

Éléments de correction de l'épreuve « Étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation » – option ingénierie des constructions

Question 1

Le projet est situé en zone UD1 45mHT SMS2.

Article 2 : Zone SMS2 et Programme 57 logements \geq / 12 logements

⇒ 35 % de logements locatifs sociaux à produire soit :

$4\,339\text{ m}^2 \times 0,35 = 1\,518,65\text{ m}^2$ minimum de logements locatifs sociaux

Article NON RESPECTÉ car seulement 25 % de logements locatifs sociaux (1039/4339)

Article 10 et règlement graphique : hauteur maximale HT = 45 mHT.

ÉLÉVATION OUEST

Quai : 137,62 m NGF (- 1,16 m)	Dénivelée Tourette – Quai : $26,91+1,16 = 28,07\text{ mHT}$
Hauteur Tourette 165,69 m NGF (+ 26,91 m)	
Hauteur mât de drapeau : 172,68 m NGF (+33,90 m)	Dénivelée Mât - Quai : $33,90 +1,16 = 35,06\text{ mHT}$

Article RESPECTÉ, la hauteur du bâtiment : 28,07 mHT < 35,06 mHT < 45,00 mHT

Question 2

Critère CCTP :	TMS Efyos	Knauf Thane Sol
Épaisseur isolant sous chape 60 +/- 5 mm	disponible en 56, 60 et 61 mm OK	disponible en 57 et 61 mm OK
Réduction des bruits de chocs : $\Delta L_w \geq 20\text{ dB}$ (isolant seul $\Delta L_w \geq 18\text{dB}$)	Sans objet plancher donnant sur l'extérieur (porte à faux)	
Isolation thermique : $R = 3,7\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	Impossible à atteindre avec ces épaisseurs $R_{\text{isolant max}} (61\text{mm}) = 2,80\text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	
Coefficient de conductivité thermique = $0,022\text{ W} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$	$\lambda = 0,022\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (de 40 à 160 mm) OK	$\lambda = 0,022\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (de 40 à 160 mm) OK
Classement des couches isolantes : SC1a ₂ Ch	21 à 120 mm : SC1a ₂ Ch OK	24 à 101 mm : SC1a ₂ Ch OK
Mise en œuvre d'un isolant thermique de 56 mm d'épaisseur	Existe en 56 mm : OK	Seulement disponible en 57 et 61 mm Acceptable
Mousse de polyuréthane revêtue sur ses 2 faces d'un parement multicouche	<i>FDES</i> : un panneau rigide en polyuréthane (PUR) parementé, OK	<i>FDES</i> : un panneau rigide en Polyuréthane (PUR) <i>aucune info sur le parement</i>

Question 3

L'unité fonctionnelle est la base d'une analyse de cycle de vie d'un produit.

Elle précise les caractéristiques du produit étudié :

- nature du produit ;
- quantité étudiée et épaisseur ;
- durée considérée pour l'étude et Durée de Vie Typique (DVT) du produit.

	TMS Efyos	Knauf Thane Sol	Conclusion
Nature du produit	1 m ² d'isolant PU parementé	1 m ² d'isolant PU	Comparable
Épaisseur	Épaisseur 56 mm	Épaisseur 62 mm	Les épaisseurs sont proches mais différentes
Résistance thermique	$R_D = 2,60 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	R_D non précisé (2,80 d'après Acermi)	Différentes
DVT	50 ans	50 ans	OK

Conclusion : les épaisseurs des deux produits sont différentes et donc leur R_D aussi. Il y a un écart de 10 % entre les deux épaisseurs : la comparaison reste acceptable.

Préconisation : application d'un coefficient de $56 / 62 = 0,903$ sur le Knauf Thane Sol.

		TMS 56 mm	Knauf Thane Sol ep. Équivalente 56 mm	Comparaison épaisseurs équivalentes
N°	Impact environnemental	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	
1	Consommation de ressources énergétiques Énergie primaire totale Énergie renouvelable Énergie non renouvelable	220 MJ 11,9 MJ 208 MJ	206,3 MJ 21,1 MJ 185,2 MJ	-6,23 % 77,61 % -10,98 %
2	Épuisement des ressources (ADP)	0,0823 kg eq. Sb	0,00170 kg eq. Sb	-97,94 %
3	Consommation d'eau totale	151 L	47,8 L	-68,36 %
4	Déchets solides Déchets valorisés (total) Déchets éliminés Déchets dangereux Déchets non dangereux Déchets inertes Déchets radioactifs	0,219 kg 0,105 kg 2,39 kg 0,423 kg 2,42E-04 kg	0,0411 kg 1,11 kg 4,74 kg	-81,23 % 958,06 % 98,41 %
5	Changement climatique	7,83 kg eq. CO2	2,75E-03 kg	1 038,36 %
6	Acidification atmosphérique	0,0407 kg eq. SO2	7,12 kg eq. CO2	-9,10 %
7	Pollution de l'air	556 m ³	0,0292 kg eq. SO2	-28,32 %
8	Pollution de l'eau	2,57 m ³	672 m ³	20,86 %
9	Destruction couche d'ozone	0,0 kg CFC eq.R11	1,74 m ³	-32,17 %
10	Formation d'ozone photochimique	0,0043 kg eq. éthylène	0,0 kg CFC eq.R11	
			0,00337 kg eq. éthylène	-21,65 %

Indicateurs les plus significatifs

N°	Commentaires
1	À épaisseur équivalente le produit Knauf est plus performant, sa production consomme moins d'énergie primaire totale et d'énergie non renouvelable Le produit knauf utilise deux fois plus d'énergie renouvelable, c'est mieux
4	La production de déchet est dix fois plus importante pour le produit knauf néanmoins il faut regarder précisément ce qu'incluent les deux études (découpes, emballages...)
5	À épaisseur équivalente le produit Knauf est plus performant pour les émissions de CO2
6	À épaisseur équivalente le produit Knauf est moins polluant vis-à-vis de l'acidification de l'atmosphère.

Question 4

Épaisseur minimale de l'isolant :

$$R \geq 3,70 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R = \frac{3,5 \cdot 10^{-2}}{1,75} + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{1,75} + \frac{e}{0,022} + \frac{14 \cdot 10^{-2}}{1,75} + 0,17 + 0,04 \geq 3,70$$

Soit :

$$e \geq \left(3,70 - 0,21 - \frac{0,225}{1,75} \right) \times 0,022$$

$$e \geq 74 \text{ mm}$$

La réserve pour le revêtement de sol sur le plan de CM est de 266 mm, l'épaisseur minimale de l'ensemble sera de :

140 mm (prédalle) + **74 mm (isolant)** + 50 mm (chape) + 35 mm (revêtement et ragréage) = 299 mm minimum.

L'épaisseur d'isolant est donc incompatible avec la réserve prévue. Il faut prévoir une isolation sous chape de 41 mm maximum (266 - 140 - 85 = 41 mm) et un complément d'isolation en sous-face des prédalles entre les HEB300.

Question 5

Exigence BE Thermique (pour RT2012) :

$$U \leq 0,17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

soit $R \geq 5,88 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

$$R_{\text{revêtement+ragréage}} + R_{\text{chape}} + R_{\text{isolant sous chape}} + R_{\text{prédalle}} + R_{\text{isolant sous face}} + R_{\text{si}} + R_{\text{se}} \geq 5,88$$

$$\frac{3,5 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-2}}{1,75} + \frac{40 \cdot 10^{-3}}{0,022} + \frac{14 \cdot 10^{-2}}{1,75} + \frac{e}{0,035} + 0,17 + 0,04 \geq 5,88$$

$$0,05 + 1,82 + 0,08 + \frac{e}{0,035} + 0,21 \geq 5,88$$

Soit :

$$e \geq (5,88 - 2,16) \times 0,035$$

$$e \geq 3,73 \times 0,035$$

$$e \geq 0,130 \text{ m}$$

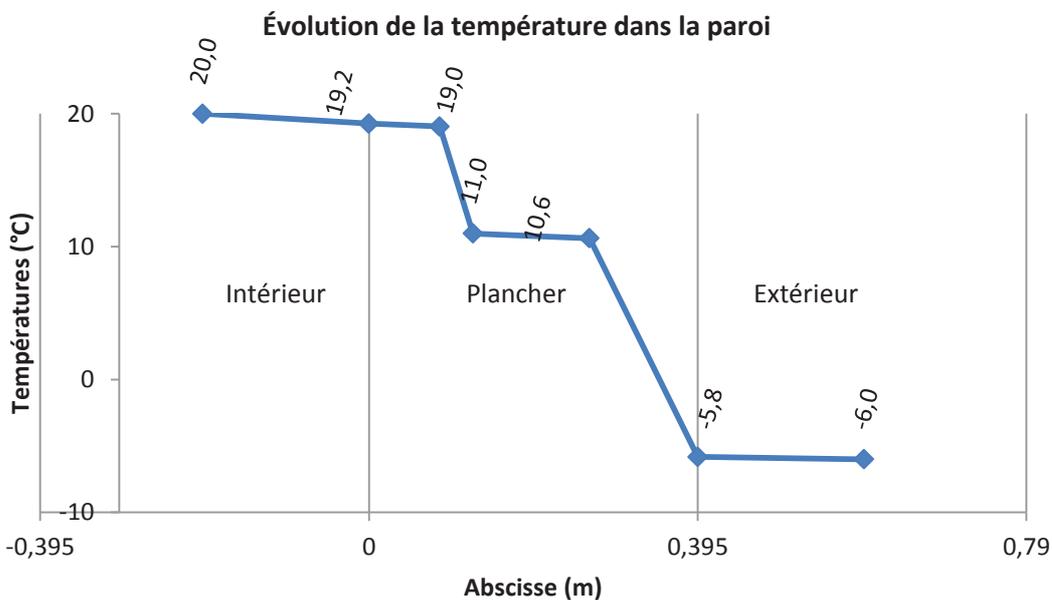
Choix isolant Rockfeu REI 120 de **130 mm avec R= 3,75 m²·K·W⁻¹**

Le calcul, pour être plus précis, **aurait dû prendre en compte les ponts thermiques linéiques** créés par les profilés HEB300 et **les ponts thermiques ponctuels** des fixations.

Question 6

$$6.1 \text{ Flux de chaleur : } \phi = U \cdot \Delta T = 0,17 \times [20 - (-6)] = 4,42 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Matériaux	Abscisse (m)	Épaisseur (m)	λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	R ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
R_{si}				0,17	20
Chape + revêtement	0	0,085	1,75	0,049	19,25
Polyuréthane	0,085	0,04	0,022	1,818	19,03
Béton	0,125	0,14	1,75	0,080	10,98
Isolant sous face LdR	0,265	0,13	0,035	3,714	10,63
R_{se}				0,04	-5,82
				R	5,871
				$U=$	0,170
					$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$



6.2 Pressions saturantes

$T(^{\circ}\text{C})$	P_s (Pa)
20	2 339,0
19,25	2 233,6
19,03	2 203,5
10,98	1 311,3
10,63	1 281,6
-5,82	374,0
-6,00	368,0

6.3 Pressions réelles

$$P_{se} (-6^{\circ}\text{C}) = 368 \text{ Pa}$$

$$P_e (\text{HR}=95 \%) = 0,95 \times 368 = 349,6 \text{ Pa}$$

$$S_{d1} = 130 \times 0,085 = 11,05 \text{ m, etc.}$$

$$S_{\text{GLOBAL}} = \sum S_d = 11,05 + 2,40 + 18,20 + 0,13 = 31,78 \text{ m}$$

$$P_{si} (20^{\circ}\text{C}) = 2 339 \text{ Pa}$$

$$P_e (\text{HR}=95 \%) = 0,60 \times 2339 = 1 403,4 \text{ Pa}$$

Flux de vapeur : $\left[\text{NOTA: } m = \frac{g}{\pi_{\text{air}}} \right]$

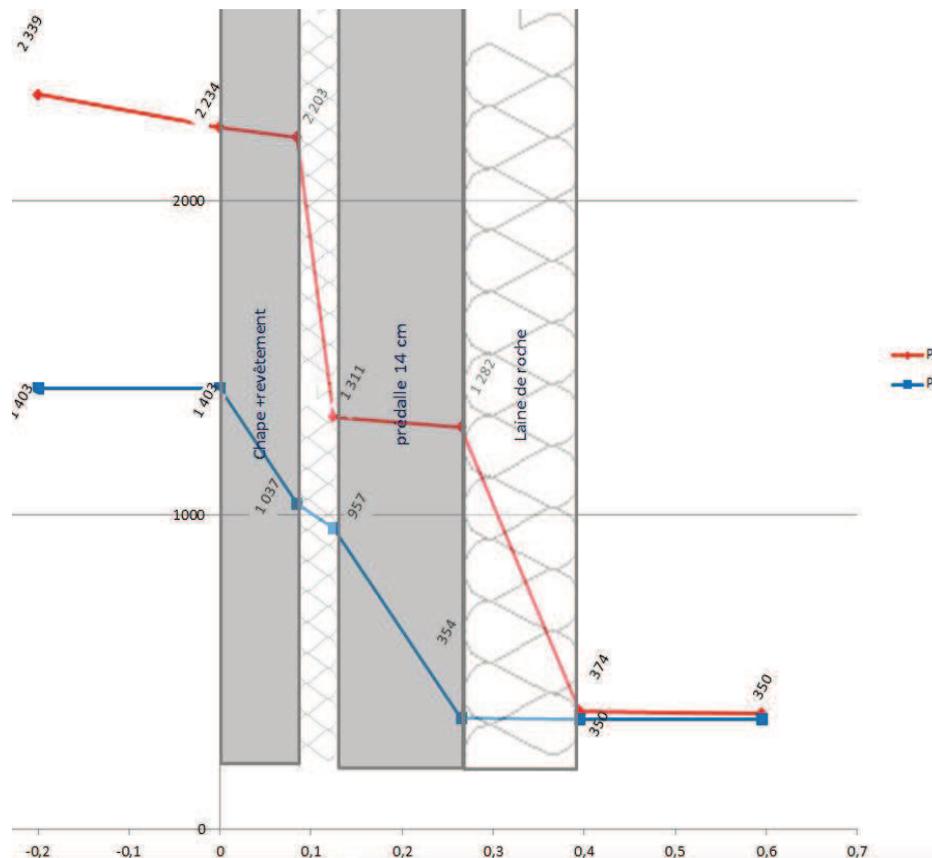
$$m = \frac{\Delta P}{S_{\text{GLOBAL}}} = \frac{1403,4 - 349,6}{31,78} = \mathbf{33,16 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}} \quad (g = 6,135 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$P_{V1} = P_i - R_{D1} \times g = P_i - R_{D1} \times (m \times \pi_{\text{air}}) = P_i - \frac{S_{D1}}{\pi_{\text{air}}} \times (m \times \pi_{\text{air}}) =$$

$$P_{V1} = P_i - S_{D1} \times m = 1403,4 - 1105 \times 33,16 = 1036,99 \text{ Pa}$$

Et ainsi de suite pour les pressions de vapeur aux autres interfaces.

Matériaux	Épaisseur (m)	Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur μ	S_d (m)	P_v (Pa)
Chape+revêtement	0,085	130	11,05	1 403,40
Polyuréthane	0,04	60	2,40	1 036,99
Béton	0,14	130	18,20	957,41
Isolant sous face LdR	0,13	1	0,13	353,91
			$S_{\text{GLOBAL}} =$	31,78



La composition de la paroi permet d'éviter les risques de condensation dans la paroi. La pression de vapeur réelle est toujours inférieure à la pression de vapeur saturante.

Néanmoins, même dans d'autres configurations hygrométriques, le risque sera limité, car l'isolant sous chape est revêtu sur les deux faces. Donc la vapeur d'eau ne peut pas migrer.

Question 7

Aire d'absorption équivalente du couloir :

$$A = S_{sol} \cdot 0,20 + S_{plafond} \cdot 0,10 + S_{mur} \cdot 0,02 + S_{porte} \cdot 0,08 \geq \frac{S_{sol}}{4}$$

$$A = S_{sol} \cdot 0,20 + S_{plafond} \cdot 0,10 + S_{mur} \cdot 0,02 + S_{porte} \cdot 0,08 \geq 0,25 \cdot S_{sol}$$

Or $S_{sol} = S_{plafond}$ soit :

$$S_{sol} \cdot 0,20 + S_{sol} \cdot 0,10 + S_{mur} \cdot 0,02 + S_{porte} \cdot 0,08 \geq 0,25 \cdot S_{sol}$$

$$0,30 \cdot S_{sol} + S_{mur} \cdot 0,02 + S_{porte} \cdot 0,08 \geq 0,25 \cdot S_{sol}$$

Respecté, car $0,30 > 0,25$! Inutile de faire le calcul...

Question 8

Bruits aériens : bruits se déplaçant dans l'air ($340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

La mesure de l'isolement acoustique d'un local s'effectue en mettant en place dans un local d'émission une machine à bruit (bruit rose à l'émission) et en mesurant le niveau sonore dans le local de réception à l'aide d'un sonomètre. L'étude s'effectue en général par bande d'octaves ou par un tiers d'octave pour plus de précision.

Bruits de chocs ou bruits d'impacts : bruits se déplaçant dans les solides dus aux chocs sur un plancher ou un mur.

La vérification du bon isolement d'un plancher vis-à-vis de ces bruits se fait à l'aide d'une machine à choc, munie de 5 marteaux, posée sur le plancher du local d'émission. Le niveau sonore est mesuré dans le local réception et ne doit pas dépasser un certain seuil.

Question 9

Intérêt d'étudier cette zone :

- plus le volume de réception V est petit, plus le calcul d'isolement est défavorable d'après l'expression

$$D_{nT,A} = [R_w + C] + 10 \cdot \log\left(\frac{0,32 \cdot V}{S}\right) - A$$

- de plus, l'objectif visé n'est pas la NRA2000, mais le niveau NF Habitat HQE qui est plus contraignant lorsque le local de réception est un studio.

Vérifications

Bruits aériens

	NF Habitat HQE
Lorsque le local de réception est une chambre ou une pièce principale d'un studio.	$D_{nT,A} \geq 58 \text{ dB}$

1. Détermination de l'indice d'affaiblissement de la prédalle béton par la loi de masse

$$m_S = 0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$(R_w + C) = (40 \log 336) - 47$$

$$(R_w + C) = 54 \text{ dB}$$

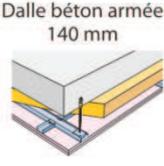
2. Prise en compte de la chape flottante

$$17 \leq \Delta L_w \leq 20 \text{ dB et } e \geq 10 \text{ mm.}$$

$$(R_w + C) = (R_w + C)_{\text{support}} + 1 \text{ dB}$$

$$(R_w + C) = 54 + 1 = \mathbf{55 \text{ dB}}$$

3. Prise en compte du faux plafond avec laine minérale (Solution Placoplatre)

Type de support	Dénomination commerciale	Descriptif de la solution	Performance acoustique	Rapport d'essai
 <p>Dalle béton armée 140 mm</p>	Plafond Placostil®	Plafond suspendu constitué de : cavaliers F 530 + 1 Placoplatre® BA13 + laine minérale 85 mm	Support : $R_w = 56(-2;-7)$ dB Support + plafond Placostil® : $R_w = 68(-3;-10)$ dB $R_A = 65$ dB $R_{AT} = 58$ dB $L_{n,w} = 65$ dB	AC98-127

$$\Delta R_w + C = (68-3) - (56-2) = 65-54$$

$$\Delta R_w + C = \mathbf{11 \text{ dB}}$$

$$(R_w + C) = 55 \text{ dB} + 11 \text{ dB} = \mathbf{66 \text{ dB}}$$

4. Calcul prévisionnel simplifié de l'isolement acoustique entre deux locaux :

$$D_{nT,A} = (R_w + C) + 10 \log \left(\frac{0,32V}{S} \right) - A$$

$$S = 3,76 + 18,56 = 22,32 \text{ m}^2$$

$$V = 22,32 \times 2,50 = 55,800 \text{ m}^3$$

$$D_{nT,A} = 66 + 10 \cdot \log \left(\frac{0,32 \times 55,800}{22,32} \right) - 5 = \mathbf{60 \text{ dB}}$$

$D_{nT,A} > 58$ dB, l'isolement aux bruits aériens est satisfaisant pour respecter la NF Habitat HQE.

Bruits d'impacts

	NF Habitat HQE
Lorsque le local de réception est une chambre ou une pièce principale d'un studio.	$L'_{nT,w} \leq 52$ dB

Sans prendre le faux plafond :

$$L'_{nT,w} = L_{n,w} - \Delta L_w + 15 - 10 \cdot \log(V) + A + K$$

⇒ Exigence non respectée (> 52 dB)

$$L'_{nT,w} = 75 - 18 + 15 - 10 \cdot \log(55,800) + 5 + 0 = \mathbf{59,5 \text{ dB}}$$

Avec prise en compte du faux plafond :

$$L'_{nT,w} = L_{n,w} - \Delta L_w + 15 - 10 \cdot \log(V) + A + K$$

⇒ Exigence respectée (≤ 52 dB)

$$L'_{nT,w} = 65 - 18 + 15 - 10 \cdot \log(55,800) + 5 + 0 = \mathbf{49,5 \text{ dB}}$$

Question 10

	NF Habitat HQE
Lorsque le local de réception est une chambre ou une pièce principale d'un studio.	$D_{nT,A} \leq 45$ dB

Indice d'affaiblissement minimal porte + cloison :

$$D_{nT,A} = (R_w + C) + 10 \cdot \log \left(\frac{0,32 \cdot V}{S} \right) - 5 + N - \frac{Sr}{10}$$

$$\text{Volume : } 55,800 \text{ m}^3$$

$$S = 4,13 \text{ m}^2$$

$$N = 0$$

$$Sr = 0$$

donc : $(R_w+C) = - (10 \log (0,32 \cdot V/S) - 5 + N - \underline{Sr}/10$

$$(R_w+C) = \mathbf{43,6 \text{ dB}} \text{ Soit } > \mathbf{44 \text{ dB}}$$

Question 11

11.1 Affaiblissement minimal de la menuiserie $R_{W+C_{porte}} = 38 \text{ dB}$ dans le CCTP

$$R_g = 10 \cdot \log \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i \cdot 10^{-\frac{R_i}{10}}}$$

$$44 = 10 \cdot \log \frac{4,13}{2,03 \times 10^{-\frac{38}{10}} + 2,10 \times 10^{-\frac{R}{10}}}$$

On inverse le logarithme décimal pour isoler R :

$$10^{\frac{44}{10}} = \frac{4,13}{2,03 \times 10^{-\frac{38}{10}} + 2,10 \times 10^{-\frac{R}{10}}}$$

$$2,03 \times 10^{-3,8} + 2,10 \times 10^{-\frac{R}{10}} = \frac{4,13}{10^{4,4}}$$

$$10^{-\frac{R}{10}} = \frac{1}{2,10} \left[\frac{4,13}{10^{4,4}} - 2,10 \times 10^{-3,8} \right]$$

$$R = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{2,10} \left[\frac{4,13}{10^{4,4}} - 2,10 \times 10^{-3,8} \right] \right) = -10 \cdot \log(-7,5 \cdot 10^{-5}) \text{ PAS DE SOLUTION}$$

Le label ne peut être atteint en conservant cette menuiserie. On devra changer de menuiserie ou se contenter du niveau NRA2000 ($D_{nTA} = 40 \text{ dB}$). Le niveau sonore d'une paroi composite est toujours plus proche de l'élément le plus faible (dans ce cas, la porte).

11.2

Affaiblissement minimal de la menuiserie $R_{W+C_{porte}} = 38 \text{ dB}$ dans le CCTP.

Affaiblissement minimal de la cloison $R_{W+C_{cloison}} = 67 \text{ dB}$ dans le CCTP.

$$R_g = 10 \cdot \log \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i \cdot 10^{-\frac{R_i}{10}}}$$

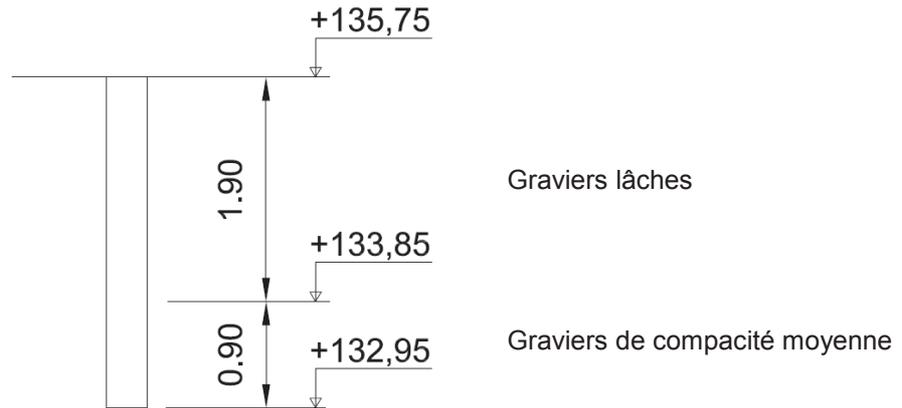
$$R_g = 10 \cdot \log \frac{4,13}{2,03 \times 10^{-\frac{38}{10}} + 2,10 \times 10^{-\frac{67}{10}}} = \mathbf{41,1 \text{ dB}}$$

$$D_{nT,A} = (R_w + C) + 10 \cdot \log \left(\frac{0,32 \cdot V}{S} \right) - 5 + N - \frac{Sr}{10}$$

$$D_{nTA} = 41,1 + 10 \cdot \log \frac{0,32 \times 55,800}{4,13} - 5 = \mathbf{42,4 \text{ dB}}$$

Le niveau NRA2000 est bien vérifié ($D_{nTA} > 40 \text{ dB}$), mais le label NF Habitat HQE ne l'est pas.

Question 12



Résistance de pointe :

$$R_b = A_b \cdot q_b$$

Avec :

$$q_b = k_p \cdot \rho_{ie}^* = 2 \cdot 1 = 2,6 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 0,34 \cdot 0,34 = 0,1156 \text{ m}^2$$

$$R_b = 300,56 \text{ kN}$$

Résistance de frottement latéral : $R_s = q_s \cdot D \cdot P_s$

$$\Rightarrow R_s = 25 \cdot 0,34 \cdot 4 \cdot 1,9 + 80 \cdot 0,34 \cdot 4 \cdot 0,9$$

$$R_s = 162,52 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow R_c = R_b + R_s, \text{ donc } R_c \approx 463 \text{ kN}$$

Question 13

$$R_{C/3pieux} = 3 \cdot 463 = 1\,389 \text{ kN}$$

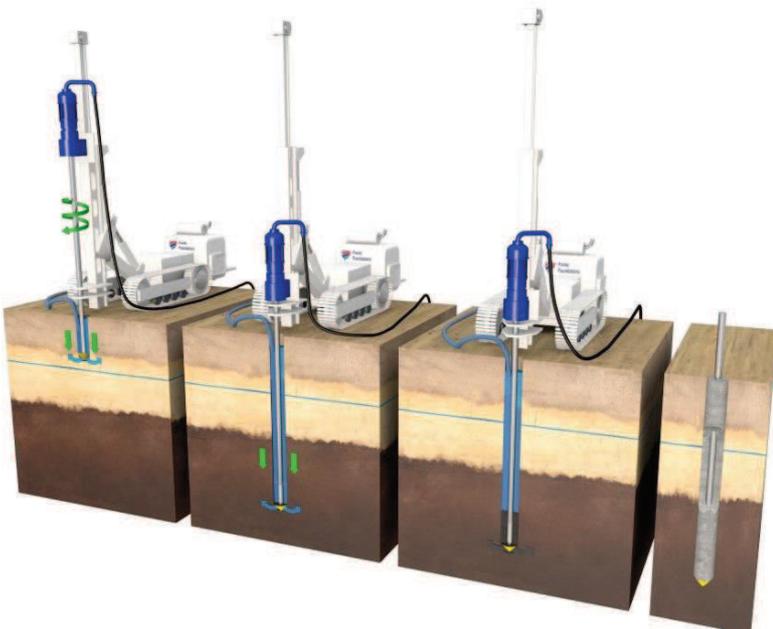
Question 14

Le micropieu est un pieu foré de faible diamètre mis en place dans le sol par injection de coulis de ciment et équipé le plus souvent d'une armature métallique perdue (barre, tube d'acier, profilé métallique...). Le pieu est foré à l'air comprimé ou au moyen d'un fluide de forage (eau, coulis de ciment, bentonite).

Procédé d'exécution

1. Mise en place du premier tube de forage, pourvu du taillant, et démarrage du forage sous fluide à travers le tube de forage.
2. Couplage des tubes de forage et poursuite du forage sous fluide de forage jusqu'au niveau d'assise désiré.
3. La profondeur prescrite atteinte, remplacement du fluide de forage par un coulis de scellement (coulis de ciment). Exécution de l'injection du mortier de scellement sous pression.
4. Micropieu achevé.

Question 15

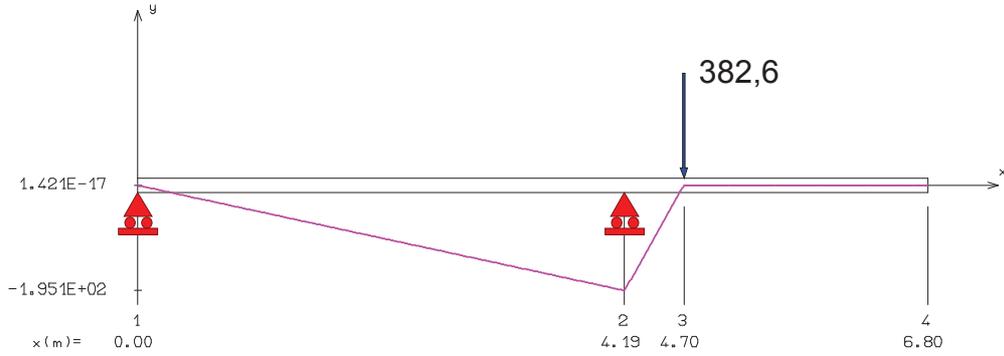


Logements						
Charges permanentes						
	Plancher	650	4,5	2925		
	Poids propre			117		
				g1 =	3 042	daNžm⁻¹
Charges d'exploitation						
		150	4,5	675		
				q1 =	675	daNžm⁻¹
Balcons						
Charges permanentes						
	Plancher	100	4,5	450		
	Poids propre			117		
				g2 =	567	daNžm⁻¹
Charges d'exploitation						
		350	4,5	1575		
				q2 =	1575	daNžm⁻¹

Question 16

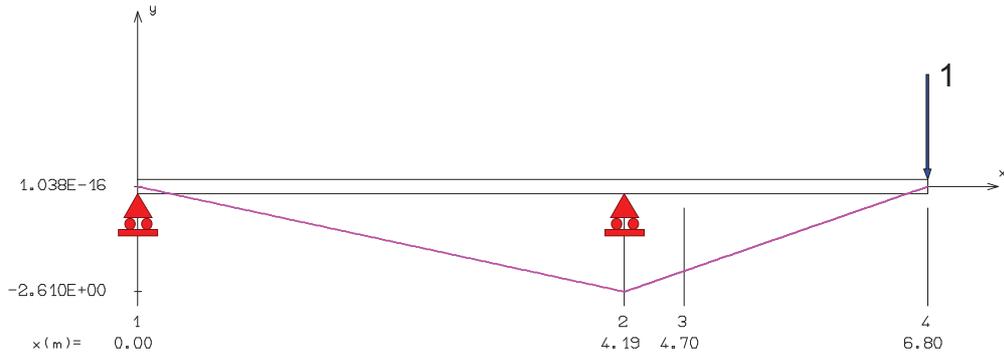
Structure (S)

MOMENT FLECHISSANT [kN.m]



Structure (\bar{S})

MOMENT FLECHISSANT [kN.m]



$$E \cdot I \cdot \Delta_F = \int_{\text{structure}} M(x) \cdot \bar{M}_j(x) \cdot dx$$

$$= \int_0^{4,19} \begin{matrix} \text{triangle} \\ \text{height } -195,1 \end{matrix} \begin{matrix} \text{triangle} \\ \text{height } -2,61 \end{matrix} + \int_{4,19}^{4,7} \begin{matrix} \text{triangle} \\ \text{height } -195,1 \end{matrix} \begin{matrix} \text{trapezoid} \\ \text{heights } -2,61 \text{ and } -2,10 \end{matrix} dx$$

$$= \frac{1}{3} \times 4,19 \times 195,1 \times 2,61 + \frac{1}{6} \times 0,51 \times 195,1 \times (2 \times 2,61 + 2,10)$$

$$= 711,20 + 122,03$$

$$= 833,23$$

$$\Delta_F = \frac{833,23 \cdot 10^{-3}}{210000 \times 25170 \cdot 10^{-8}} = 0,0158 \text{ m}$$

$$\Delta_F = 1,58 \text{ cm}$$

Question 17

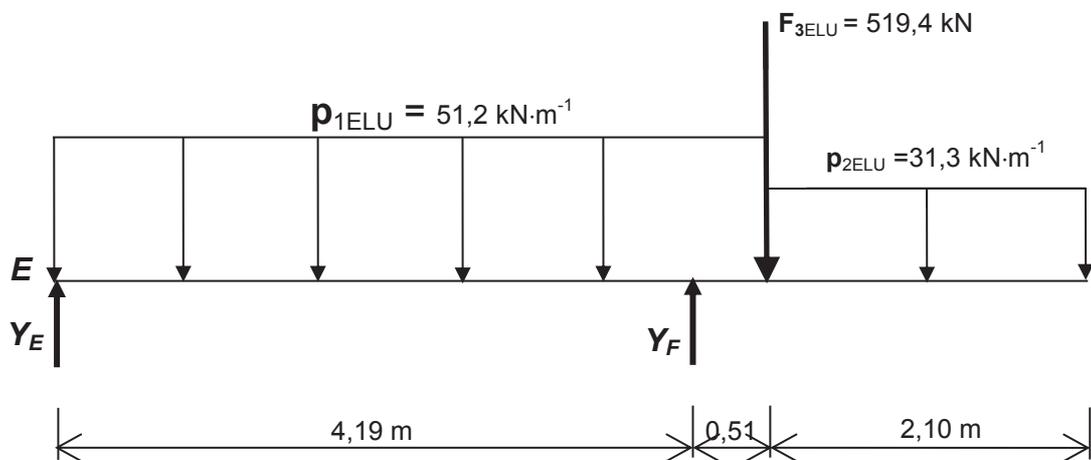
$$f_{adm} = \frac{L}{200} = \frac{261}{200} = 1,30 \text{ cm} < f_{calculée} = 1,58 \text{ cm}$$

En conclusion, la rigidité du profilé HEB 300 est insuffisante.

Question 18

Moment quadratique du HEM 280 plus élevé (39 550 cm⁴ contre 25 170 cm⁴ pour le HEB300) grâce à :

- une plus grande hauteur ;
- des épaisseurs d'âmes et surtout d'ailes plus importantes.

Question 19

$$Y_F = \frac{51,2 \times 4,7 \times 2,35 + 31,3 \times 2,10 \times 5,75 + 519,4 \times 4,7}{4,19}$$

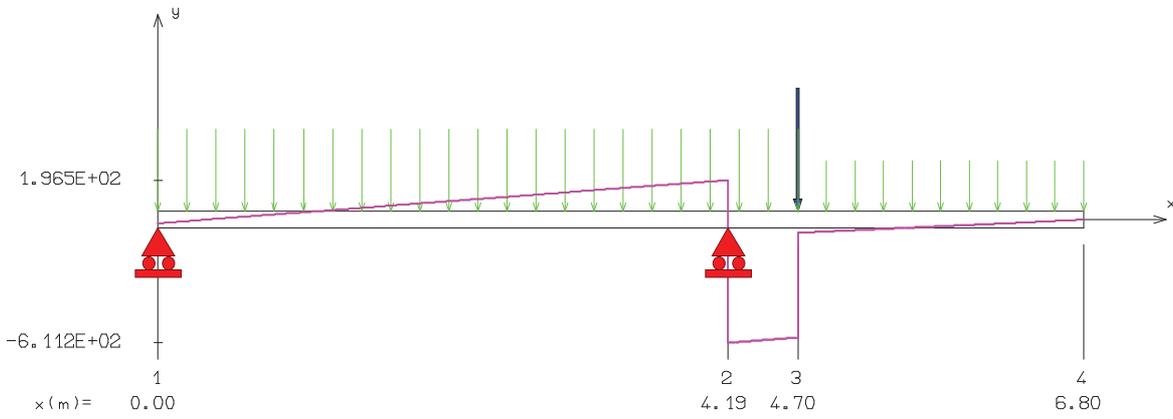
$$Y_F = 807,8 \text{ kN}$$

$$Y_E = 51,2 \times 4,7 + 31,3 \times 2,10 + 519,4 - 807,84$$

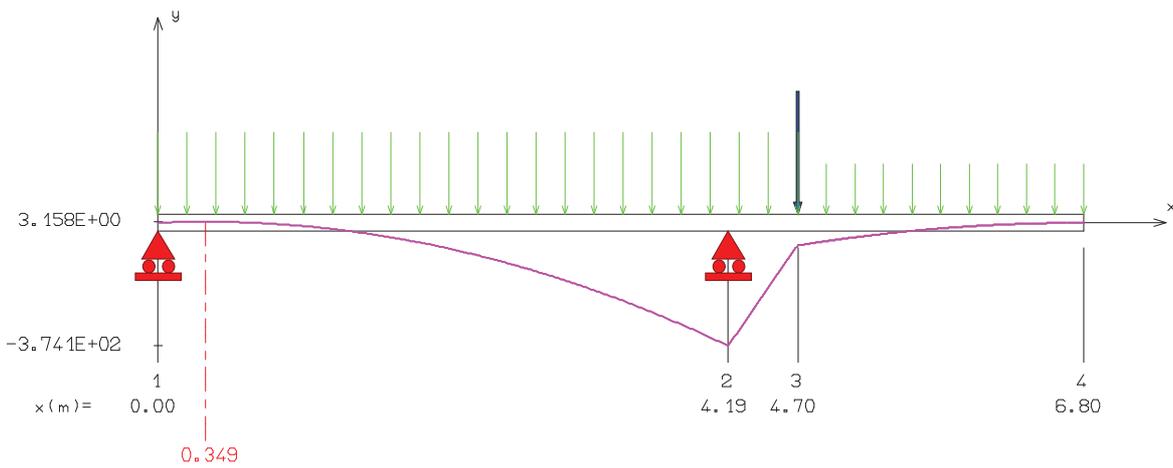
$$Y_E = 17,97 \text{ kN}$$

Question 20

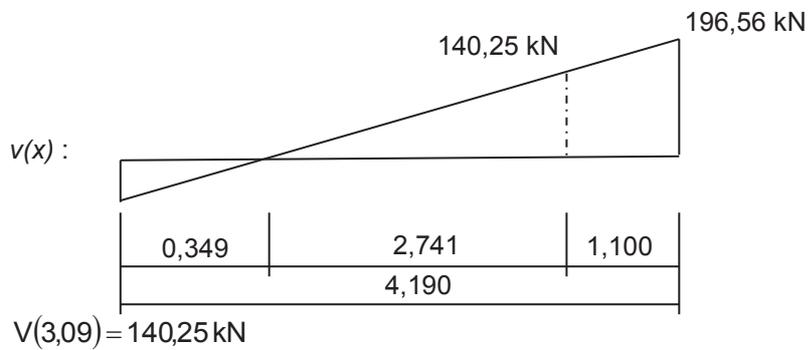
EFFORT TRANCHANT [kN]



MOMENT FLECHISSANT [kN.m]



Question 21



$$M(3,09) = -374,25 + \frac{196,56 + 140,25}{2} \times 1,10$$

$$M(3,09) = 189 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Question 22

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 600 \times 561}{1,5} \times 10^{-3}$$

$$F_{t,Rd} = 201,96 \text{ kN}$$

Question 23

Les boulons les plus sollicités sont ceux qui sont les plus éloignés de l'axe de compression, c'est-à-dire ceux qui se trouvent au-dessus de l'aile supérieure des profilés.

Question 24

$$N_1 = \frac{M \times d_1}{\sum d_i^2} = \frac{190 \times 0,342}{0,342^2 \times 0,192^2 \times 0,092^2} = 400,4 \text{ kN}$$

Il y a deux boulons sur cette rangée, chaque boulon doit donc reprendre un effort de traction $F_{t,Ed}$ égal à :

$$\frac{N_1}{2} = \frac{400,4}{2} = 200,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 200,20 \text{ kN} < F_{t,Rd} = 201,96 \text{ kN}$$

En conclusion, l'assemblage est bien dimensionné vis-à-vis du moment fléchissant.

Question 25

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_V \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \times 600 \times 561}{1,25} \times 10^{-3}$$

$$F_{V,Rd} = 134,64 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{\text{assemblage}}}{F_{V,Rd}} = \frac{V(3.09)}{F_{V,Rd}} = \frac{140,25}{134,64} = 1,04 \Rightarrow 2 \text{ boulons suffisent pour reprendre l'effort tranchant.}$$

$$F_{V,Ed} = \frac{140,25}{6} = 23,4 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{23,4}{134,64} + \frac{200,2}{1,4 \times 201,96} = 0,88 < 1 \Rightarrow \text{vérifié.}$$

Question 26

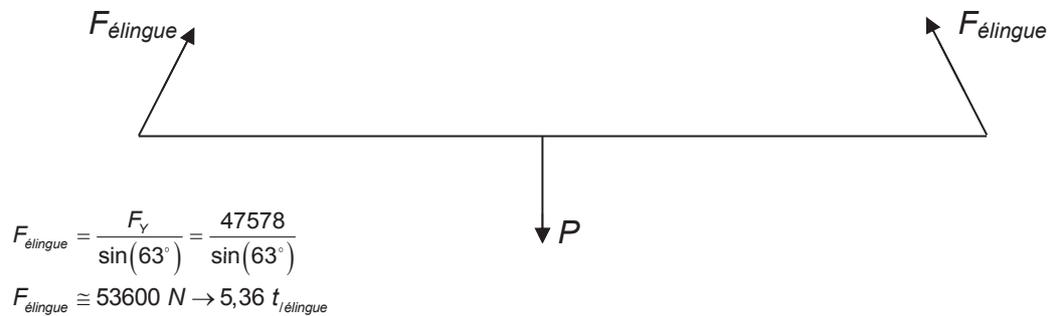
Désignations / Calculs	Longueur (m)	Masse linéique (kg·m ⁻¹)	Masse (kg)
HEA 300 3,705 x 1 = 3,71 12,557 x 1 = 12,56 2,484 x 2 = 4,97 4,17 x 2 = 8,34 9,626 x 1 = 9,63 ens	39,20	88,3	3461,0
HEA 280 9,00 x 2 =	18,00	76,4	1375,2
HEB 300	17,50	117,0	2047,5
PL 25*270 10,05 x 2 =	20,10	53,0	1065,1
PL 20*200 10,05 x 4 =	40,20	31,4	1262,3
		Total	9211,1

Masse linéique PL25*270 = 7850×0,025×0,27=52,99 kg·m⁻¹

$$M_{TOTAL} = 9211 \times 1,05 = 9671,55 \cong 9700 \text{ kg}$$

Question 27

$$P = 9700 \cdot 9,81 = 95157 \text{ N}$$



Question 28

Choix : élingues \varnothing 24

Question 29

Hauteur du bâtiment / base de la grue = 21,92+1,16 = 23,08 m

$H_{levage} = 23,08 + 5,36 + 2 = 30,44 \text{ m}$

Portée = 18 m

Capacité de levage de la grue : 13,3 t pour une hauteur de 32 m.