**ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE D’UNE HALLE DE SPORTS**

**POUR UNE COMMUNAUTE DE COMMUNE**

****

Parte architectural

Situé dans un site arboré, le choix d’une toiture terrasse et d’un bardage en mélèze permet une meilleure intégration dans l’environnement.

Description de l’ouvrage

Dans le cadre du projet de marché public pour la réalisation d'une halle des sports, vous aurez en charge la validation des choix techniques pour le lot charpente-ossature bois. Le terrain multisports est de 25 m sur 45 mètres de long. La halle comprendra une zone de jeu de 1087 m², une salle de gymnastique de 114 m² ainsi qu’un hall d’accueil, vestiaires, sanitaires et zones de stockage …Elle est partiellement définie dans les documents techniques DT2. Elle doit répondre aux normes thermiques RT2012.

Situation de la construction :

Cette halle des sports est située à une altitude de 375 m en région A1. Vent : région 1, rugosité 4.

Contexte réglementaire :

EC0, EC1, EC5

Description de la structure extraite du CCTP :

La structure principale de la charpente est composée de portiques en bois lamellé- collé GL24h avec un arbalétrier de section variable de 210 mm × (1400 - 2040 - 1400) mm assemblés par couronnes de boulons avec des poteaux de section variable 2 × 110 mm × (405 - 1040) mm.

Les pannes de section 88 mm × 495 mm sont constituées de bois lamellé-collé GL24h.

**Partie 1 :** Impact environnemental du BLC

Des contraintes environnementales particulières sont définies dans la rubrique « objet du marché ». Vous devez effectuer une étude comparative sur l’impact environnemental du bois lamellé-collé (BLC) à partir de deux Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES). La FDES (1) est réalisée à partir de la moyenne de la fabrication française et la FDES (2) est réalisée par une entreprise française qui fabrique des poutres en bois de Douglas lamellé-collé.

Ressources de la question :

* DT1 : Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES 1 et 2), pages 1 et 2
	1. Unité fonctionnelle (UF).

**Q1.1 Définir** sur la base des deux principales caractéristiques l’unité fonctionnelle (UF).

L’UF est une poutre de 1 m3 qui doit assurer une fonction structurelle pendant 1 ans.

* 1. Valeurs de l’unité fonctionnelle (UF) et de la durée de vie typique (DVT).

**Q1.2 Indiquer** le lien entre la valeur de l’unité fonctionnelle (UF) et la valeur de l’unité de la durée de vie typique (DVT).

La valeur de l’unité de la durée de vie typique est le produit de la valeur de l’unité fonctionnelle par la durée de vie typique.

* 1. Indicateurs de l’impact environnemental (Voir le DT1)

**Q1.3.1** « Déchets valorisés » : **Préciser** la principale valorisation des déchets de ce type d’entreprises.

Déchets de bois transformés en énergie

**Q1.3.2** «Changement climatique » : **Développer** le contenu de cet indicateur, pourquoi un signe négatif dans la FDES (2).

Quantité de CO² émis dans l’atmosphère. Le signe négatif signifie une absorption de CO² contribuant à l’atténuation du changement climatique.

* 1. **Comparaison d**es deux matériaux à partir des indicateurs

**Q1.4 Comparer** les deux matériaux (BLC 1 de la FDES 1 et BLC 2 de la FDES 2) à partir des indicateurs « Déchets valorisés » et «Changement climatique ».

* Déchets valorisés : L’énergie obtenue à partir des chutes de bois permet d’employer moins d’énergie d’origine non renouvelable. Le BLC (2) valorise 1205 kg contre 313 kg de déchet pour le BLC (2).
* Changement climatique : Quantité de CO² émis dans l’atmosphère. Le signe négatif signifie une absorption de CO² contribuant à l’atténuation du changement climatique plus important pour la BLC (2).
	1. Caractéristiques lors de la production du bois lamellé-collé

**Q1.5 Identifier** au moins trois caractéristiques lors de la production du BLC 2 définies dans le DT1 2/2, qui sont favorables au développement durable.

* L’emploi d’essence locale diminue sensiblement le transport par rapport aux essences résineuses importées.
* Il n’y a pas de traitement car le douglas est purgé d’aubier
* Absence d’emballage
* Sélection de colle moins polluante

Partie 2 : Descente de charges et sélection du bac acier

Le calcul des charges permanentes et des actions climatiques vous permettront de sélectionner l’entraxe des pannes et un type de bac acier.

Documents techniques :

* DT2 : plans du bâtiment pages 1 à 5
* DT3 : ressources EC1 page 1
* DT4 : support d'étanchéité ALTEO page 1

Document réponse :

* + - DR1 : accumulation de neige page 1

*Hypothèses :*

*- la pente de la toiture de 5% est négligeable ;*

* 1. Zones d’accumulation de neige

**Q2.1 Hachurer sur schéma haut du DR1,** les zones d’accumulation de neige.

* 1. Charge surfacique normale de neige S

**Q2.2 Déterminer** la charge surfacique horizontale de neige S (en kN/m²) supportée par la toiture.

$$S=\left[S\_{k}+\left(\frac{A}{1000}-0,20\right)\right]×μ\_{1}$$

$$S=\left[0,45+\left(\frac{375}{1000}-0,20\right)\right]×0,8$$

$$S=0,625×0,8=0,5 kN.m^{-2}$$

* 1. Accumulation de neige

La hauteur des acrotères de la zone multisports est de 1 m.

**Q2.3.1 Calculer** le coefficient µ2 ainsi que la longueur de la zone d’accumulation ls.

 µ2 = γ.h / Sk avec la limitation : 0,8 ≤ µ2 ≤ 1,6

 µ2 = 2x1 / 0,5 = 4 soit µ2 = 1,6

ls = 2.h avec la limitation 5m ≤ ls ≤ 15m

ls = 2x1= 2 m donc ls = 5m

**Q2.3.2 Tracer l’allure et coter sur le DR1, schéma bas,** les coefficients µ2 et µ1 ainsi que la longueur de la zone d’accumulation ls.

**Q2.3.3 Calculer** S(µ2)

S(µ2) = 0,5x1,6 = 0,8 kN/m²

* 1. Charge surfacique G

La composition du complexe de toiture est de l'intérieur vers l'extérieur :

* + - bac acier support d'étanchéité gamme ALTEO (prendre 1 mm d’épaisseur pour la descente de charges) ;
		- isolation en laine de verre haute rigidité 60 mm + 140 mm de masse volumique égale à 180 kg/m3, pose en 2 couches croisées ;
		- étanchéité Siplast de type " **PARASTAR**", 10 kg/m².
		- On prendra g = 10 m/s².

**Q2.4. Déterminer** la charge surfacique permanente G (en kN/m²) supportée par la panne.

$$G=\left(9,12+10+180×0,2\right)×10/1000=0,551 kN.m^{-2}$$

* 1. Choix d’une épaisseur de bac acier

*Hypothèses :*

*- Par simplification la charge de neige sera uniforme. Prendre 0,8 kN/m².*

*- Les charges permanentes sont de 0,551 kN/m².*

*- Le DT4 précise les portées d’utilisation en fonction des charges d’exploitation. Elles sont pour cette application assimilable aux charges de neige.*

**Q2.5.1** Les bacs acier font la même longueur que le rampant. **Justifier** le choix du modèle de chargement des bacs.

Les bacs acier porteront sur plus de 4 appuis.

**Q2.5.2** Le bureau d’étude limite le nombre de pannes intermédiaires à 4 (solution DT2 4/5). **Proposer** une épaisseur de bac acier à partir des documents DT2 – 4/5 et DT4.

Entraxe de 2,5m environ, charges variable de 0,8 kN/m² et charges permanentes de 0,551 kN/m², entraxe maximum de 2,6 m pour une épaisseur de 0,75 mm.

**Partie 3 :** Vérification réglementaire d’une panne.

La section de 88 x 495 mm proposée par l’architecte semble surdimensionnée pour une longueur de 5 m. L’objectif est d’optimiser cette section.

Ressources de la question :

* + - DT2 : plans du bâtiment pages 1 à 5
		- DT5 : ressources EC5 pages 1 et 2

Document réponse :

* + - DR2 : maintient des pannes page 1

*Hypothèses :*

* + - * *pour ce calcul on retient la classe de service 1,*
			* *l’entraxe est de 2,5 m,*
			* *la nouvelle section vérifiée est de 70x320,*
			* *kh = 1*
	1. Sélection de la panne la plus défavorable.

**Q3.1 Justifier** le choix de la panne placée entre les files I et J et proche de l’acrotère.

La panne placée entre les files I et J à la portée la plus grande (5320 mm) et la charge de neige sera plus importante proche de l’acrotère

* 1. Flexion déviée / flexion simple.

**Q3.2.1 Justifier** pourquoi la panne travaille en flexion déviée.

Les pannes sont posées à dévers et le bac acier ne peut pas transmettre les efforts du rampant.

**Q3.2.2 Dessiner** sur le DR2 des pièces supplémentaires afin que les sollicitations de la panne soient proches de la flexion simple.

* 1. Charge linéique G et S sur la panne.

*Données :*

* + - * *la charge surfacique du complexe de toiture sera prise égale à 0,53 kN/m² pour tenir compte de l’épaisseur du bac acier sélectionné*
			* *la charge surfacique de neige sera prise égale à 0,55 kN/m² selon rampant pour tenir compte de l’effet de l’accumulation de neige,*

**Q3.3.1 Déterminer** la charge linéique G en kN/m sur la panne (poids propre compris).

$$G\_{panne}=0,53×2,5+\frac{420×10×0,07×0,32}{1000}$$

$$G\_{panne}=1,325+0,094=1,419 kN.m^{-1}$$

**Q3.3.2 Déterminer** la charge linéique S en kN/m sur la panne.

$$S\_{panne}=0,55×2,5=1,375 kN.m^{-1}$$

* 1. Chargement linéique p de la combinaison 1,35.G + 1,5.S

**Q3.4 Déterminer** le chargement linéique q en kN/m de la combinaison 1,35.G + 1,5.S sur une panne courante.

$$q\_{panne}=1,35×1,419+1,5×1,375=3,98 kN.m^{-1}$$

* 1. Modèle d’étude d’une panne courante

**Q3.5.1 Représenter** pour sa flexion selon l’axe fortle modèle complet d'étude d’une panne fournissant l’ensemble des informations pour l’étude (axes, liaisons, cas de charges avec l’influence de l’angle, géométrie de la panne).

x

+

A

B

z

y

5320

G.cos(α) et S.cos(α)

GL24h - 70x320

**Q3.5.2 Représenter** pour sa flexion selon l’axe faiblele modèle complet d'étude d’une panne fournissant l’ensemble des informations pour l’étude (axes, liaisons, cas de charges avec l’influence de l’angle, géométrie de la panne).

x

+

A

B

y

z

5320

G.sin(α) et S.sin(α)

GL24h - 70x320

* 1. Vérifications de la panne aux sollicitations et déformations.

*Hypothèses : pour cette question, par simplification, la panne travaille en flexion plane (ou simple), la pente est négligée et l’effet du moment sur la faible inertie sera négligé.*

*Donnée :*

* $σ\_{m,d}=\frac{Mf\_{y}}{\frac{I\_{G,y}}{V}}$, avec $Mf\_{y}=\frac{qL^{2}}{8}$ et $\frac{I\_{G,y}}{V}= \frac{bh²}{6}$
* $τ\_{d}=\frac{1,5×F\_{v,d}}{k\_{cr}×b×h}$, avec $F\_{v,d}=\frac{ql}{2}$
* $U=\frac{5×q×L^{4}}{384× E\_{0,mean}×I\_{G,y}}$, avec $I\_{G,y}= \frac{bh^{3}}{12}$

**Q3.6.1 Vérifier** la panne à l'ELU en flexion simple, sans risque de déversement (kcrit = 1) et **conclure**. La charge de calcul ELU sera de 4 kN/m.

$$σ\_{m,d}=\frac{6\*4\*5320^{2}}{8\*70\*320^{2}}=11,8 N/mm²$$

$$f\_{m,d}=24\*\frac{0,9}{1,25}\*1\*1=17,3 N/mm²$$

$$σ\_{m,d}<f\_{m,d} , ce critère est vérifié$$

**Q3.6.2 Vérifier** la panne à l'ELU en cisaillement et **conclure**.

*Données : prendre kcr = 1.*

$F\_{v,d}=\frac{4\*5320}{2}=10640 N $; $τ\_{d}=\frac{1,5\*10640}{70\*1\*320}=0,71 N/mm² $; $f\_{v,d}=3,5\*\frac{0,9}{1,25}=2,52 N/mm²$

$$τ\_{d}<f\_{v,d} , ce critère est vérifié$$

**Q3.6.3 Vérifier** la panne à l'ELS inst(Q) sous charge variable et conclure.

$q=S=1,375 N/mm$ ; $U\_{inst(Q)}=\frac{5\*1,375\*5320^{4}\*12}{384\*11500\*70\*320^{3}}=6,5 mm$

Winst(Q) est de L/300 = 5320/300 = 17,7 mm.

$$U\_{inst(Q)}<W\_{inst(Q)} , ce critère est vérifié$$

**Q3.6.4 Vérifier** la panne à l'ELS net,fin avec la flèche totale et conclure.

Unet,fin = Uinst(G)(1+ kdef) + Uinst(Q) (1+ ψ2.kdef) - Uc

$q=G=1,413 N/mm$ ; $U\_{inst(G)}=\frac{5\*1,419\*5320^{4}\*12}{384\*11500\*70\*320^{3}}=6,7 mm$

Unet,fin = 6,5x(1+ 0,6) + 6,7 (1+ 0x0,6) – 0 = 17,1 mm

Wnet,fin est de L/200 = 5320/200 = 26,6 mm.

$$U\_{net,fin}<W\_{net,fin} , ce critère est vérifié$$

* 1. Optimisation de la panne.

Le nombre de panne étant important pour ce chantier, il faut diminuer la hauteur de la section sur le critère de la contrainte de flexion. Dans le cadre de cette étude, la vérification complète à l’ELU et à l’ELS ne sera pas réalisée.

*Donnée :*

* + - * $σ\_{m,d}=f\_{m,d}=\frac{6qL^{2}}{8bh^{2}}$*, soit* $h=\sqrt{\frac{6qL^{2}}{8b×f\_{m,d}}}$
			* $k\_{h}=1$

**Q3.7.1 Optimiser** la section de la panne courante sur le critère de la contrainte de flexion.

$$σ\_{m,d}=f\_{m,d}=\frac{Mf\_{y}}{\frac{I\_{G,y}}{V}}=\frac{6qL^{2}}{8bh^{2}}$$

$$h=\sqrt{\frac{6qL^{2}}{8b×f\_{m,d}}}=\sqrt{\frac{6×4×5320^{2}}{8×70×17,3}}=264,8 mm$$

Critère de flexion à l’ELU plus défavorable, h mini 265 mm

**Q3.7.2 Définir** la nouvelle section sachant que la hauteur minimum de la section doit-être de 265 mm et que l’épaisseur des lamelles est de 40 mm,

h = 7 x 40 = 280 mm

**Q3.7.3 Calculer** l’économie réalisée par rapport à la section choisie par l’architecte (88x495 mm²) sachant que le coût du bois lamellé collé est de 900€/m3. Il y a 10 pannes sur chacune des 9 travées (prendre une longueur de 5m).

$$V=\left[\left(5×0,088×0,495\right)-\left(5×0,07×0,28\right)\right]×90=10,782 m^{3}$$

$$E=10,782×900=9704€$$

**Partie 4 :** Justification de la couronne de boulons du portique.

Après avoir modélisé le portique afin de définir le type d’assemblage il s’agit de sélectionner une couronne de boulons à partir de simulations numériques.

Ressources de la question :

* + - DT2 : plans du bâtiment pages 1 à 5
		- DT7 : notes de calculs de couronnes de boulons page 1

Document réponse :

* + - DR3 : Stabilité du portique et retrait du bois page 1
	1. Stabilité du portique

**Q4.1.1 tracer** sur le DR3 les liaisons externes et les liaisons internes avec une légende.

**Q4.1.2 Calculer** le degré d’hyperstaticité total du portique et **déduire** sa stabilité.

N = (2+2) + 2x(3+3-3) – 3x3 = 1 ; portique stable car hyperstatique d’ordre 1

**Q4.1.3 Proposer** un exemple d’assemblage pour chaque liaison

Pieds de poteau : Ferrure et boulons ; Poteau/arbalétrier : couronnes de boulons

* 1. Couronne de boulons

Influence du diamètre de la couronne et exploitation d’une note de calcul d’une couronne de boulons.

**Q4.2.1 Préciser** sur le DR3 le nom et les différents retraits pour le poteau et l’arbalétrier.

**Q4.2.2 Déterminer** les conséquences et l’influence sur le choix du diamètre de la couronne des différents retraits pour le poteau et l’arbalétrier.

Le retrait tangentiel ou radial est nettement plus important que le retrait axial. Ils sont opposés pour chaque pièce, et les boulons bloquent cette différence de variation. Pour minimiser cette différence de retrait il faut sélectionner le diamètre le plus faible possible.

**Q4.2 Sélectionner** sur le DT7 une couronne de boulons. **Justifier** votre choix.

La couronne 3 est sélectionnée car c’est une double couronne avec un diamètre plus faible de 620 mm. La couronne 1 a un taux de travail de 103% et la couronne 2 a un diamètre de 880 mm.

**Partie 5 :** Vérification réglementaire d’un assemblage boulonné

A ce stade de l’étude, vous devez dimensionner l’assemblage d’un pied de poteau.

*Données :*

* *effort ELU à reprendre Fd = 29 kN avec la combinaison 1,35 G+1,5 S + 0,9W;*
* *Assemblage réalisé avec deux boulons de diamètre de 16 mm.*

Ressources de la question :

* + - DT2 : plans du bâtiment pages 1 à 5
		- DT6 : notes de calculs de la réaction aux appuis page 1
		- DT8 : Ferrure du pied de poteau et résistance des boulons page 1
	1. Effort et moment en pied de poteau

**Q5.1.1 Extraire** du DT6 les efforts que reprendrons les boulons à l’ELU.

Les efforts horizontaux sont de 28,86 kN, il n’y a pas de soulèvement et la platine reprend les efforts descendants.

**Q5.1.2 Préciser** pourquoi le moment est nul.

La modélisation du pied de poteau est un pivot.

* 1. Vérification réglementaire de l’assemblage

Q5.2 **Calculer** la résistance Fv,R,d d’un boulon, en **déduire** le nombre de boulons théoriquement nécessaire.

$F\_{v,R,d}=15325×\frac{1,1}{1,3}×2×2=51869 N>28886 N $; Un boulon serait suffisant.

**Partie 6 :** Justification de l’appui de la poutre porteuse des arbalétriers

Contrairement au projet initial (DT2 page 5/5), le poteau en béton ne reprend plus directement les efforts de l’arbalétrier mais il est placé sous une poutre de 210 x 1665 (DT9 1/2). La surface d’appui étant faible, vous devez renforcer cet assemblage par des connecteurs (ou vis) de type SFS.

*Données :*

* *effort ELU à reprendre F90,d = 181,68 kN avec la combinaison 1,35 G+1,5 S + 0,9W;*
* *Surface d’appui : 210 x 140 mm (DR4)*

Ressources de la question :

* + - DT2 : plans du bâtiment pages 1 à 5
		- DT9 : Renforcement à la compression perpendiculaire pages 1 et 2

Document réponse :

* + - DR4 : Renforcement à la compression perpendiculaire page 1
	1. Détermination du nombre de connecteurs

**Q6.1 Vérifier** qu’avec 6 connecteurs au maximum, la charge peut être reprise. **Préciser** sa référence. Attention dans ce cas, la résistance au flambage des connecteurs est dimensionnant.

WR-T-13xL[400],

 $F\_{v,2,R,d}=\frac{34,1}{1,1}=31 kN$

Résistance au flambage dimensionnant

Nombre de connecteurs : 181,68/31 = 5,86, soit 6 connecteurs

* 1. Schéma du renforcement à la compression perpendiculaire

**Q6.2 Effectuer** un schéma coté des connecteurs de l’assemblage sur le DR4 en respectant les conditions de pince précisées par le fabricant.

Partie 7 : étude thermique des parois

L’objectif de cette partie est de définir la résistance thermique de la paroi des murs du long pan de la halle des sports en tenant compte des ponts thermiques intégrés.

*Données extraites du CCTP :*

* *Montants de 160 x 60 mm² espacés de 600 mm;*

Ressources de la question :

* + - DT10 : Etude thermique de la paroi pages 1 et 2

Document réponse :

* + - DR5 : Etude thermique de la paroi page 1
	1. Calcul thermique sans pont thermique.

**Q7.1.1 Calculer** la conductance Uc de la paroi sans tenir compte des ponts thermiques intégrés.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **composants** | Epaisseur ( m) | Conductivité (en W/m.°K) | Résistance en (m².K/W) |
| RSI |  |  | 0,13 |
| OSB | 0,012 | 0,12 | 0,1 |
| Isolant | 0,160 | 0,040 | 4 |
| RSI |  |  | 0,13 |
|  |  | R = | 4,36 |
|  |  | Uc = | 0,23 W/ m².K |

**Q7.1.3** Parmi les isolants disponibles sur le DT10, **sélectionner** le produit à base de matériaux renouvelables adapté à l’ossature bois. **Argumenter** votre choix.

Biofib Chanvre

* 1. Détermination de la conductivité thermique totale Up du mur

**Q7.2.1 Déterminer** la valeur ΔU des ponts thermiques intégrés, en **déduire** la conductivité thermique totale de la paroi.

Up = 0,23 + 0,07 = 0,3 W/ m².K

**Q7.2.2 Déterminer** la résistance finale de la paroi et **comparer** en pourcentage de la résistance initiale la perte de résistance.

Rf = 1/0,3 = 3,33 m².K/W

Perte : (4,36 – 3,33)/ 4,36 x 100 = 23,5%

**Q7.2.2 Proposer** une solution pour atténuer la perte d’isolation.

ITE ou ITI

Partie 8 : étude thermique de la halle sportive

À partir d’une note de calculs de l'ouvrage d’un bureau d’études thermiques vous devez vérifier que le bâtiment respecte la réglementation RT2012.

*Données :*

* *altitude : 375 m ;*
* *zone climatique : H2d ;*
* *classe d'exposition aux bruits : CE1 ;*
* *SHONRT : 1332,84 m²*

Ressources de la question :

* + - DT2 : plans du bâtiment pages 1 à 5
		- DT11 : ressources RT2012 page 1
	1. Calcul de la valeur maximum du besoin bioclimatique

**Q8.1 Déterminer** le besoin climatique Bbiomax de l'ouvrage.

Bbiomax = 44 x (0 + 0,8 + 0) = 35,2

* 1. Vérification réglementaire

**Q8.2 Comparer** les résultats du Tic, du Bbio et du Cep du projet aux exigences réglementaires et **conclure**.

 Bbio = 33,4 inférieur à 35,2

Cep = 65 kWep/m².an inférieur à Cepmax : 70 kWep/m².an

Tic : Conforme

Bâtiment conforme

* 1. Incidence des parois translucides fixes sur le facteur de température intérieure Tic

**Q8.3 identifier** la solution retenue par l’architecte pour limiter la température intérieure en période estivale.

Les parois translucides les plus importantes sont situées au Nord.