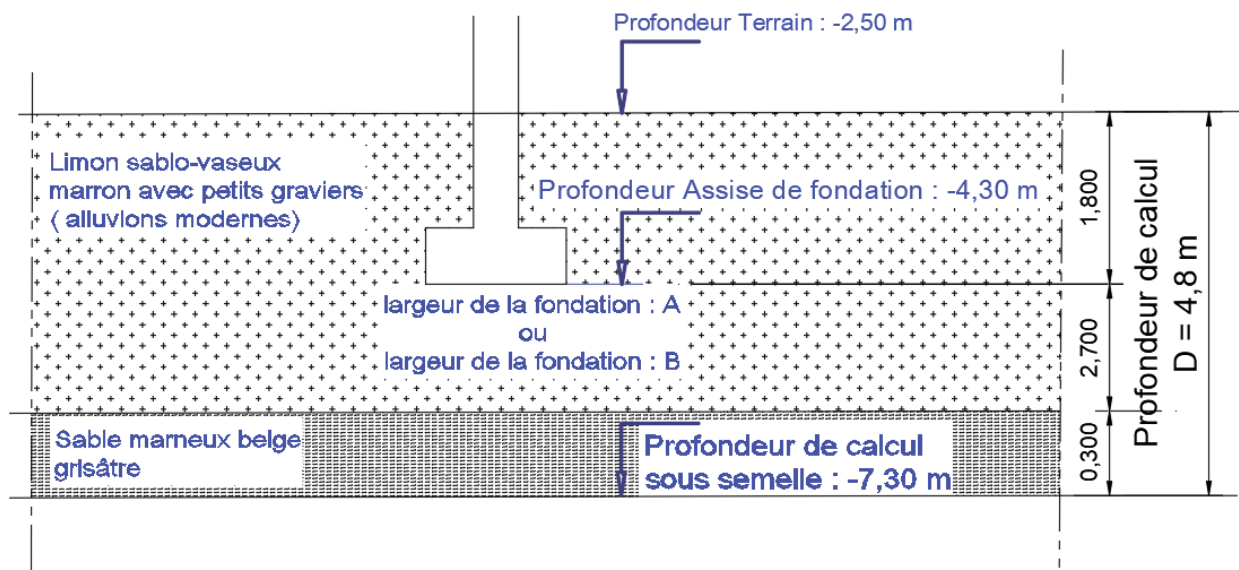
Méthode des moyennes harmoniques :

La moyenne harmonique pondérée d'une série de n valeurs $x_1, x_2, \dots, x_n$ dont les poids respectifs (ou coefficients) est la suite de nombres suivante : $p_1, p_2, \dots, p_n$, est donnée par la formule :

$$m = \frac{p_1 + \dots + p_n}{\frac{p_1}{x_1} + \dots + \frac{p_n}{x_n}}$$

Le bureau d'étude préconise une profondeur d'assise pour la fondation du poteau de -4,3 m selon le principe suivant :

Coupe Semelle du Poteau Profondeurs suivant Essai pressiometrique



L'expression de la pression limite nette équivalente est donnée par la formule suivante :

$$P_{le}^* = \sqrt[n]{p_{l1}^* \cdot p_{l2}^* \cdot (\dots) \cdot p_{ln}^*}$$

La pression limite P_{le}^* est égale à la moyenne géométrique des valeurs de p_i^* mesurées jusqu'à l'altitude de calcul sous la semelle. Ce calcul sera fait par couches de 10 cm.

On considère que la pression limite (p_i^*) de la couche 1 (limon sablo-vaseux) est 0,543 MPa et que la pression limite de la couche 2 (Sable marneux beige) est 0,718 MPa.

Question 15 : Déterminer la pression limite nette équivalente P_{le}^* .

Le calcul de l'encastrement équivalent de la fondation est donné par la formule suivante :

$$D_e = \frac{1}{P_{le}^*} \int_0^D p_l^*(z) \cdot d_z$$

La semelle de la fondation sera considérée comme carrée (hauteur de la semelle : h, Base de la semelle : A-B avec A=B). Dans le cadre des fondations superficielles, la forme de la semelle doit répondre à l'exigence suivante :

$$B > \frac{D_e}{1,5}$$

Question 16 : Déterminer l'encastrement équivalent D_e , en déduire la largeur et la surface minimale de la semelle de fondation.

La capacité portante des fondations superficielles $R_{v,d}$ est calculée conformément à la norme NFP 94-261, par application des relations suivantes :

$$R_{v,d} = \frac{A' \times q_{net}}{\gamma_{R;d,v} \times \gamma_{R,v}}$$

Avec :

$$q_{net} = k_p \times ple^* \times i_\delta \times i_\beta$$

Cette capacité portante doit être comparée à la descente de charge V_d tel que :

$$R_{v,d} \geq V_d - R_0$$

Les différents paramètres utilisés sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Param.	Signification	Valeur particulière
i_δ	Coefficient minorateur tenant compte de l'inclinaison de la résultante du chargement	=1 pour une charge verticale
i_β	Coefficient minorateur tenant compte de la présence d'un talus à proximité de la fondation	=1 pour un site plan
ple^*	Pression limite nette équivalente	-
k_p	Facteur de portance pressiométrique	= 1.0 dans les sables et graves en négligeant l'encastrement = 0.8 dans les autres cas en négligeant l'encastrement
A'	Surface effective de la fondation tenant compte de l'excentrement de la charge	= A (surface réelle de la fondation) dans le cas d'une charge centrée
$\gamma_{R;d,v}$	Coefficient de modèle	= 1.2 pour un calcul en méthode pressiométrique
$\gamma_{R,v}$	Coefficient partiel	= 2.3 à l'ELS quasi-permanent et caractéristique = 1.4 à l'ELU durable et transitoire
R_0	Poids du volume de sol au-dessus de la fondation après travaux	= 0 en négligeant l'encastrement

Le rapport géotechnique retient les paramètres de dimensionnement suivants à l'état limite ultime (ELU) pour une charge verticale centrée en site plan, à la cote 25,34 NGF soit -7,30 m, en négligeant l'encastrement :

- Pression limite nette équivalente $P_{le}^* = 0,967 \text{ MPa}$.

Le calcul de descente de charges a permis de déterminer la charge verticale arrivant sur l'arase supérieure de la fondation à l'ELU :

- $V_d = 610 \text{ kN}$.

Question 17 : Expliquer les différences entre les dimensionnements à l'ELU et à l'état limite de service (ELS). Calculer q_{net} .

Dans la suite de l'étude on considère que q_{net} , égale à 0,967 MPa.

La fondation doit respecter les conditions suivantes :

- $h \geq \frac{B-b}{4} + 5 \text{ cm}$, B étant la largeur de la fondation (semelle carrée) et b la largeur du poteau (dans notre cas, D : le diamètre) ;
- Surface minimale de la fondation (surface liée à l'encastrement équivalent) : $S_{mini} = 3,4 \text{ m}^2$.

Question 18 : Déterminer les dimensions de la semelle de fondation.

La semelle finalement retenue a les dimensions et les caractéristiques suivantes :

- 1,10 m x 1,10 m x 0,25 m ht
- Poids volumique du béton ($\gamma_{\text{béton}}$) = $25 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$

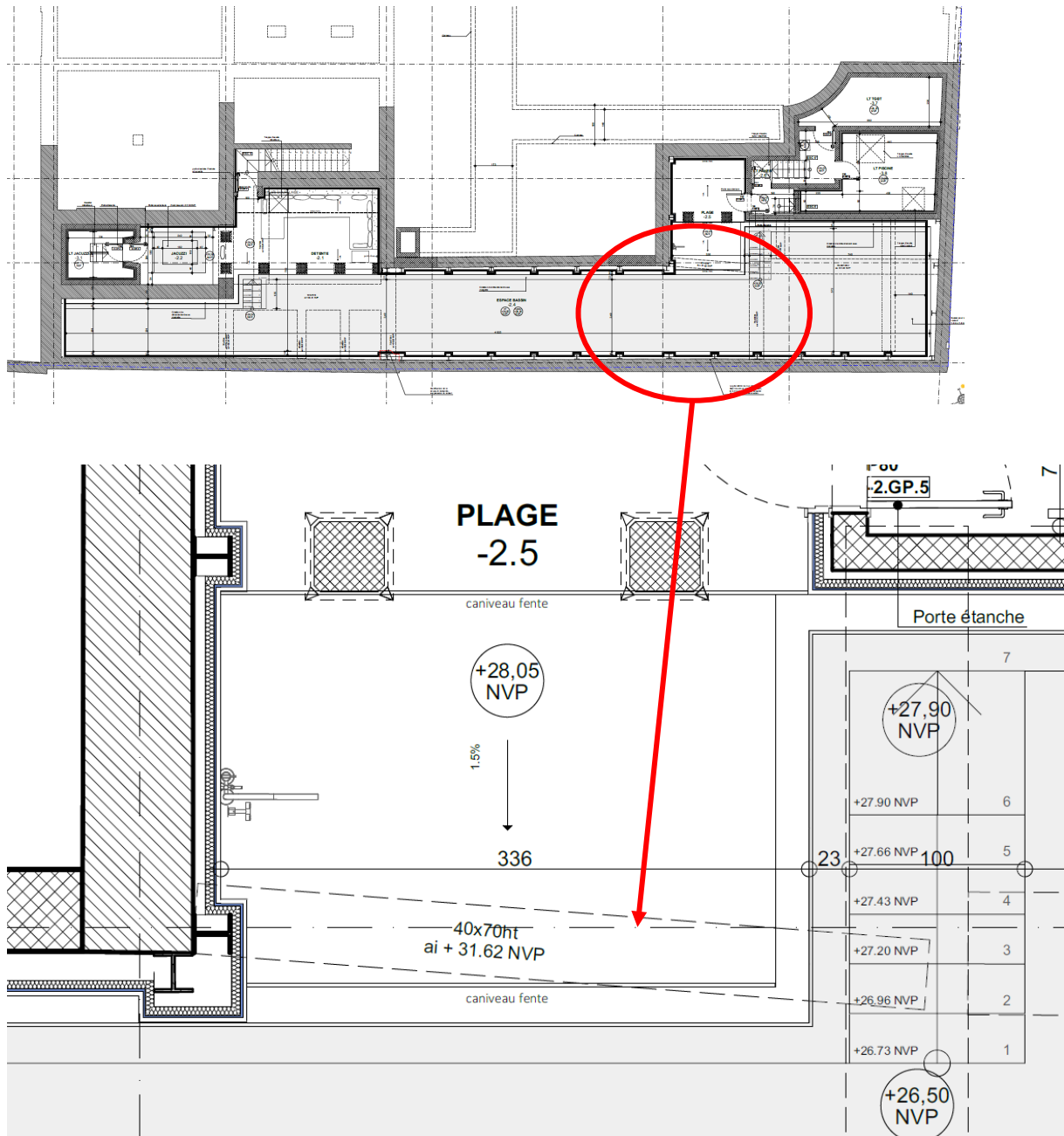
Question 19 : Calculer le poids propre de la semelle et vérifier qu'elle est correctement dimensionnée. Conclure sur le résultat.

Question 20 : Réaliser les schémas cotés de la semelle de fondation (coupe + vue en plan), le béton de propreté a une épaisseur de 5 cm.

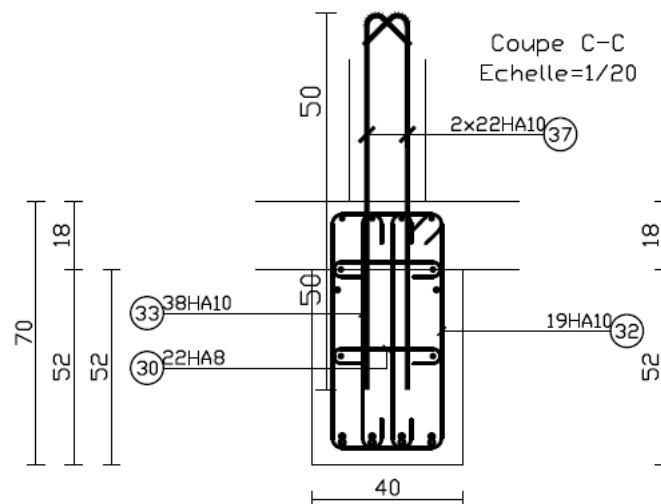
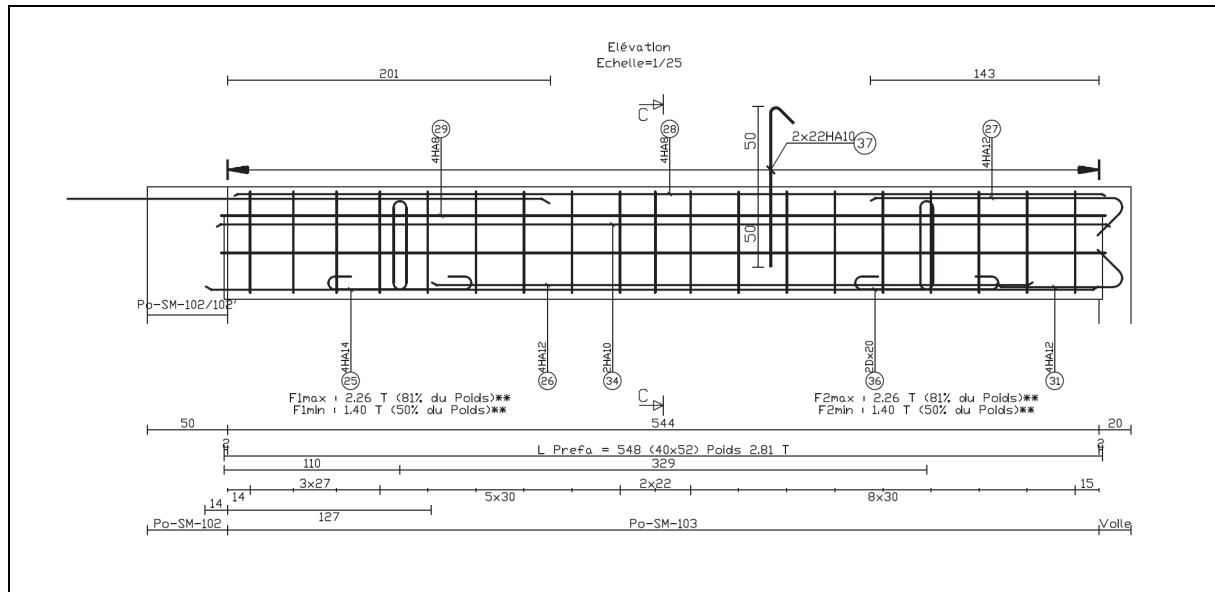
PARTIE 3 : Étude de levage d'une poutre en béton armé

Afin de gagner du temps, le chef de chantier souhaite poser des poutres préfabriquées. Le peu de place ainsi que les moyens de levage limités imposent une étude de levage.

Vérification du système de levage



Soit le plan du BET,

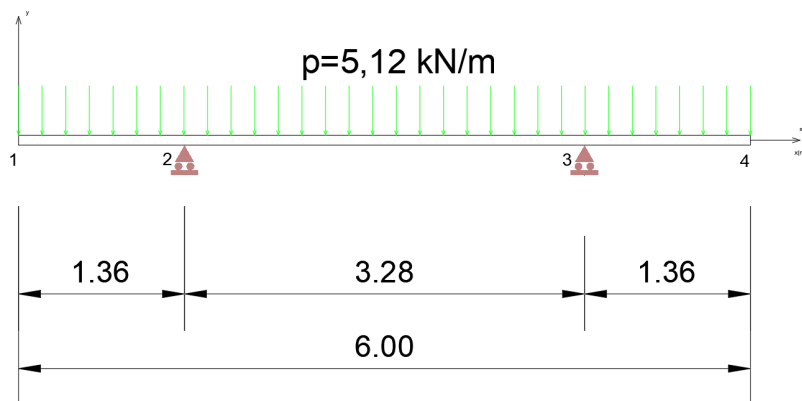


La soffite a les dimensions suivantes : 548 x 40 x 52 cm, le poids volumique du béton armé est de $24,6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$.

Question 21 : Calculer le poids de la soffite. En considérant que le poids de la soffite est reparti sur toute la longueur, **calculer** la charge linéique correspondant à ce poids.

Vérification des sollicitations du palonnier

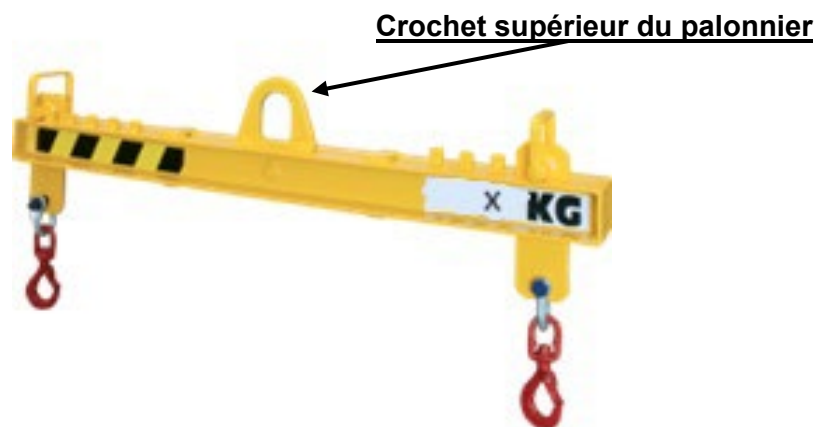
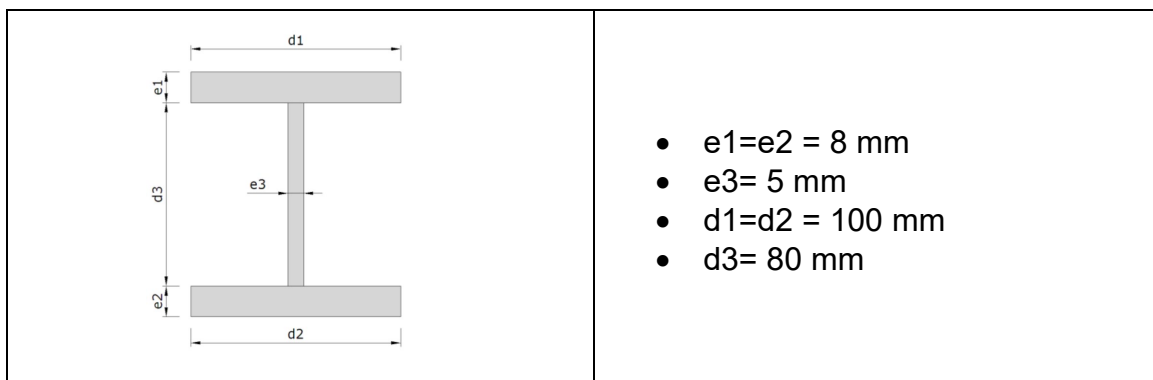
L'étude sera menée à partir du schéma mécanique suivant de cette soffite (en phase levage), les appuis (2) et (3) de ce diagramme de sollicitations représentent le système de levage.



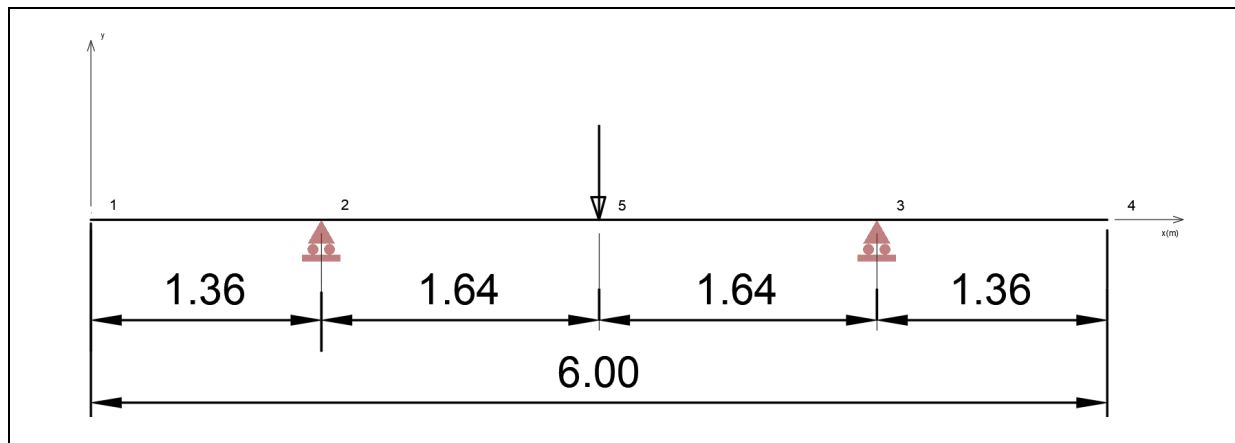
Pour la suite de cette étude vous prendrez $P = 5,12 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, on considère que le chargement est parfaitement symétrique.

Question 22 : Déterminer les efforts repris par les boucles de levage (aux points 2 et 3), les efforts seront majorés de 40 % pour tenir compte des efforts dynamiques.

La manipulation de la poutre sera réalisée à l'aide d'un palonnier monopoutre de 6 m dont les dimensions sont les suivantes :



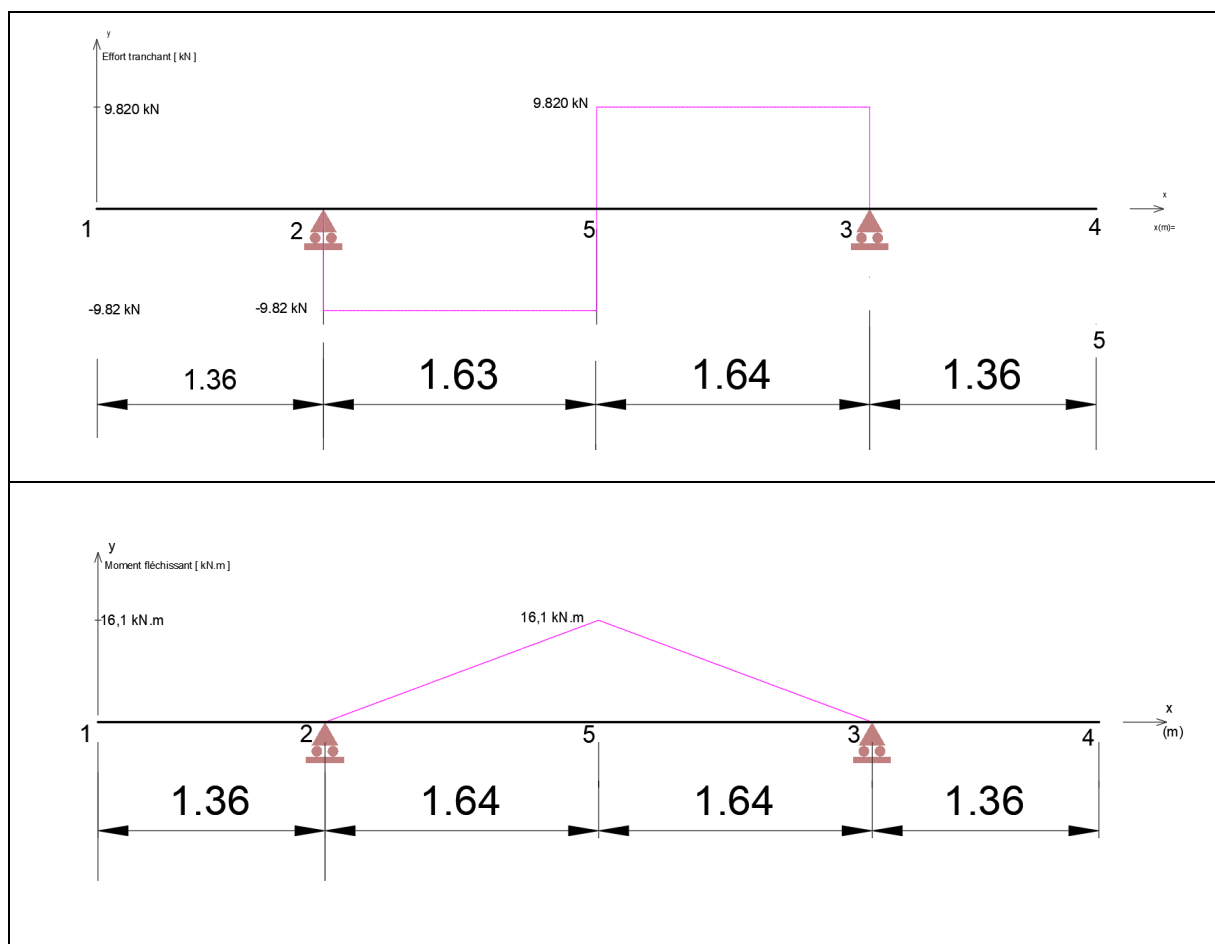
Le schéma mécanique du palonnier peut être simplifié de la manière suivante :



Où :

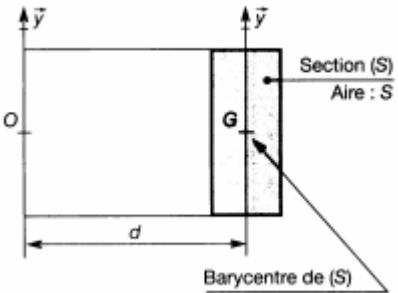
- Aux points 2 et 3, les appuis correspondent aux charges liées à la poutre ;
- Le point 5 correspond au crochet supérieur du palonnier.

Soit les diagrammes des sollicitations internes du palonnier, les diagrammes ci-dessous tiennent compte des efforts dynamiques :



Question 23 : Donner les valeurs de V_{ed} et M_{ed} indiquées par les diagrammes ci-dessus (V_{ed} et M_{ed} sont respectivement l'effort tranchant et le moment fléchissant maximum). Indiquer l'effort repris par le palonnier aux points 2 et 3.

Le théorème de Huygens indique :

$I_{Oy} = I_{Gy} + S \cdot d^2$ où • I_{Oy} est le moment quadratique de (S) par rapport à l'axe Oy (exprimé en cm^4) • I_{Gy} est le moment quadratique de (S) par rapport à son axe de rotation (exprimé en cm^4) • S est l'aire de la section (S) (exprimée en cm^2) • d est la distance entre les axes (Oy) et (Gy) (exprimée en cm)	
--	--

Question 24 : En utilisant le théorème de Huygens, **montrer** que le moment quadratique du palonnier dont les dimensions sont données page 20, est : $I_z = 349,2 \text{ cm}^4$.

Pour un point P quelconque, selon l'hypothèse de Bernoulli, on peut écrire :

$$\sigma_f = \frac{M y}{I}$$

Où :

- σ est la contrainte normale ;
- M est le moment de flexion maximum (en valeur absolue) ;
- I est le moment d'inertie par rapport à l'axe neutre ;
- Y est la distance de l'axe neutre à l'extrémité la plus éloignée de la section.

Question 25 : **Calculer** la contrainte de flexion maximale reprise par le palonnier, **tracer** le diagramme de cette contrainte. Sachant que la résistance admissible est de 235 MPa, **conclure** sur le choix du profilé.

On rappelle l'équation de la déformée $E \cdot I \cdot y''(x) = M_f(x)$ où :

- $y''(x)$ est la dérivée seconde de la déformée,
- $M_f(x)$ est l'expression du moment fléchissant le long du palonnier,
- E représente le module d'élasticité longitudinale (module d'Young) du matériau,
- I est le moment quadratique du palonnier,

On note L_{23} la distance entre les points 2 et 3.

Question 26 : En utilisant l'équation de la déformée, **déterminer** l'équation de la déformée entre les points 2 et 3.

Question 27 : Après avoir fixé et justifié les conditions limites, **déterminer** l'expression littérale de la déformée et **justifier** que la flèche à $L_{23}/2$ ($x = 3 \text{ m}$) est égale à :

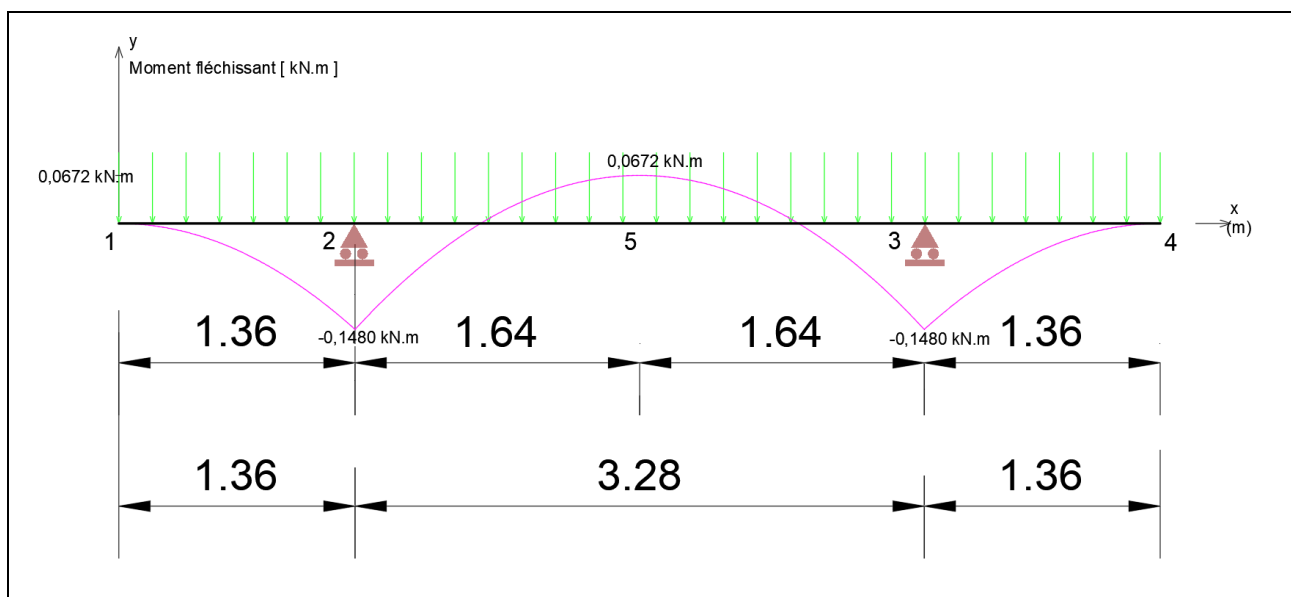
$$\frac{F L_{23}^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

Dans cette expression, F étant le l'effort repris le crochet supérieur du palonnier. Le poids propre du palonnier étant négligé dans cette étude, **F représente l'effort lié au poids de la poutre soit 19,64 kN.**

Question 28 : En prenant $E = 210\,000\text{ MPa}$ et $I = 349,2\text{ cm}^4$, **déterminer** la valeur en mm de la déformée maximale, **vérifier** que celle-ci est inférieure à 2 cm (flèche maximum imposée par le cahier des charges).

Justification de la non prise en compte du poids propre dans le calcul de la déformée

Le calcul de la déformée calculée ne tient pas compte du poids propre du profilé, il est donc nécessaire de connaître l'influence du poids propre sur la déformée. Le diagramme ci-dessous illustre les moments fléchissant sous le seul effet du poids propre du palonnier :



Pour cette étude, on considère que :

- Le poids linéique du palonnier est $0,16\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$;
- La flèche liée uniquement au poids propre à $L_{23}/2$ vaut $\frac{pl^2}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (5 \cdot L_{23}^2 - 24 \cdot a^2)$;
- Pour rappel la flèche sous l'action unique de la poutre vaut $\frac{F \cdot L_{23}^3}{48 \cdot E \cdot I}$;

Question 29 : en utilisant le principe de superposition, **déterminer** l'expression puis la valeur de la flèche maximum. **Conclure** sur l'utilité de la prise en compte ou non du poids propre du profilé pour cette étude.

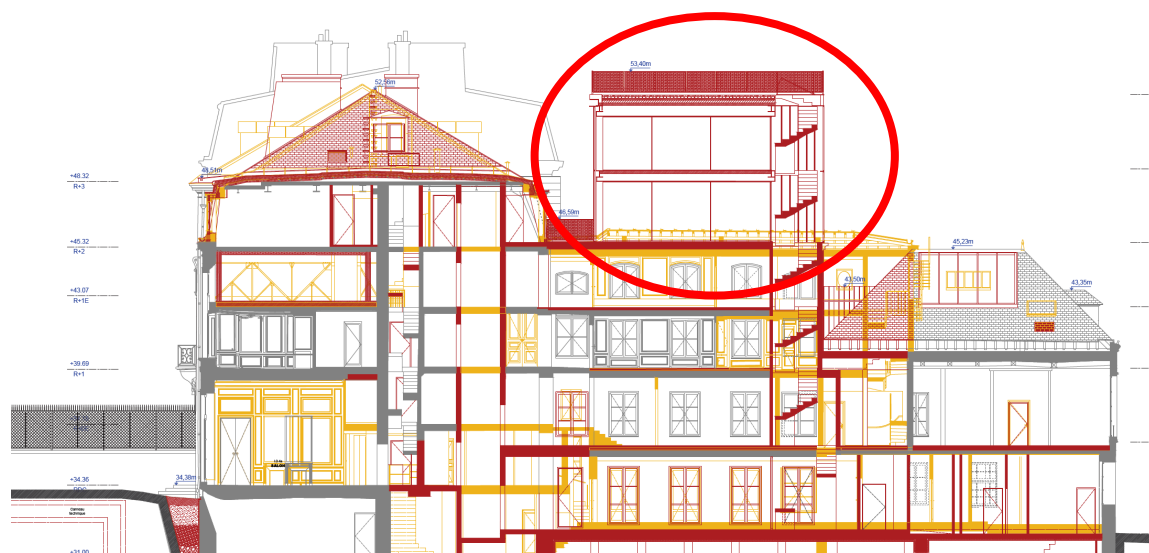
PARTIE 4 : Qualité des ambiances, étude acoustique et thermique d'une partie de l'hôtel particulier.

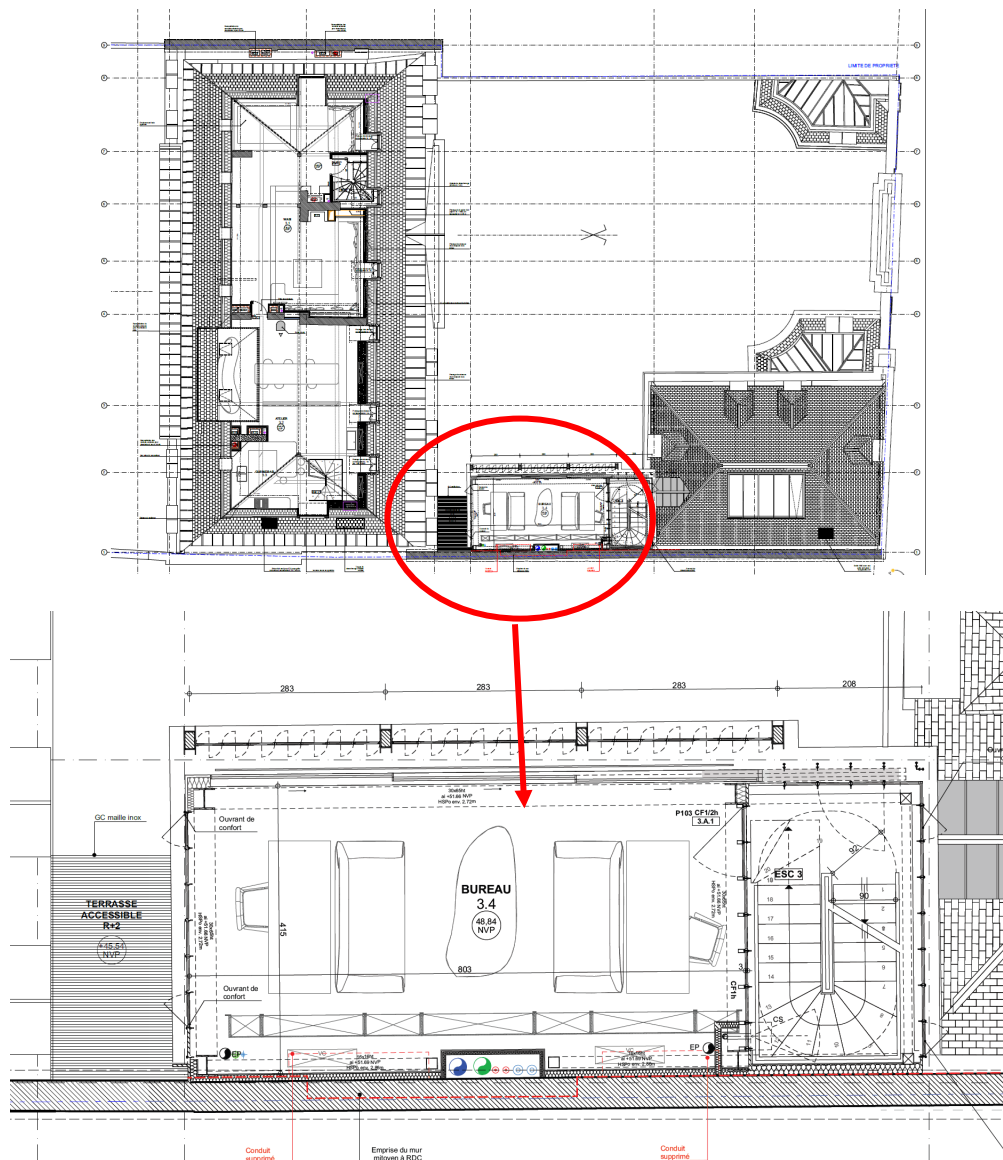
La surélévation d'une partie de l'hôtel servira à créer des bureaux. Le client a des exigences d'acoustique et thermique élevées pour cette partie du bâtiment. L'étude porte sur la création d'un bureau.

Avant travaux



Après travaux (cercle rouge) : objet de l'étude





Choix d'un faux plafond acoustique

La maîtrise d'œuvre a prévu un faux plafond neuf acoustique. Le BET Acoustique fixe comme objectif les temps de réverbération (notés Tr) suivants :

Local de réception	Objectif
Bâtiment principal Atelier, Wabi, salle de yoga, salle de sport	$Tr \leq 0.8 \text{ s}$
Bâtiment principal Salle de cinéma	$Tr \leq 0.5 \text{ s}$
Aile Ouest Restaurant, lounge, salle de jeux, bibliothèque, piscine	$Tr \leq 1.0 \text{ s}$
Aile Ouest Bureaux, salle de réunions	$Tr \leq 0.8 \text{ s}$

Données quantitatives du bureau :

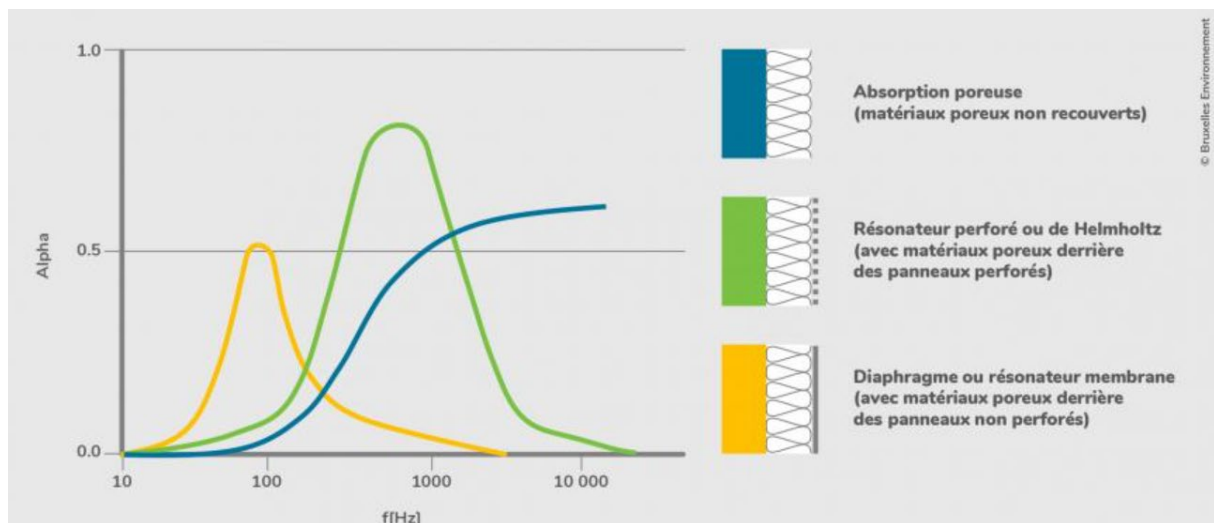
- Surface au sol : 38,2 m², carrelage ($\bar{\alpha}_s = 0,02$) ;
- Surface du plafond : 38,2 m², Faux plafond ($\bar{\alpha}_s = \text{à déterminer}$) ;
- Surface des parois verticales pleines : 27 m², enduit lisse ($\bar{\alpha}_s = 0,03$) ;
- Surface des parois verticales vitrées : 53 m², parois vitrées ($\bar{\alpha}_s = 0,02$) ;
- Surfaces des portes : 4 m², porte en bois ($\bar{\alpha}_s = 0,09$) ;
- Mobilier : représente 30 % de la surface au sol ($\bar{\alpha}_s = 0,30$) ;
- Volume du bureau : 140 m³.

Le temps de réverbération Tr d'une salle peut se calculer en fonction du volume V (m³), de la surface S (m²) et du coefficient d'absorption acoustique moyen α_s . La formule simplifiée de Sabine permettant de déterminer Tr s'écrit :

$$Tr = \frac{0,16 \cdot V}{S_t \cdot \bar{\alpha}_s} \text{ avec } \bar{\alpha}_s = \frac{\sum_{i=1}^{n_{paroi}} S_i \cdot \alpha_{s_i}}{S_t}$$

Question 30 : Expliquer brièvement en vous aidant de croquis ce qu'est l'absorption phonique ainsi que le temps de réverbération.

La figure ci-dessous illustre la variation du coefficient en fonction de la fréquence et du dispositif d'absorption :



Le client souhaite mettre des dalles de type Gyptone (Activ air Quattro), la documentation technique de ces dalles est fournie en annexe 1.

Question 31 : Indiquer le dispositif d'absorption correspondant aux dalles faux plafond choisies par le client et la zone de fréquence où il est le plus performant.

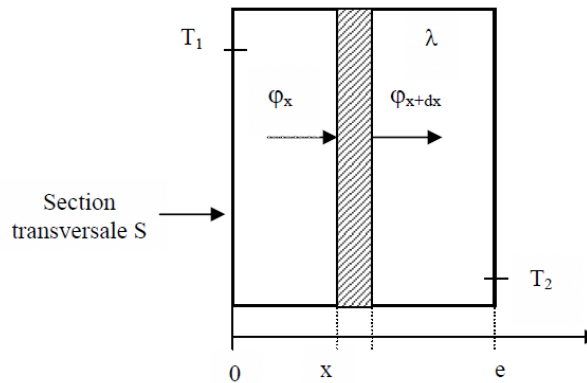
Question 32 : Déterminer le coefficient d'absorption minimum du faux plafond nécessaire pour respecter les 0,8 s du BET.

Question 33 : Choisir parmi les revêtements de plafond et l'épaisseur du plenum, la solution qui permet de satisfaire au mieux les objectifs du BET. Justifier la réponse.

Vérification de la performance thermique d'une paroi

Le BET thermique préconise un coefficient de transmission thermique maximal, noté $U_{\max}$, de $0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

On rappelle que l'évolution de la température T au sein d'une section transversale S de conductivité thermique λ traversée par un flux thermique ϕ vérifie l'équation suivante :


$$\phi_x = \phi_{x+dx} \Rightarrow -\lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)_x = -\lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x+dx}$$

On note ϕ le flux thermique par mètre carré de surface.

Question 34 : Montrer à partir de ces données que le flux thermique est linéaire au sein de la section transversale. Justifier l'expression suivante :

$$\phi = \frac{\lambda (T_1 - T_2)}{e}$$

La paroi est constituée de différentes couches de matériaux ayant les caractéristiques suivantes :

- Mur en béton armé matricé (aspect pierre), épaisseur de 20 cm, $\lambda = 1,75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$;
- Isolant TH32, $\lambda = 0,0032 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$, **épaisseur à définir** ;
- Plaque de plâtre de 13 mm, $\lambda = 0,09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$;
- Le choix de l'épaisseur de l'isolant se fera en mode « hiver » et en régime stationnaire ;
- La température intérieure est de 20 °C , la température extérieure est de -6 °C ;
- L'humidité relative extérieure sera de 64 %, l'humidité relative intérieure de 50 %.

Le tableau suivant donne les valeurs des résistances thermiques superficielles :

Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽¹⁾	R_{si} $m^2.K/W$	$R_{se}^{(2)}$ $m^2.K/W$	$R_{si} + R_{se}$ $m^2.K/W$
Paroi verticale Inclinaison $\geq 60^\circ$ Flux horizontal	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale Inclinaison $< 60^\circ$ Flux ascendant	0,10	0,04	0,14
Flux descendant	0,17	0,04	0,21
1. Un local est dit « ouvert » si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à $0,005 m^2/m^3$. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie. 2. Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, R_{si} s'applique des deux côtés.			

Le tableau suivant détaille les caractéristiques de la composition de la paroi :

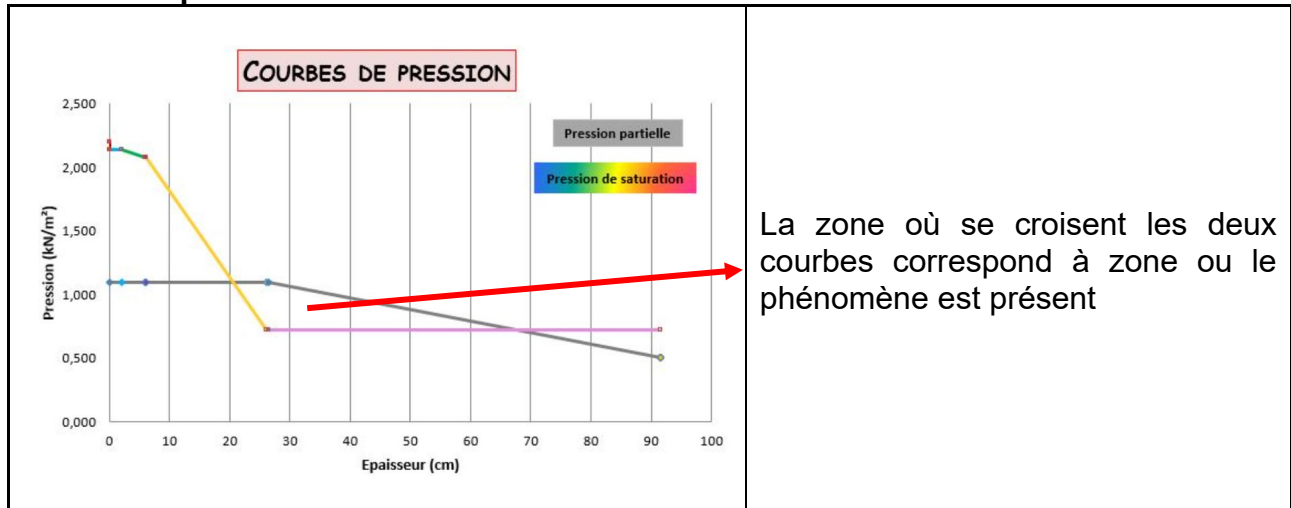
Désignation	Epaisseur	Conductivité	Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur	Perméabilité à la vapeur d'eau
	e (m)	$\lambda (W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1})$	μ	$\pi : \frac{g}{m.h.mmHg} / \frac{kg}{m.s.Pa}$
MUR BETON	0,20	1.75	60	
Isolant PSE TH32	À déterminer	0,032	150	
Enduit (plâtre)	0,013	0.09		$11,25 \cdot 10^{-5} \frac{g}{m.h.mmHg}$

Question 35 : Calculer l'épaisseur minimum de l'isolant pour respecter les contraintes du BET (le choix de l'épaisseur sera conforme aux épaisseurs commerciales - 4 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm ou 20 cm).

Question 36 : En fonction de l'épaisseur d'isolant retenue, **compléter** le document réponse DR1 en y traçant la courbe de température au sein de la paroi.

Les parois de bâtiments séparent deux ambiances dont l'air est à des conditions hygrothermiques différentes. Lorsque les conditions sont réunies, il y a un risque de condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, et ce, à l'intérieur des parois ou sur leurs parements. Le diagramme de Glaser permet d'estimer graphiquement le risque de condensation en confrontant la pression de vapeur saturante et la pression partielle de vapeur à l'interface des composants qui constituent une paroi.

La pression de vapeur saturante "PVS" dépend de la température de l'air et décroît avec la température.



La pression partielle de vapeur dans la paroi dépend directement de la résistance à la migration de la vapeur d'eau de chacun des composants qui constituent la paroi.

On note S_d la résistance du matériau à la diffusion de vapeur. Cette grandeur désigne l'épaisseur de la couche d'air équivalente (en mètres) à la diffusion de la vapeur d'eau. On peut calculer S_d à l'aide la formule suivante : $S_d = \mu \cdot e$

où :

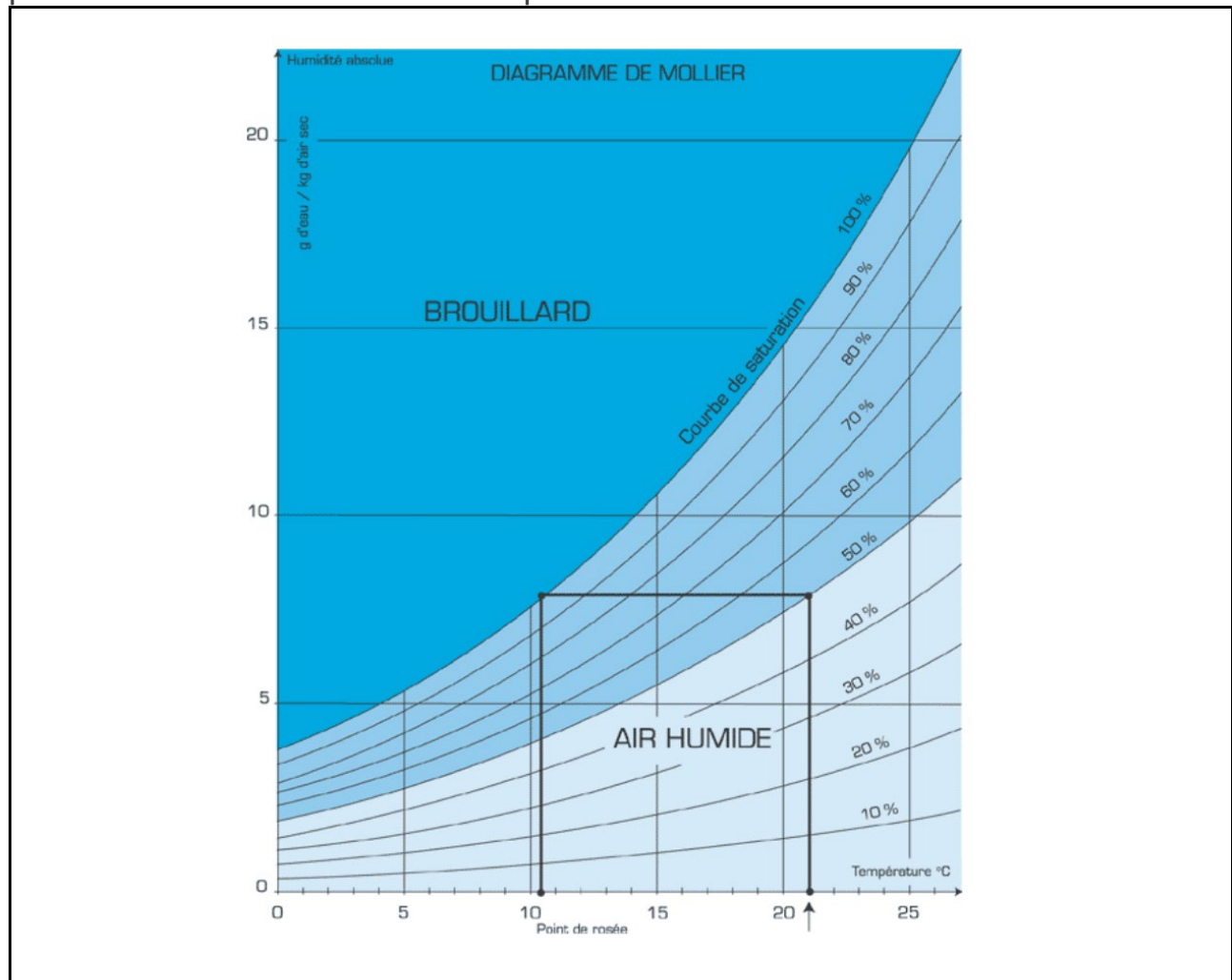
- μ est le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur ;
- e est l'épaisseur du matériau (en mètre) présente dans la paroi.

Le coefficient μ est calculé grâce à la formule $\mu = \frac{\pi_{\text{air}}}{\pi_{\text{matériau}}}$ où π_m est la perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau m . π_m représente la quantité d'humidité traversant un mètre d'épaisseur de matériau par heure pour une différence de pression d'un millimètre de mercure entre les deux faces, elle s'exprime en $\text{g/m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$. Plus cette valeur est faible, moins le matériau laisse transiter la vapeur d'eau.

On a : $\pi_{\text{air}} = 1,85 \cdot 10^{-10} \text{ kg / m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} = 0,09 \text{ g / m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$.

Le diagramme de Mollier ci-dessous permet d'estimer rapidement les risques de condensation dans une paroi.

Exemple : à une température ambiante de 21°C et un taux d'humidité de 50%, le point de rosée serait atteint si température ambiante serait inférieure à 11°C



Les valeurs des pressions de saturation sont les suivantes (θ représentant la température est en °C) :

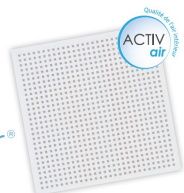
Températures positives (Pa)	$P_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$
Températures négatives (Pa)	$P_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}}$

Question 37 : En vous aidant du diagramme de Mollier et des formules donnant les valeurs des pressions de saturation, **compléter** le document réponse DR1 en y indiquant les pressions de saturation ainsi que les pressions partielles.

Question 38 : **Compléter** le document réponse DR1 et y **tracer** les courbes de pression à l'intérieur de la paroi. **Conclure** sur l'éventuelle condensation à l'intérieur de la paroi.

ANNEXE 1 : Documentation technique concernant l'étude des ambiances

Gyptone® Activ'Air®
Quattro 20



LES + PRODUIT

- Perforation carrée discrète et régulière
- Excellente absorption acoustique
- Améliore la qualité de l'air intérieur grâce à la technologie exclusive Activ'Air®



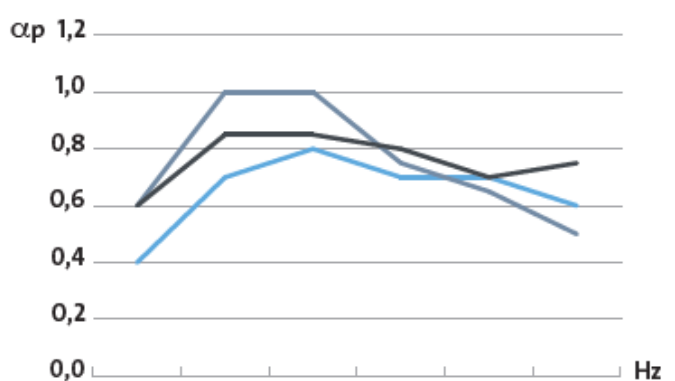
Comportement acoustique

Atténuation latérale

$D_{n,c,w}$ (C ; C_{tr}) = 33 (-2 ; -5) dB pour plénum 730 mm et laine de 75 mm (RE CSTB n° 35352).

Absorption acoustique

(laine minérale sans pare-vapeur)



	125	250	500	1000	2000	4000	α_w
Plénum 300 mm / laine 75 mm	0,60	0,85	0,85	0,80	0,70	0,75	0,80 (L)
Plénum 100 mm / laine 75 mm	0,60	1,00	1,00	0,75	0,65	0,50	0,65 (LM)
Plénum 200 mm / sans laine	0,40	0,70	0,80	0,70	0,70	0,60	0,70

RE CSTB n° 32715 (essais 3) - RE CSTB n° 713-960-0101/4