

Étude technico économique

Sous épreuve U42
Analyse, dimensionnement et choix des composants
DURÉE : 4 heures, coefficient : 4

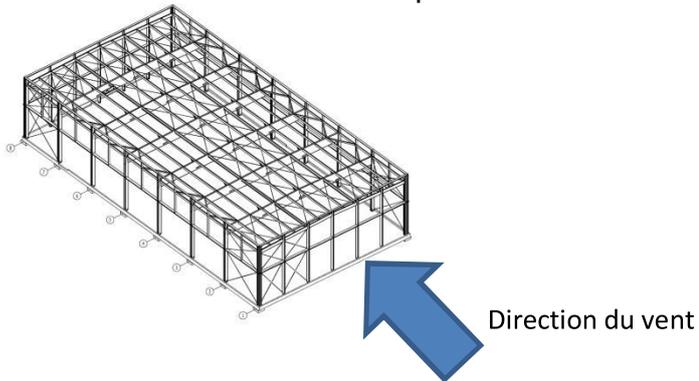
GYMNASE



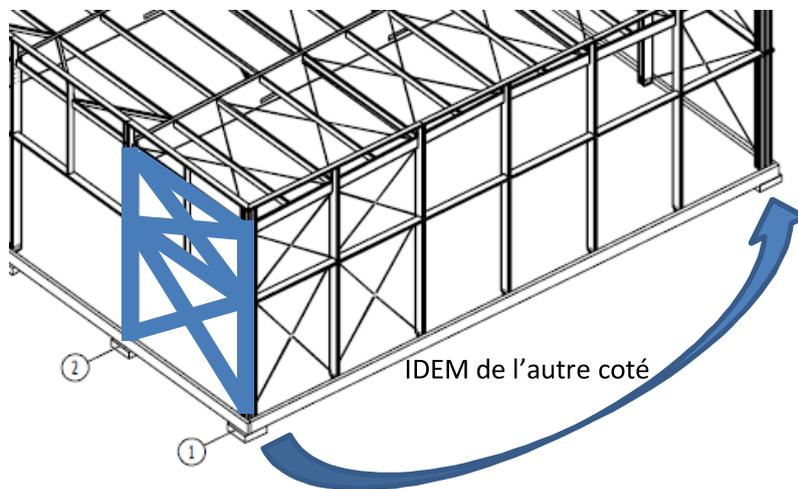
Corrigé

Question 1 : Analyser la stabilité générale de l'ouvrage :

11- Direction du vent sollicitant la poutre au vent située entre files 1 et 2 :



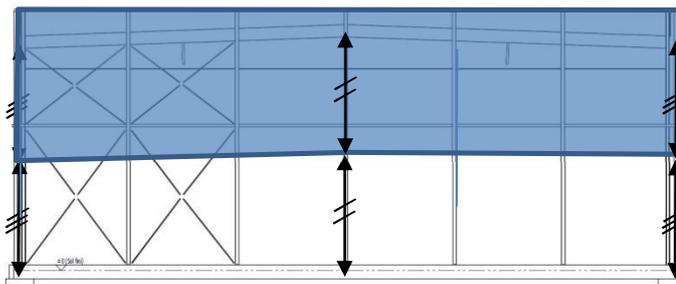
12- Élément complémentaire permettant d'assurer la stabilité globale du bâtiment :
Palée de stabilité



13- Justification de la présence de l'appui horizontal au faîtiage représenté sur le modèle d'étude du portique du DT6 :

Cet appui représente le blocage horizontal réalisé par la poutre au vent qui empêche au portique de basculer dans son propre plan.

14- Surface chargée par le vent :



15- Effort maxi dans les tirant métallique : $N_{Maxi} = 21254.5 \text{ N}$ (Tirants 44 et 55)

16- Validation du diamètre du tirant métallique :

Charges de dimensionnement, longueurs des tirants, matériaux : acier classe de résistance S355 (Ø ds 10-12) ou S460N																	
Ø système d_s [mm]	10	12	16	20	24	27	30	36	42	48	52	56	60	76	85	95	
Charges de dimensionnement du système																	
Val. de calcul de résistance ETA/EC3 $N_{R,d}$ [kN] ②	21.3	30.94	70.5	110.2	158.6	206.7	252.3	367.5	504.4	662.9	791.0	913.5	1063	1750	2227	2823	
Charge en traction CM66 (ELS) [kN]	16.4	23.9	58	90	130	169	206	301	412	542	647	747	869	1431	1821	2308	
Longueurs minimales du système L [mm]																	
Acier brut	250	310	360	440	520	560	600	700	810	940	990	1050	1160	1480	1640	1810	
Galvanisé à chaud																	
Longueurs maximales du système L avec un tirant [mm] ③																	
Acier brut	6060	6070	12080	12100	12120	12140	12140	12170	12220	12260	12270	12290	12320	15430	15480	15530	
Galvanisé à chaud																	
Longueurs maximales du tirant L [mm]																	
Acier brut	6000									12000				15000			
Galvanisé à chaud																	

Les valeurs dans le tableau ont été calculées à partir de l'Agrément Technique ETA-05/0207, avec un coefficient partiel de sécurité de $\gamma_{M1} = 1.1$ et $\gamma_{M2} = 1.25$. Si d'autres coefficients partiels caractéristiques de sécurité doivent être appliqués, les valeurs de calcul de résistance caractéristique doivent être calculées selon l'ETA-05/0207, chap. 2.1.3.

② $N_{R,d}$: valeurs de calcul de résistance caractéristique selon le rapport d'essais S-WUE/060382 base de l'agrément technique ETA-05/0207

③ De plus grandes longueurs du système L sont possibles à partir de plusieurs tirants et de manchons de raccordement.

Les tirants ont un diamètre de 30mm (d'après la liste de bois et quincaillerie).
D'après le tableau ci-dessus, pour un tirant de 30 mm, $N_{R,d} = 252\ 300 \text{ N}$

On a $N_{Maxi} = 21\ 254.5 \text{ N} < N_{R,d} = 252\ 300 \text{ N} \Rightarrow$ Diamètre validé

Question 2 : Justifier les caractéristiques de mise en œuvre des bacs acier :

21- Charge surfacique permanente G (en daN/m²) :

Élément	Valeur en daN/m ²
Membrane d'étanchéité Type ELASTOPHENE FLAM 25 SOPREMA	$= 3.57 * 2 = 7.14$
Isolant rigide 80 mm + 160 mm Laine de verre 180kg/m³ => 180*(0.08+0.16)	$= 43.2$
Feutre acoustique + pare vapeur Type Rocksourdine	= négligé
TOTAL	G= 50.34 daN/m²

22- Charge surfacique normale de neige S (en daN/m²)

• **Hypothèses :**

- Région Loire Atlantique A1,
- Altitude : 27 m,
- Pente: 2° ou 3.5 % => toiture plate

$$S_{k200} = 0.45 \text{ kN / m}^2 \text{ horizontal}$$

Altitude < 200 m donc

$$S_k = S_{k,200} = 0.45 \text{ kN / m}^2 \text{ h}$$

• Calcul de la charge de neige normale : S

$$S_{\text{horizontal}} = (\mu_i \times C_e \times C_t \times S_k) + 0.1 \text{ (coefficient toiture faible pente).}$$

Avec $\mu_i = \mu_1 = 0.8$ car toiture plane

$$S_{\text{horizontal}} = (0.8 * 1 * 1 * 0.45) + 0.1$$

$$S_{\text{horizontal}} = 0.46 \text{ kN / m}^2 \text{ h}$$

$$S_{\text{rampant}} = 0.46 * \cos 2 = 0.46 \text{ kN/m}^2 \text{ r}$$

$S = 46 \text{ daN/m}^2$

23- Choix entraxe et épaisseur du bac acier :

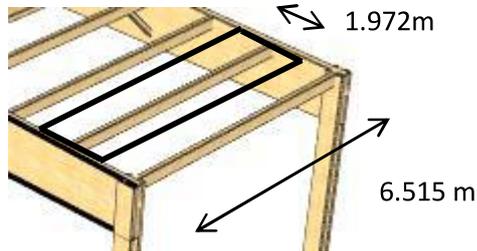
Chargement G= 50.34 daN/m² et S = 46 daN/m² + Entraxe de 1.972 m sur bâtiment
=> épaisseur de 0.75 mm suffit car valable pour entraxe maxi de 2.45 m > 1.972 m.

TABEAU D'UTILISATION (pour travées égales)

	Charges d'exploitation da N/m ²	Charges permanentes da N/m ²	Total des charges descendantes da N/m ²	ÉPAISSEUR (mm)											
				2 APPUIS				3 APPUIS				4 APPUIS			
				0,75	0,88	1,00	1,25	0,75	0,88	1,00	1,25	0,75	0,88	1,00	1,25
	100	10	110	3,10	3,25	3,40	3,65	4,00	4,20	4,40	4,70	3,75	3,95	4,10	4,45
	100	15	115	3,10	3,25	3,40	3,65	4,00	4,20	4,40	4,70	3,75	3,95	4,10	4,40
HACIERO 56 SP	100	20	120	3,05	3,25	3,35	3,60	3,95	4,15	4,35	4,65	3,70	3,90	4,05	4,35
	100	25	125	3,05	3,20	3,30	3,55	3,90	4,10	4,25	4,60	3,70	3,85	4,00	4,30
	100	100	200	2,60	2,75	2,85	3,05	3,35	3,55	3,70	3,95	3,15	3,35	3,45	3,70
PV SOCOTEC LG 3765	125	25	150	2,85	3,00	3,15	3,35	3,70	3,90	4,05	4,35	3,45	3,65	3,80	4,05
	150	25	175	2,70	2,85	2,95	3,20	3,50	3,65	3,85	4,10	3,25	3,45	3,60	3,90
	175	25	200	2,55	2,70	2,80	3,05	3,30	3,50	3,65	3,90	3,10	3,30	3,40	3,70
	200	25	225	2,45	2,60	2,70	2,90	3,15	3,35	3,50	3,75	2,95	3,15	3,25	3,55
	100	10	110	2,40	2,75	3,00	3,20	2,95	3,40	3,60	3,85	2,95	3,35	3,50	3,80
	100	15	115	2,40	2,75	3,00	3,20	2,95	3,35	3,55	3,85	2,95	3,35	3,50	3,75
HACIERO 56 SPS	100	20	120	2,40	2,75	2,95	3,15	2,95	3,30	3,50	3,80	2,95	3,35	3,45	3,70
	100	25	125	2,40	2,75	2,90	3,10	2,95	3,20	3,40	3,75	2,95	3,30	3,45	3,65
	100	100	200	2,20	2,40	2,50	2,70	2,40	2,60	2,80	3,10	2,45	2,75	2,90	3,15
PV SOCOTEC QG 0024-03	125	25	150	2,40	2,65	2,75	2,95	2,75	2,95	3,15	3,50	2,85	3,10	3,25	3,45
	150	25	175	2,35	2,50	2,60	2,80	2,55	2,75	2,90	3,25	2,65	2,85	3,05	3,30
	175	25	200	2,10	2,35	2,50	2,65	2,35	2,55	2,75	3,05	2,35	2,65	2,85	3,15
	200	25	225	1,90	2,20	2,35	2,55	2,10	2,40	2,55	2,85	2,10	2,45	2,70	3,00

Question 3 : Vérifier réglementairement une panne courante selon l'EC5 :

31- Bande de chargement d'une panne courante:



32- Chargement G en daN/m:

Élément	Valeur en daN/m ²
Membrane d'étanchéité Type ELASTOPHENE FLAM 25 SOPREMA	= 3.57 * 2
Isolant rigide 80 mm + 160 mm Laine de verre 180kg/m ³ => 180*(0.08+0.16)	= 43.2
Feutre acoustique + pare vapeur Type Rocksourdine	Négligé
Bacs acier Hacierco 56 SPS Arval	7.84 daN/m ²
Pannes (GL24h) (b x h x ρ) / entraxe = (0.09 x 0.27 x 440) / 1.972	5.42 daN/m ²
TOTAL	G= 65.42 daN/m ² G = 65.42*1.972 = G = 129 daN/m

58.18 daN/m²

=> 60 daN/m²

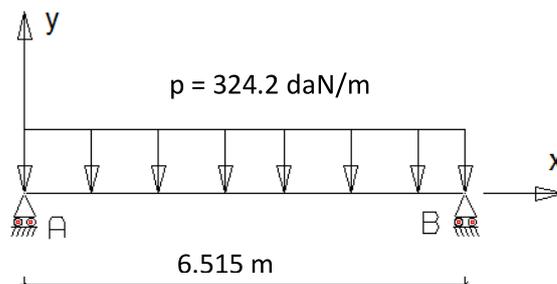
33- Chargement linéique p en daN/m:

$$p = 1.35 G + 1.5 S$$

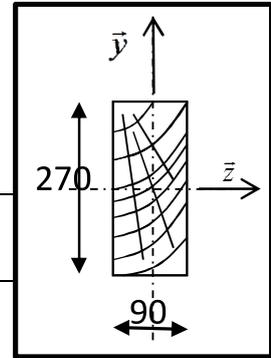
$$p = 1.35 * 129 + 1.5 * 100$$

$$p = 324.2 \text{ daN/m}$$

34- Modèle d'étude de la panne:



351- Vérification panne à l'ELU en flexion simple :



Vérification de la résistance (ELU) de la panne en flexion simple

$\sigma_{m,z,d}$: contrainte de flexion induite par la combinaison d'actions des ELU en MPa:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{\|\vec{M}_{f,z,maxi}\|}{\frac{I_{G,z}}{V_z}}$$

Avec :

- $\|\vec{M}_{f,z,maxi}\| = \frac{pl^2}{8}$
- $I_{G,z}$: Moment quadratique
(= $bh^3/12$ pour une section rectangulaire disposé sur chant)
- V : distance à la fibre neutre
(= $h/2$ pour une section rectangulaire disposé sur chant)

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6pl^2}{8bh^2} = \frac{6 * 3.24 * 6515^2}{8 * 90 * 270^2} = 15.73 \text{ Mpa}$$

$f_{m,z,d}$: Résistance de flexion simple calculée en MPa

$$f_{m,z,d} = f_{m,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

Avec :

- $f_{m,k} = 24 \text{ Mpa}$
- $k_{mod} = 0.9$ charge de court terme et classe de service 1
- $\gamma_M = 1.25$

$$f_{m,z,d} = 24 \times \frac{0.9}{1.25} = 17.28 \text{ MPa}$$

Taux de travail ou équation à satisfaire

$$\psi = \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d} \times k_{crit} \times k_{sys} \times k_h}$$

Avec :

- k_{crit} : Coefficient d'instabilité provenant du déversement = 1
- k_{sys} : Coefficient d'effet système = 1
- k_h : Coefficient de hauteur

Pour le BLC : Si $h \leq 600 \text{ mm}$ alors $k_h = \min(1.1; (\frac{600}{h})^{0.1})$

$$k_h = \min(1.1; 1.08) = 1.08$$

$$\psi = \frac{15.73}{17.28 \times 1 \times 1 \times 1.08} = 0.84$$

$$\psi = 84 \%$$

Conclusion : La pièce étudiée est donc vérifiée en flexion simple.

352- Vérification panne à l'ELU en cisaillement longitudinal :

Vérification de la résistance (ELU) de la panne en cisaillement longitudinal

$\sigma_{m,z,d}$: contrainte de flexion induite par la combinaison d'actions des ELU en MPa:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_y}{b \times h}$$

Avec :

$$\triangleright V_y = \frac{pl}{2} = \frac{3.242 \times 6515}{2} = 10561 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{10561}{90 \times 270} = 0.65 \text{ MPa}$$

$f_{m,z,d}$: Résistance de flexion simple calculée en MPa

$$f_{v,d} = f_{v,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

Avec :

- $f_{v,k} = 2.7 \text{ Mpa}$
- $k_{mod} = 0.9$ charge de court terme et classe de service 1
- $\gamma_m = 1.25$

$$f_{v,d} = 2.7 \times \frac{0.9}{1.25} = 1.94 \text{ MPa}$$

Taux de travail ou équation à satisfaire

$$\psi = \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0.65}{1.94} = 0.34$$

$$\psi = 0.34\%$$

Conclusion : La pièce étudiée est donc vérifiée en cisaillement longitudinal.

353- Vérification panne à l'ELS :

$$W_{inst,G} = \frac{5 \times G \times l^4}{384 \times E_{moy} \times I} = \frac{12 \times 5 \times G \times l^4}{384 \times E_{moy} \times b \times h^3} = \frac{12 \times 5 \times 1.29 \times 6515^4}{384 \times 11600 \times 90 \times 270^3} = 17.7 \text{ mm}$$

$$W_{inst,S} = \frac{5 \times S \times l^4}{384 \times E_{moy} \times I} = \frac{12 \times 5 \times S \times l^4}{384 \times E_{moy} \times b \times h^3} = \frac{12 \times 5 \times 1 \times 6515^4}{384 \times 11600 \times 90 \times 270^3} = 13.7 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} = W_{inst,perm} \times (1 + k_{def}) + W_{inst,var} \times (1 + \Psi_2 \times k_{def})$$

$$W_{net,fin} = 17.7 \times (1 + 0.6) + 13.7 \times (1 + 0 \times 0.6)$$

$$W_{net,fin} = 42 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin,lim} = \frac{l}{200} = \frac{6515}{200} = 32.57$$

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin,lim}} = \frac{42}{32.57} = 1.29 \text{ mm} > 1 \Rightarrow \text{NON OK}$$

354- OK à l'ELU mais ne passe pas à l'ELS => Non validé

Question 4: Analyser le comportement d'un poteau de pignon :

41-

412- les actions aux appuis en M et N :

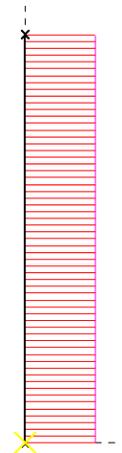
$$M \quad X = (3\,090 \times 8.25)/2 = 12\,746.25 \text{ N}$$

$$Y = + 14\,746 \text{ N}$$

$$N \quad X = 12\,746.25 \text{ N}$$

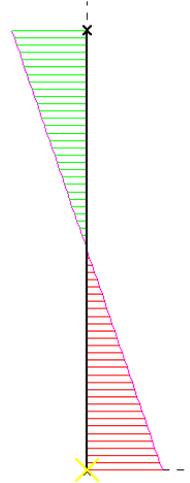
$$Y = 0 \text{ N}$$

413- Diagramme des efforts normaux :



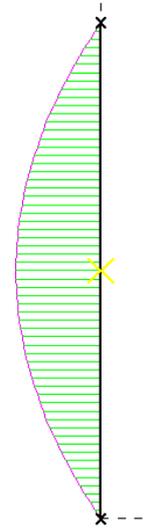
Effort normal : max N = 14746.00 N
max : Poutre 1 - X = 0.00 m

414- Diagramme des efforts tranchants :



Effort tranchant : max TY = 12746,25 N
max : Poutre 1 - X = 0,00 m

415- Diagramme des moments fléchissant :



Moment fléchissant : max MFZ = 26289,14 N.m
max : Poutre 1 - X = 4,13 m

411- Sollicitations auxquelles est soumis le poteau :

Flexion composée : Flexion + Compression et du cisaillement.

42- Définir le rôle des lisses 22 et 23 :

Eviter, lors de la compression du poteau, le flambage de celui-ci.

Question 5 : Vérifier réglementairement un assemblage boulonné :

51- Justifier le fait que sous la combinaison 1,35.G + 1,5.S, l'effort tranchant en tête de poteau est nul :

On a uniquement des actions verticales

52- Identifier l'assemblage proposé sur le DT7 (page 1/1) le plus performant au regard du nombre efficace de tige ; vous justifierez votre réponse

- Disposition 1 : 2 files de 5 boulons

$$n_{\text{ef}} = n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a1}{13d}} = 5^{0,9} \sqrt[4]{\frac{130}{13*16}} = 3.785 \rightarrow 2 \text{ files } \boxed{n_{\text{ef}} = 7.57}$$

- Disposition 2 : 2 files de 3 boulons et 1 file de 4 boulons

$$n_{\text{ef}} = 3^{0,9} \sqrt[4]{\frac{130}{13*16}} = 2.39$$
$$n_{\text{ef}} = 4^{0,9} \sqrt[4]{\frac{130}{13*16}} = 3.096$$

→ $\boxed{n_{\text{ef}} = 2*2.39 + 3.096 = 7.87}$

La disposition 2 est plus efficace que la solution 1

53- Vérifier réglementairement l'assemblage que vous aurez retenu en question 52 puis conclure

Par plan de cisaillement : $F_{v,Rd} = 8153 \text{ N}$

Par boulon : $F_{v,Rd} = 8153 * 2 = 16306 \text{ N}$

Nombre de boulons nécessaires : $Nb = \frac{Fd}{F_{v,Rd}} = \frac{124730}{16306} = 7.65$

Disposition 2 : $7.87 > 7.65 \rightarrow$ Assemblage vérifié

Question 6 : Choisir un composant de confort :

- 61- Facteur intrinsèque membranes : S_d ; il représente la résistance à la diffusion de vapeur, correspondant à l'épaisseur de la couche d'air équivalente à la diffusion exprimée en mètre
- 62- Valeur minimale réglementaire selon du DTU 31-2 : **18 m**
- 63- Simulation la plus sécuritaire au regard des risques de condensation : **proposition B** ; car la présence de la membrane intérieure disposant d'un facteur S_d élevé associé au panneau d'OSB intérieur génère une chute importante de la pression de vapeur saturante. Les 2 courbes ne se croisent pas signifiant une absence de risque de condensation
- 64- Simulation donnant lieu au plus grand risque de condensation : **proposition A** ; car la présence de la membrane intérieure dispose certainement d'un facteur S_d insuffisant associé à un panneau d'OSB extérieur, générant ainsi un risque de condensation à l'interface entre l'isolant et l'OSB

Le choix de la membrane la plus adaptée à cette situation : **Membrane Dörken "Delta-Reflex Plus" (S_d : 150 m) ou Membrane Ampack "Sisalex 514" (S_d : 1800 m)**

Question 7 : Evaluer la performance thermique d'un mur en phase de chiffrage :

711- Les 2 couches 3 & 6 (repérées sur le DR3) de la paroi de mur, n'interviennent pas dans le calcul du U_p , car elles constituent des membranes dont la résistance thermique est qualifiée de négligeable

712- Les 2 couches 7 & 8 (repérées sur le DR3) de la paroi de mur, n'interviennent pas dans le calcul du U_p , car la couche 7 constitue une lame d'air fortement ventilée sans véritable résistance thermique ; on peut considérer qu'à ce niveau l'ambiance est équivalente à l'ambiance extérieure. La couche 8 (bardage) n'a ainsi plus d'influence sur la résistance thermique du mur

721-

	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)
Intérieur : $t_i = 20^\circ\text{C}$ / $H_{r_i} = 50\%$	/	/	$R_{si} = 0,13$
1 : Panneau OSB3 18 mm	0,018	0,13	0,14
2 : Laine de verre 45 mm	0,045	0,04	1,125
3 : Membrane d'étanchéité à l'air	/	/	/
4 : Laine de verre "Isomob 35R"	0,145	(0,035)	4,1
5 : Panneau OSB3 12 mm	0,012	0,13	0,09
6 : Membrane coupe vent	/	/	/
7 : Vide d'air ventilé 27 mm	/	/	$R_{si} = 0,13$ /
8 : Bardage épicéa 21 mm	/	/	/
Extérieur : $t_e = -5^\circ\text{C}$ / $H_{r_e} = 80\%$	/	/	/
		$R_{total,isol.}$ (m².°C/W)	5,715
		$U_{p,isol.}$ (W/m².°C)	0,175

722-

	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
Intérieur : t _i = 20°C / H _{ri} = 50%	/	/	R _{si} = 0,13
1 : Panneau OSB3 18 mm	0,018	0,13	0,14
2 : Laine de verre 45 mm	0,045	0,04	1,125
3 : Membrane d'étanchéité à l'air	/	/	/
4 : Montant d'ossature 145 mm	0,145	0,13	1,115
5 : Panneau OSB3 12 mm	0,012	0,13	0,09
6 : Membrane coupe vent	/	/	/
7 : Vide d'air ventilé 27 mm	/	/	R _{si} = 0,13
8 : Bardage épicea 21 mm	/	/	/
Extérieur : t _e = -5°C / H _{re} = 80%	/	/	/
		R_{total,ossa.} (m ² .°C/W)	2,73
		U_{p,ossa.} (W/m ² .°C)	0,366

723- Up moyen du mur = ((U_{p,isol.} x L_{isol.}) + (U_{p,ossa.} x L_{ossa.})) / e-axe montant
 = ((0,175 x 0,555) + (0,366 x 0,045)) / 0,6 = **0,189 W/m².°C**

724- % de perte "thermique" = ((U_{p,ossa.} x L_{ossa.}) / (U_{p,isol.} x L_{isol.})) x 100
 = ((0,366 x 0,045) / (0,175 x 0,555)) x 100 = **17 %**

Les montants d'ossature constituent alors un **"pont thermique"**

Question 8 : Analyser les résultats de la notice thermique de l'ouvrage :

81- Bbio_{max} :

Bbio_{max,moy} = 44 pts en CE1

Mbsurf = 0 en CE1, car SHONRT > 1000 m²

$M_{bgeo} = 1$ en CE1 et zone H2b

$M_{balt} = 0$ en CE1, car $alt < 400$ m

$B_{bio_{max}} = B_{bio_{max,moy}} \times (M_{bsurf} + M_{bgéo} + M_{balt})$

$= 44 \times (0 + 1 + 0) = \mathbf{44 \text{ pts}}$

$C_{ep_{max}}$:

$M_{ctype} = 1,1$ en CE1

$M_{csurf} = 0,129$ en CE1, car $1000 \text{ m}^2 < SHON_{RT} \leq 2000 \text{ m}^2$

$M_{cgeo} = 1$ en CE1 et zone H2b

$M_{calt} = 0$ en CE1, car $alt < 400$ m

$M_{cGES} = 0$ chaudière gaz à condensation

$C_{ep_{max}} = 50 \times M_{ctype} \times (M_{csurf} + M_{cgéo} + M_{calt} + M_{cGES})$

$= 50 \times 1,1 \times (0,129 + 1 + 0 + 0) = \mathbf{62,1 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2.\text{an})}$

82- $B_{bio} = 42,7 \text{ pts} < B_{bio_{max}}$ et $C_{ep} = 53,8 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2.\text{an}) < C_{ep_{max}}$; le projet est conforme au regard des 3 indicateurs réglementaires de la RT 2012

83- "Tic" : Température intérieure conventionnelle ; elle caractérise le confort d'été pour éviter les surchauffes aux périodes les plus chaudes de l'année

L'architecte a géré ce facteur au niveau des parois vitrées en disposant des "brise-soleil" à claire-voie posés verticalement

84- Alternative à l'isolant laine de verre : laine de bois ou laine de chanvre pour apporter de la masse et ainsi une meilleure inertie thermique ; ce type d'isolant génère de la même façon un déphasage plus important qu'une laine de verre.

Idéalement ce déphasage devrait atteindre 12h, pour que la température intérieure soit la plus élevée au moment où la température extérieure soit la plus basse