BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR SYSTÈMES CONSTRUCTIFS BOIS ET HABITAT

**Epreuve E4 – Etude technico-économique**

**Sous-épreuve U42 - Analyse, dimensionnement et choix de composants**

**SESSION 2025**

Durée : 4 heures – Coefficient : 4

**Matériel autorisé :**

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Tout autre matériel est interdit.

**Recommandations :**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu’il est complet.

Le sujet se compose :

* **d’un dossier questionnement réponses de 24 pages, numérotées de 1/24 à 24/24 à rendre.**
* d’un livret ressources de 12 pages, numérotées de 1/12 à 12/12.

Toutes les parties peuvent être traitées indépendamment.

CONSTRUCTION D’UNE SALLE DES SPORTS A OYE PLAGE  
Dossier Questionnement / Réponses

La commune de Oye-Plage (62) a lancé un appel d’offres public pour la construction d’une salle de sports, destinée notamment à accueillir des courts de tennis et des terrains de sports collectifs.

Il s’agit d’un ouvrage parallélépipédique à simple rez-de-chaussée, d’environ 35,00 m de côté et 10,00 m de haut.

Sa structure porteuse est entièrement réalisée en bois lamellé-collé de catégorie GL24h, à l’exception des palées de stabilité et des poteaux centraux qui seront réalisés en acier recyclé.

Le souhait architectural est de donner à la structure principale un aspect de résille reposant sur des poteaux en forme de Y.



L’objectif de cette épreuve est d’apprécier la capacité du candidat à calculer, modéliser et interpréter des résultats, notamment au travers de son aptitude à :

* choisir des composants,
* effectuer un calcul de prédétermination en phase de chiffrage,
* calculer, modéliser, simuler et analyser les comportements mécaniques et de confort,
* vérifier réglementairement le comportement mécanique de tout ou partie d’une structure,
* interpréter les résultats d’une modélisation thermique issue d’un logiciel de simulation,

Ces cinq problématiques constitueront les cinq parties du sujet.

Il est vivement conseillé de lire l’ensemble des documents constitutifs du sujet avant de commencer à le traiter : un temps de lecture de 10 à 15 minutes pourra utilement y être consacré.

**Durées conseillées :**

* Lecture du dossier : **15 minutes**
* Problématique n°1 « Choisir des composants » : **45 minutes**
* Problématique n°2 « Effectuer un calcul de prédétermination en phase de chiffrage » : **60 minutes**
* Problématique n°3 « Calculer, modéliser, simuler et analyser les comportements mécaniques et de confort » : **30 minutes**
* Problématique n°4 « Vérifier réglementairement le comportement mécanique de tout ou partie d’une structure » : **60 minutes**
* Problématique n°5 « Interpréter les résultats d’une modélisation thermique issue d’un logiciel de simulation » : **30 minutes**

# CHOISIR DES COMPOSANTS

## Choisir un organe d’assemblage pour la liaison des poutres principales sur la poutre de noue

Il s’agit de **concevoir** la façon dont les poutres principales pourront se reprendre sur la poutre de noue à l’aide de connecteurs métalliques. On devra d’abord **sélectionner** la gamme de produit la plus appropriée, puis **choisir** dans cette gamme la référence du composant à mettre en œuvre en fonction des impératifs géométriques et de résistance mécanique.

Les sections de bois mises en œuvre sont les suivantes :

* Poutre de noue porteuse en GL24h de 240 mm x 900 mm.
* Poutre portée en GL24h de 220 mm x 900 mm.

|  |  |
| --- | --- |
| Choisir une gamme d’organes de fixation | Les LR11 et LR12 proposent les documentations techniques de deux gammes de composants d’assemblage :   * Sabots SIMSON GBE * Connecteurs RICON® S   **Indiquez**, en précisant les critères de choix sur lesquels vous vous appuyez, laquelle de ces deux gammes de produits vous semble la plus adaptée pour fixer les poutres principales sur les poutres de noue. |
| **Ressources**  **LR1 à LR5, LR11, LR12** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Choisir une référence dans la gamme | **Déterminez**, dans la gamme que vous avez retenue, les références des produits qui conviendraient à la configuration géométrique de l’assemblage. |
| **Ressources**  **LR11, LR12** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Valider la capacité mécanique de l’assemblage | Sous la combinaison 1,35G + 1,5S, la réaction d’appui de la poutre principale sur la poutre de noue est de **97 kN.**  **Calculez** la résistance caractéristique minimale que doit présenter le composant d’assemblage pour reprendre cette réaction d’appui.  **Déterminez** la référence exacte du modèle de composant qui vous semble adapté.  **Précisez** le nombre et la nature des organes d’assemblage (vis ou boulon) à mettre en œuvre :   * sur la poutre principale, * sur la poutre de noue. |
| **Ressources**  **LR11, LR12** |
|  | |

## Choisir une référence de tirant métallique pour les palées de stabilité

La stabilité horizontale du bâtiment est assurée par des palées de stabilité en croix de Saint-André, constituées de diagonales en rond plein en acier et de butons en tubes circulaires, en acier également.

Après avoir déterminé la sollicitation générée par l’action du vent sur ces tirants, l’objectif de cette partie est de **sélectionner** un diamètre de rond plein capable d’assurer cette fonction mécanique.

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la pression dynamique de pointe | On rappelle les hypothèses suivantes :   * l’ouvrage se situe en région 3 pour le vent, * il est situé dans une zone pouvant être assimilée à une zone urbanisée ou industrielle, * sa hauteur par rapport au sol est d’environ 10,00 m.   **Déterminez** la valeur de la pression dynamique de pointe *qp(z)* à considérer pour ce projet. |
| **Ressource**  **LR7** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la pression dynamique de pointe | Le bâtiment est stabilisé longitudinalement par quatre palées de stabilité (deux sur la file 1 et deux sur la file 22).  L’action globale du vent soufflant sur le pignon de la file B peut être prise égale à W = 0,93 kN/m² pour une étude à l’État Limite Ultime (ELU).  Compte tenu de la configuration des poteaux des files 1 et 2, on peut considérer que la surface de chargement au vent des palées de stabilité correspond à la surface de pignon comprise entre les niveaux +1,43 m et +9,78m, comme représenté en hachuré sur le schéma ci-dessous.  35,28 m  + 9,78 m  + 1,43 m  0,93 kN/m²  **Déterminez** la valeur de l’effort de vent FW (en kN) qui doit être repris à l’ELU par chacune des quatre palées de stabilité. |
| **Ressource**  **LR7** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la sollicitation à reprendre par le tirant et choisir un diamètre adapté | Le schéma ci-dessous modélise une palée de stabilité à l’ELU.  **Expliquez** succinctement pourquoi un seul tirant de la croix de Saint André est représenté sur ce modèle.  **Complétez** le modèle en indiquant les efforts normaux (en kN) dans chacune des barres représentées, et en respectant la symbolique prescrite pour distinguer les barres tendues des barres comprimées.  **Reportez** la valeur de l’effort normal NEd subi par le tirant dans le cadre réservé à cet effet.  **Concluez** sur le diamètre minimal du tirant à sélectionner d’après les informations du LR13. |
| **Ressource**  **LR13** |
| Barre tendue  Barre comprimée  4,42 m  70 kN  2,40 m   |  | | --- | | **Effort normal dans le tirant : NEd =** | | |

# EFFECTUER UN CALCUL DE PRÉDÉTERMINATION EN PHASE DE CHIFFRAGE

## Concevoir la poutre de noue

Les poutres principales des files B à N reposent sur la poutre de noue de la file 10.

Il s’agira ici de **pré-dimensionner** cette poutre de noue, et d’en déterminer la conception de façon à pouvoir en assurer la livraison sur chantier.

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer les sollicitations internes | Le schéma ci-dessous propose une modélisation statique de la poutre de noue, sous la combinaison ELU 1,35G + 1,5**S**.  Les charges ponctuelles descendantes de 194 kN représentent l’action des poutres principales. Les charges ascendantes représentent les réactions d’appuis des poteaux.  **Complétez** ce modèle en indiquant les valeurs des réactions d’appuis manquantes. On pourra utilement exploiter la symétrie du système.  **Tracez** ensuite le diagramme de l’effort tranchant **VEd** et du moment fléchissant **My,Ed**. |
| **Ressources LR1 à LR5** |
| **My,Ed**  **m.kN**  **VEd**  **kN**  194 kN  194 kN  194 kN  235,6 kN  65,8 kN  4,42 m  4,42 m  4,42 m  4,42 m  4,42 m  4,42 m  4,42 m  4,42 m  194 kN  **My,Ed**  **m.kN**  **VEd**  **kN** | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer les résistances de calcul de la poutre de noue | **Déterminez** les résistances de calcul au cisaillement ***fv,d*** et à la flexion ***fm,y,d*** sous la combinaison 1,35G + 1,5S. |
| **Ressource LR8** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la retombée minimale de la poutre de noue | La poutre de noue sera une poutre en GL24h de section constante de 240 mm d’épaisseur.  **Déterminez** la retombée minimale de cette poutre pour qu’un effort tranchant VEd de 130 kN ne génère pas une contrainte de cisaillement *τd* supérieure à 2,5 MPa.  **Déterminez** la retombée minimale de cette poutre pour qu’un moment fléchissant My,Ed de 300 m.kN ne génère pas une contrainte de **flexion** *σm,y,d* supérieure à 17,0 MPa.  **Concluez** sur la retombée minimale de la poutre de noue, et **comparez** avec la section figurant au DCE. |
| **Ressource LR9** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Positionner le joint de transport. | Il n’est évidemment pas souhaitable de transporter une poutre de plus de 35,00 m de long d’un seul tenant.  On devra donc créer un joint de transport de façon à obtenir deux tronçons plus facilement transportables et qui permettront de reconstituer assez simplement la poutre de noue sur chantier.  **Expliquez** comment vous proposeriez de définir l’emplacement de ce joint de transport.  **Déterminez** son positionnement sur la poutre et la longueur des deux tronçons ainsi définis.  On pourra supposer que le moment fléchissant sur l’appui central est de 184 m.kN et que l’effort tranchant de part et d’autre de cet appui central est de 87 kN. |
|  |
|  | |

## Estimer l’impact environnemental d’une variante bois

Une entreprise de construction bois souhaite soumettre une offre de variante dans laquelle les poteaux métalliques supportant la poutre de noue seraient remplacés par des poteaux en lamellé-collé.

Elle envisage de défendre cette variante auprès du maître d’ouvrage en lui explicitant les bénéfices environnementaux qu’elle présente.

L’objectif de cette partie est de **quantifier** l’impact environnemental du remplacement des poteaux métalliques par des poteaux en bois lamellé-collé.

|  |  |
| --- | --- |
| Estimer les quantités de matériaux en jeu | La version de base du projet comporte 5 poteaux acier en HEB 240 de 7,10 m de hauteur.  La masse linéique d’un profilé HEB 240 est de 83,2 kg/m.  Une pré-étude montre que ces poteaux pourraient être remplacés par des poteaux en GL24h de section 320 mm x 320 mm.  **Déterminez** :   * la masse totale des poteaux acier proposés au DCE, * le volume total des poteaux en GL24h qui pourraient les remplacer. |
| **Ressources LR1 à LR5** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Quantifier l’économie potentielle de CO2. | **Déterminez**, à partir des extraits de FDES du LR14, l’impact sur le réchauffement climatique (en kg éq. CO2) de chacune des deux variantes envisagées :   * Poteaux HEB 240 en acier recyclé. * Poteaux en GL24h de section 320 mm x 320 mm.   Votre estimation sera basée sur la totalité du cycle de vie des composants, et intégrera les bénéfices et charges au-delà des frontières du système.  **Quantifiez** finalement l’économie potentielle de CO2 que pourrait générer le choix d’une variante bois par rapport à une solution acier. |
| **Ressource LR14** |
|  | |

# CALCULER, MODÉLISER, SIMULER ET ANALYSER LES COMPORTEMENTS MÉCANIQUES ET DE CONFORT

## Valider la stabilité globale de l’ouvrage

On souhaite ici s’assurer que la stabilité transversale du bâtiment a été correctement conçue, en explicitant pour cela le fonctionnement mécanique de la file E.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Proposer une modélisation mécanique de la file E | La figure ci-dessous montre une élevation de la file E sous laquelle figure une modélisation filaire de la structure.  **Complétez** cette modélisation filaire en faisant apparaître :   * la nature des liaisons internes aux extrémités de chacune des barres représentées : relaxation interne ou continuité, * la nature des liaisons externes : encastrement, appui simple, appui rotulé.   Vous prendrez soin de faire figurer la légende explicitant les symboles utilisés pour représenter les différents types de liaisons. | |
| **Ressources LR1 à LR5** |
|  | | |
| **Symboles des liaisons internes** | | **Symboles des liaisons externes** |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer le degré de stabilité de la file E | **Déterminez** le degré de stabilité de la file E ainsi modélisée (isostatique, hyperstatique, mécanisme). |
| **Ressources LR1 à LR5** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Identifier le principe de stabilisation de la file E | **Explicitez** le dispositif structurel qui permet d’assurer la stabilité de la file E, sachant que les pignons des files B et N sont stables dans leurs plans. |
| **Ressources LR1 à LR5** |
|  | |

# VÉRIFIER RÉGLEMENTAIREMENT LE COMPORTEMENT MÉCANIQUE DE TOUT OU PARTIE D’UNE STRUCTURE

## Vérifier le dimensionnement des poutres principales

L’objectif de cette activité est de **vérifier** le dimensionnement des poutres principales de toiture.

On rappelle qu’il s’agit de poutres à simple décroissance de section 220 x 900/1.450 en GL24h, fabriquées sans contreflèche.

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la charge permanente qG | **Déterminez** la charge surfacique permanente G (en kN/m²) correspondant au poids du complexe de toiture et des dispositifs de chauffage et réseaux divers.  **Précisez** la largeur de la bande de chargement de la poutre de la file H, et **déduisez**-en la charge permanente linéique **qG (en kN/m)** agissant sur cette poutre en intégrant son poids propre.  Vous pourrez assimiler pour cela la poutre à une poutre droite de section constante dont la retombée est égale à la retombée moyenne de la poutre à simple décroissance. |
| **Ressources** **LR4, LR8, LR15** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la charge de neige caractéristique sur le sol | **Déterminez** la charge caractéristique de neige sur le sol Sk (en kN/m²) à retenir pour ce projet. |
| **Ressources LR1, LR6** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la charge de neige sur la toiture | On assimilera pour cette question la forme de la toiture au schéma ci-dessous.  **Complétez** ce schéma en proposant un diagramme de répartition de la charge surfacique de neige (en kN/m²), y compris accumulation contre les acrotères.  **Détaillez** vos calculs relatifs aux principales informations portées sur ce schéma :   * Coefficients de forme. * Longueur d’accumulation. * Surcharge pour faible pente. |
| **Ressource LR6** |
| 32,58 m  h = 1,80 m  35,28 m  **Détail des calculs** | |

|  |  |
| --- | --- |
| Modéliser mécaniquement les poutres principales | On envisage à ce stade des poutres principales isostatiques de 17,64 m chargées uniformément sur toute leur longueur.  On retient comme valeur des charges linéiques :   * charges permanentes : *qG* = 4,9 kN/m * charge de neige : *qS* = 2,9 kN/m   **Proposez** ci-dessous un schéma mécanique correspondant à ces hypothèses (Portée, nature des appuis, charges linéiques *qG* et *qS* en kN/m).  **Précisez** la nature de la sollicitation interne principale à laquelle sont soumises ces poutres. |
| **Ressources LR1 à LR5** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer l’effort tranchant VEd. | **Déterminez** la valeur maximale de l’effort tranchant VEd sous la combinaison ELU 1,35G+1,5S et **précisez** à quel endroit se situe cet effort tranchant maximum. |
| **Ressource LR9** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Vérifier la résistance au cisaillement | **Vérifiez** la résistance au cisaillement de la section la plus faible de la poutre sous la combinaison ELU 1,35G+1,5S.  Vous pourrez prendre *VEd* = 97 kN. |
| **Ressources LR8, LR9** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Vérifier la résistance à la flexion | **Vérifiez**, en suivant la procédure décrite au LR9, la résistance de la poutre à la flexion sous la combinaison ELU 1,35G+1,5S.  Vous pourrez prendre *qEd* = 11 kN/m. |
| **Ressources LR8, LR9** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Calculer les déformations instantanées | On s’intéresse maintenant aux vérifications en déformation.  Compte tenu de la faible pente de décroissance, on pourra considérer la poutre comme étant de section constante, avec une largeur de 220 mm et une retombée égale à la retombée moyenne de la poutre (c’est-à-dire la retombée à mi-portée).  **Déterminez** les flèches instantanées *uinst,G* et *uinst,S*, générées respectivement par les charges permanentes et par la charge de neige.  Vous travaillerez avec les mêmes hypothèses que pour les vérifications en résistance :   * charges permanentes : *qG* = 4,9 kN/m * charge de neige : *qS* = 2,9 kN/m * portée entre appuis : 17,64 m. |
| **Ressource LR10** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Vérifier les déformations réglementaires | **Déterminez** les déformations réglementaires *uinst(Q)*, *ufin* et *unet,fin* (on rappelle que les poutres sont fabriquées sans contreflèche).  **Comparez** ces déformations avec leurs limites respectives winst(Q), wfin et wnet,fin .  **Concluez** sur la conformité des poutres principales en regard des exigences Etat Limite de Service (ELS). |
| **Ressource LR10** |
|  | |

## Vérifier les branches supérieures des poteaux 140 x 400 au flambement

Les poutres principales reposent en périphérie de l’ouvrage sur des poteaux en lamellé-collé en forme de « Y ». On veut ici s’assurer de la résistance au flambement des branches supérieures de ces poteaux.

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer l’effort normal dans la barre | Le schéma ci-dessous représente le fonctionnement mécanique de deux branches contigües.  Elles reprennent une charge verticale de 97 kN sous la combinaison ELU 1,35G + 1,5S.  97 kN  4,00 m  2,21 m  2,21 m  **Déterminez** la valeur de l’effort normal NEd dans chacune des branches.  **Déduisez** de cette valeur celle de la contrainte normale de compression *σc,0,d* dans la barre. |
| **Ressources LR1 à LR5** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Vérifier la résistance de la barre au flambement | **Vérifiez**, en vous appuyant sur la procédure réglementaire décrite au LR9, la résistance de la barre au flambement. |
| **Ressource LR9** |
|  | |

# INTERPRÉTER LES RÉSULTATS D’UNE MODÉLISATION THERMIQUE ISSUE D’UN LOGICIEL DE SIMULATION

## Déterminer l’épaisseur complémentaire d’isolant à disposer en toiture

|  |  |
| --- | --- |
| Expliciter les fonctions techniques des composants du complexe de toiture | La composition du complexe de couverture est explicitée au CCTP (LR 1), et sur la documentation technique du fournisseur (LR15).  Les plateaux non-porteurs Hacierco C500.90P (repère ① sur l’illustration du LR15) sont perforés.  **Expliquez** brièvement la fonction des perforations sur ces plateaux, ainsi que le rôle du composant repéré ④ en précisant notamment la pathologie que risquerait d’entraîner son absence. |
| **Ressources LR1, LR15** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la déperdition énergétique de la toiture | **Précisez** la valeur (en W/m²K) du coefficient de transmission surfacique Up indiqué sur la documentation technique du complexe de couverture (LR15).  On estime en première approche que le bâtiment sera chauffé à 16°C durant 180 jours, et que sur cette durée la température extérieure sera en moyenne de 5°C.  **Déterminez** la déperdition énergétique de la toiture sur cette période, exprimée en kWh (on considérera une surface de toiture de 1.270 m²). |
| **Ressources LR15, LR16** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Déterminer la quantité de combustible consommée | Le système de chauffage du bâtiment, assuré par une chaudière bois, présente un rendement global de 73%.  **Déterminez** la masse de combustible bois consommée pour restituer 2.500 kWh au bâtiment, en considérant un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 4,5 kWh/kg. |
| **Ressources LR15, LR 16** |
|  | |

|  |  |
| --- | --- |
| Estimer l’économie potentielle de combustible | Le maître d’œuvre propose un complexe de couverture plus performant, en remplaçant les panneaux Torock de 120 mm par des panneaux de 200 mm, le reste du complexe restant par ailleurs identique.  **Déterminez** le coefficient de transmission surfacique Up (W/m²K) du complexe ainsi modifié, sachant que la conductivité thermique des panneaux Torock est de 0,035 W/mK.  **Exprimez** le gain ainsi réalisé en pourcentage et traduisez ce gain en quantité de combustible économisé sur la période de chauffage. |
| **Ressources LR15, LR16** |
|  | |