

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION

SESSION 2023

E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet

U 4

Durée 4h – Coefficient : 4

Contenu du dossier

- Questionnement : Q1 à Q29 ;
- Documents réponse DR1 à DR6 à remettre agrafés avec votre copie même si des questions n'ont pas été traitées.

Barème indicatif

2.1	Analyse du contexte du projet	7 pts
2.2	Etude d'une panne intermédiaire	4 pts
2.3	Etude de la poutre treillis	5 pts
2.4	Etude d'une variante « plancher collaborant »	2 pts
2.5	Etude de la liaison chemin de roulement – poteaux	2 pts

Recommandations

Il est recommandé de lire intégralement le sujet et le dossier technique avant de composer.

Les parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans l'ordre de votre choix.

Calculatrice

L'usage de la calculatrice en **mode examen actif** est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire type « collègue » est autorisé.

Table des matières

1.	Mise en situation du candidat.....	2
2.	Travail demandé	2
2.1.	Analyse du contexte du projet.....	2
2.1.1.	Étude des charges de neige	2
2.1.2.	Étude des charges de vent.....	2
2.2.	Etude d'une panne intermédiaire	3
2.3.	Etude de la poutre treillis.....	4
2.3.1.	Calcul des sollicitations dans la poutre.....	4
2.3.2.	Dimensionnement du treillis : recherche de la hauteur h.....	4
2.3.3.	Vérification du treillis retenu.....	4
2.4.	Etude d'une variante « plancher collaborant »	5
2.4.1.	Etude de la solution de base	5
2.4.2.	Etude de la variante.....	5
2.4.3.	Comparaison	5
2.5.	Etude de la liaison chemin de roulement – poteaux.....	5
DR1	.....	6
DR2	.....	7
DR3	.....	8
DR4	.....	9
DR5	.....	10
DR6	.....	11
DR7	.....	12
DR8	.....	13

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :1/13

1. Mise en situation du candidat

Durant l'ensemble de cette épreuve E4, vous êtes placé dans le rôle de technicien supérieur en Bureau d'Études Techniques au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre en charge de la conception du projet. Vous vous situez en phase d'avant-projet, le projet architectural est défini et votre travail consiste à :

- analyser le contexte de l'étude ;
- concevoir des solutions techniques ;
- établir un prédimensionnement de la structure ;
- prescrire et rédiger le cahier des charges.

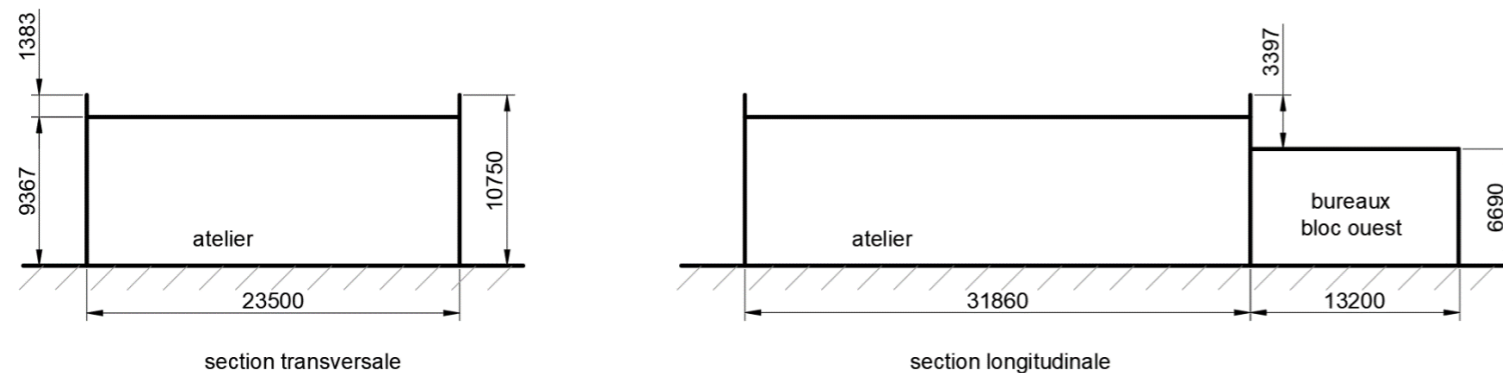
2. Travail demandé

Tous les calculs nécessaires seront détaillés et rédigés sur les DR.

2.1. Analyse du contexte du projet

2.1.1. Étude des charges de neige

L'objectif de cette étude est de déterminer les charges de neige sur deux des toitures du projet en vue d'une modélisation numérique. L'étude des charges de neige se fera selon l'Eurocode 1 partie 1.3 en considérant les dimensions suivantes pour l'atelier et les bureaux - bloc ouest :



Le cas de neige accidentelle n'est pas à traiter.
Les pentes seront négligées (toiture horizontale pour toutes les études)
L'acrotère des bureaux – bloc ouest sera négligé comme indiqué sur le schéma ci-dessus.

- Q1.** Déterminer la charge de neige au sol S_k et indiquer votre réponse sur le DR1.
- Attention :** pour les questions Q2, Q3 et Q4, vous ajouterez systématiquement à la charge finale de neige une majoration de 0.2 kN/m^2 sur toutes les surfaces de toiture pour tenir compte de la faible pente.
- Q2.** Déterminer les charges de neige sur la toiture **de l'atelier** (section transversale) sans tenir compte des accumulations (cas S1) et compléter la représentation sur le DR1 en indiquant les valeurs des charges.
- Q3.** Déterminer les charges de neige sur la toiture **de l'atelier** (section transversale) en tenant compte des effets locaux dus aux acrotères (S2) et compléter la représentation sur le DR1 en indiquant les longueurs d'accumulation et les valeurs des charges.
- Q4.** Déterminer la charge de neige sur la toiture **des bureaux – bloc ouest** (section longitudinale) en tenant compte de l'atelier adossé (cas S2). Compléter la représentation sur le DR2 en indiquant la longueur d'accumulation et les valeurs des charges.

2.1.2. Étude des charges de vent

L'objectif de cette étude est de déterminer le Coefficient de pression intérieure (C_{pi}) dans l'atelier. En effet, en raison du décalage de livraison des différents ouvrages, il y aura une période transitoire pendant laquelle les façades Nord-Est et Nord-Ouest de l'atelier seront partiellement ouvertes (maçonnerie non réalisée). Vous allez donc déterminer la valeur du C_{pi} dans ce cas en vue de la modélisation des charges correspondantes.

Attention : la période transitoire en phase d'exécution est comprise d'avril à septembre donc C_{season} sera pris égal à 0.9.

A partir du modèle du bâtiment donné page suivante (**Figure 1**) :

- Q5.** Calculer la pression dynamique de pointe s'appliquant au projet et indiquer votre réponse sur le DR2.
- Q6.** Déterminer le Coefficient de pression extérieure ($C_{pe,10}$) s'appliquant sur la face Nord-Est de l'atelier (face « au-vent ») et indiquer votre réponse sur le DR2.
- Q7.** Calculer la pression de vent exercée sur la face Nord-Est (w_e) et indiquer votre réponse sur le DR2.

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :2/13

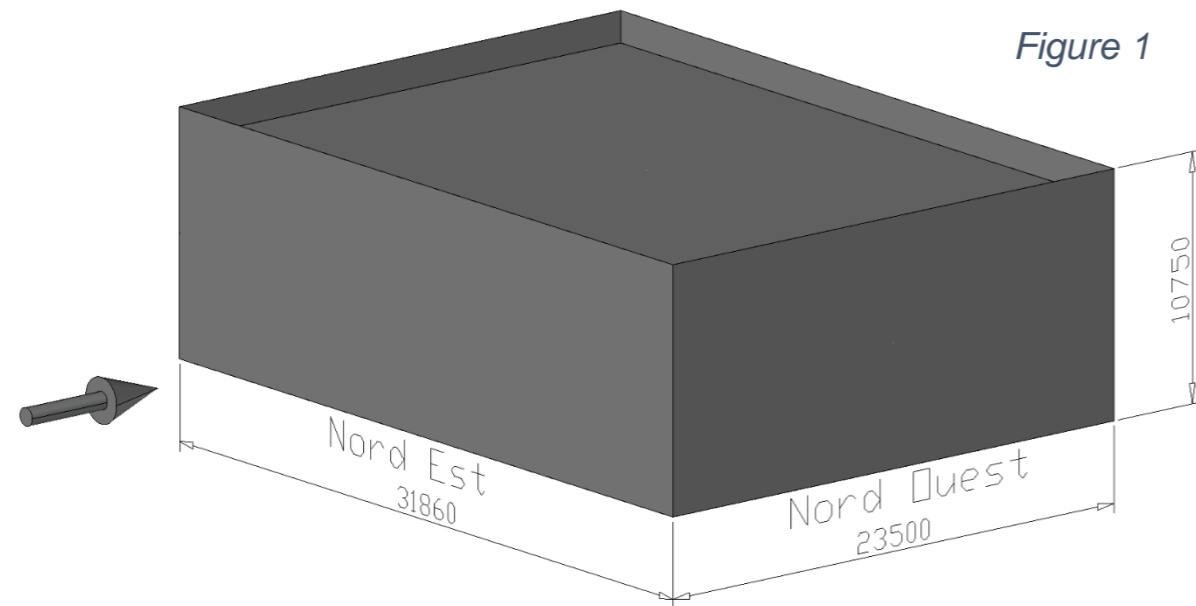


Figure 1

En utilisant la représentation des façades de l'atelier en phase transitoire ci-dessous (Figure 2) :

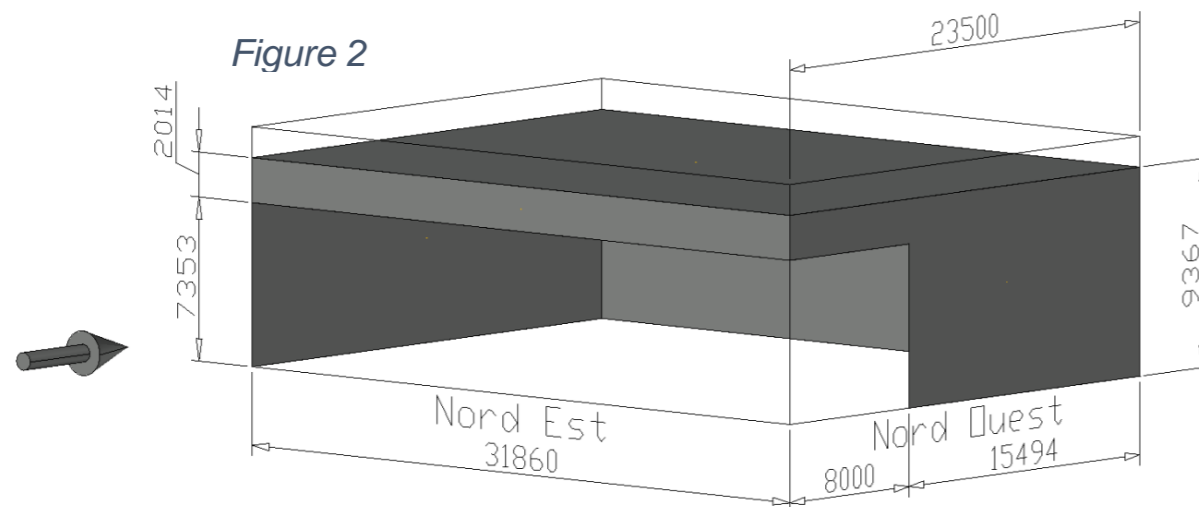
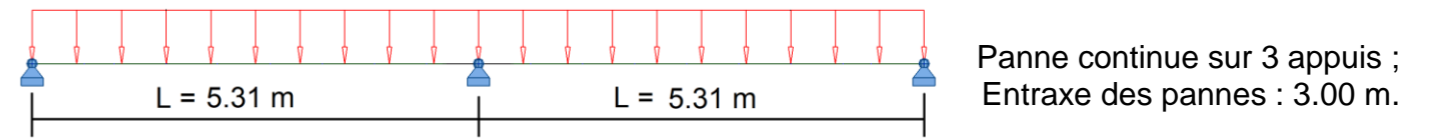


Figure 2

- Q8.** Vérifier que la toiture de l'atelier ne doit pas être considérée comme une toiture isolée. Indiquer votre démarche sur le DR3.
- Q9.** Vérifier que la face dominante de l'atelier est la face Nord-Est. Indiquer votre démarche sur le DR3.
- Q10.** Calculer le C_{pi} correspondant et indiquer votre réponse sur le DR3.
- Q11.** Comparer la valeur du C_{pi} calculée à la question Q10 à la valeur par défaut du C_{pi} « bâtiment fermé » qui est de +0.2. Conclure sur l'intérêt de cette étude sur le DR3.
- Q12.** En considérant un C_{pi} de +0.7, calculer la valeur de la surpression intérieure (w_i) et indiquer votre réponse sur le DR3.

2.2. Etude d'une panne intermédiaire

L'objectif de l'étude est de pré-dimensionner aux Etats Limites de Service (ELS) une panne intermédiaire de la couverture de l'atelier. Celle-ci sera réalisée à l'aide d'un profil IPE en acier S275 ($f_y = 275$ MPa). La modélisation est donnée ci-dessous :



- Q13.** Le CCTP préconise une isolation en couverture avec un R minimum de $4.8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Choisir l'épaisseur d'isolant de type *Efigreen Acier* nécessaire pour respecter cette résistance thermique minimale. Indiquer votre réponse sur le DR3 ainsi que le R correspondant à votre choix.
- Q14.** Calculer le poids propre surfacique de la couverture de l'atelier en complétant le tableau du DR4.

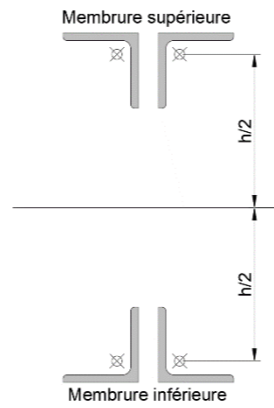
Pour la suite de l'étude, vous prendrez les valeurs non majorées suivantes :

- Le poids propre de la couverture est égal à 22 daN/m^2 .
 - Le poids propre des pannes a été estimé à 5 daN/m^2 sur la base d'un empannage en IPE 120.
 - La charge de neige est égale à 76 daN/m^2 .
 - La charge de vent en surpression $W+$ est égale à $+141 \text{ daN/m}^2$.
- Q15.** Déterminer la combinaison ELS la plus défavorable pour vérifier la flèche verticale d'une panne intermédiaire et en déduire p_{ELS} : charge linéaire reprise par une panne intermédiaire. Indiquer vos réponses sur le DR4.
- Q16.** Pour la suite de l'étude, vous prendrez $p_{ELS} = 6.2 \text{ kN/m}$ La condition de flèche maximale pour une toiture en général est de $L/200$ avec L : portée de la panne. En utilisant le formulaire du DT page 10, calculer l'inertie de flexion minimale que devra avoir la panne pour être validée et choisir un profil IPE qui satisfait la condition de déformation aux ELS. Indiquer vos réponses sur le DR4.
- Q17.** Comparer les masses linéiques des pannes choisies à la question Q16 et les pannes définies dans les hypothèses de la question Q15. Expliquer les éventuelles conséquences sur le DR4.

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :3/13

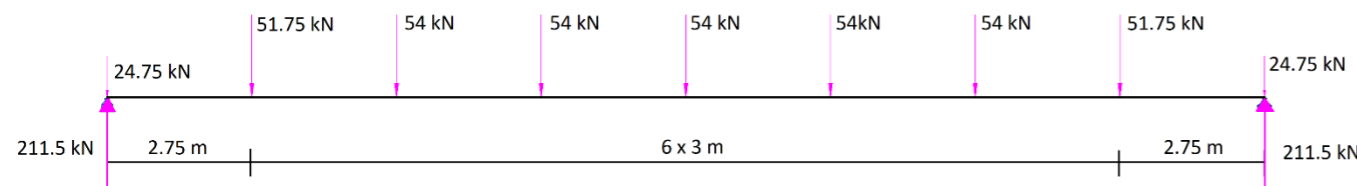
2.3. Etude de la poutre treillis

L'objectif de l'étude est de déterminer la hauteur entre axes des membrures de la poutre treillis. Pour cela vous devez réaliser une étude aux Etats Limites Ultimes (ELU).
Les membrures supérieure et inférieure sont réalisées avec des doubles-cornières **150x150x15** en acier **S275** ($f_y = 275$ MPa) comme le montre la figure ci-contre.



2.3.1. Calcul des sollicitations dans la poutre

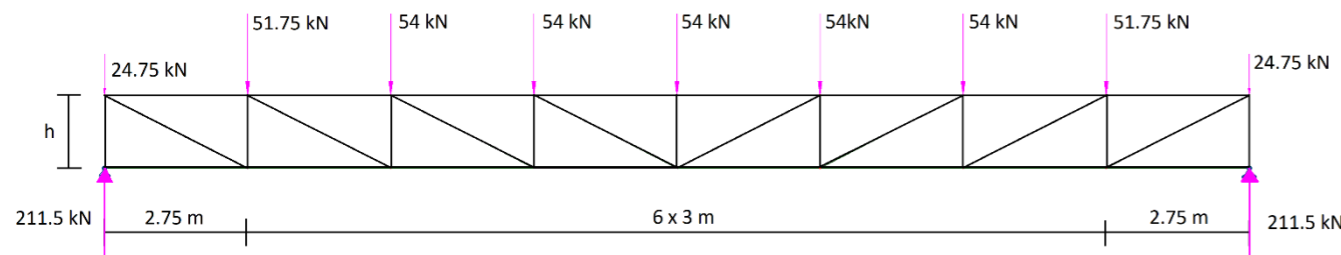
En utilisant le modèle mécanique simplifié suivant dans lequel les charges ont été majorées aux ELU :



- Q18.** Tracer l'effort tranchant et le moment fléchissant sur le DR5 le long de la poutre en indiquant toutes les valeurs caractéristiques.
En déduire le moment fléchissant maximum (M_{fmax}) dans la poutre treillis.

2.3.2. Dimensionnement du treillis : recherche de la hauteur h

Pour la suite de l'étude, on considère le modèle mécanique suivant pour la poutre treillis :



Le critère de dimensionnement déterminant pour la membrure supérieure aux ELU est l'instabilité de flambement. La cornière est un profil de classe 2.

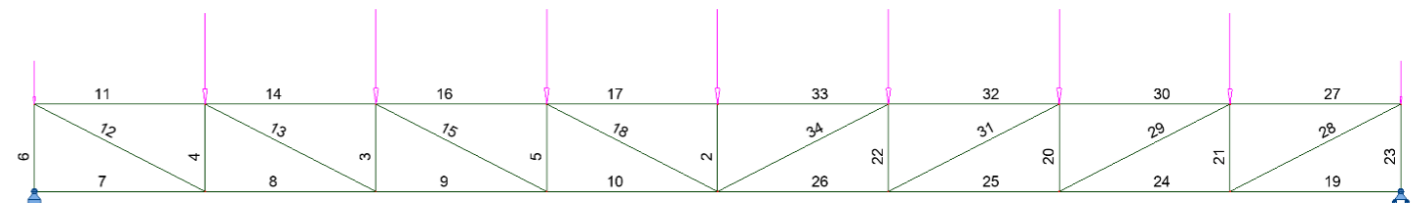
- Q19.** Expliquer sur le DR5 ce qui provoque cette instabilité dans la membrure supérieure et justifier que la longueur de flambement (L_{cr}) est de 3.00 m dans le plan du treillis à l'aide du DT page 9.
- Q20.** Calculer la résistance au flambement d'une cornière de la membrure supérieure. Indiquer votre réponse sur le DR5.

- Q21.** Donner la longueur de flambement d'une diagonale courante en supposant une attache à deux boulons, à l'aide du document technique p9. Indiquer votre réponse sur le DR6. ($h = 1.5$ m).

- Q22.** En prenant un effort normal maximum de **900 kN** dans les membrures ainsi qu'un moment maximum appliqué à la poutre de **1300 kN.m**. Calculer la hauteur minimale entre axes des membrures de la poutre treillis au centimètre près pour respecter ces contraintes. Indiquer votre réponse sur le DR6.

2.3.3. Vérification du treillis retenu

Une nouvelle modélisation de la poutre treillis que vous avez pré-dimensionnée a été faite avec une hauteur entre axes des membrures de 1.50 m. On vous donne les efforts internes calculés (traction si $FX > 0$).



Barre	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
2	-54	0	0
3	-135	0	0
4	-186,75	0	0
5	-81	0	0
6	-211,5	0	0
7	0	0	0
8	365,72	0	0
9	630,09	0	0
10	788,72	0	0
11	-365,72	0	0
12	410,64	0	0
13	296,85	0	0
14	-630,09	0	0
15	178,11	0	0
16	-788,72	0	0
17	-841,59	0	0

Barre	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
18	59,37	0	0
19	0	0	0
20	-135	0	0
21	-186,75	0	0
22	-81	0	0
23	-211,5	0	0
24	365,72	0	0
25	630,09	0	0
26	788,72	0	0
27	-365,72	0	0
28	410,64	0	0
29	296,85	0	0
30	-630,09	0	0
31	178,11	0	0
32	-788,72	0	0
33	-841,59	0	0
34	59,37	0	0

- Q23.** Vérifier que la hauteur choisie pour la modélisation respecte bien la limite de 900 kN maximum pour la membrure supérieure. Pour cela, compléter le tableau sur le DR6.

- Q24.** Calculer la hauteur de la poutre à mi-portée en tenant compte de la pente de la couverture de 3% (hauteur au bord : 1,5 m). Quelle influence cela peut-il avoir sur la section de la membrure supérieure ?

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page : 4/13

2.4. Etude d'une variante « plancher collaborant »

L'objectif de cette étude est de proposer une variante pour la réalisation du plancher intermédiaire des bureaux – bloc ouest.

La solution de base consiste en une dalle en béton armé (dalle BA) coulée en place de **20 cm** d'épaisseur.

Le poids volumique du béton armé est de 24 kN/m^3 .

La charge d'exploitation des bureaux donnée par le CCTP est de **250 daN/m²**.

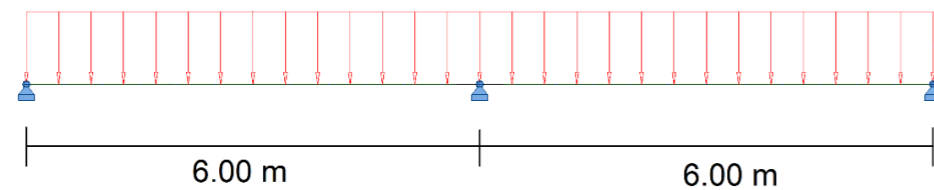
Le CCTP indique que le plancher intermédiaire ne doit répondre à aucun critère lié à l'acoustique, la thermique ou au degré coupe-feu.

2.4.1. Etude de la solution de base

Q25. Calculer le **poids propre** surfacique de la dalle en béton armé de la solution de base. Indiquer votre résultat sur le DR6.

2.4.2. Etude de la variante

En prenant pour le plancher collaborant le modèle mécanique suivant :



Le plancher collaborant sera réalisé avec le produit **COFRASTRA 70** d'épaisseur 75/100^{ème}.

Q26. Déterminer l'épaisseur minimale de béton nécessaire pour réaliser un plancher collaborant portant sur 3 appuis. Vous indiquerez sur le DR7 votre choix ainsi que le nombre de files d'étais nécessaires à la pose si besoin.

Q27. Calculer le poids propre surfacique du plancher collaborant qui a été déterminé à la question Q26. Indiquer votre réponse sur le DR7.

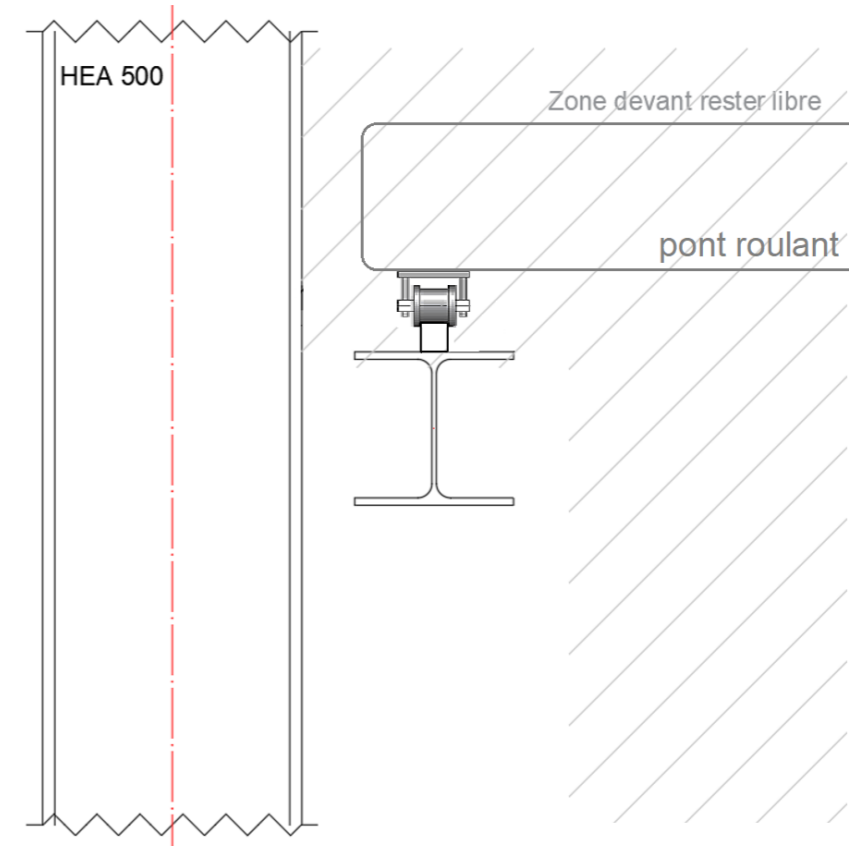
2.4.3. Comparaison

Q28. Comparer sur le DR7 la solution dalle BA et la solution plancher collaborant qui a été déterminée à la question Q26 et choisir une des solutions en argumentant votre choix.

2.5. Etude de la liaison chemin de roulement – poteaux

Le chemin de roulement est constitué d'un **HEA 300** surmonté d'un carré plein de 50x50. Les poteaux sont en **HEA 500**.

Le principe du pont roulant est le suivant :



Toute la zone située au-dessus de la semelle supérieure et à droite du chemin de roulement doit rester libre pour permettre le déplacement du pont roulant.

Q29. Proposer sur le DR8 une solution de liaison entre le chemin de roulement et le poteau en indiquant clairement les différents modes d'assemblage envisagés : soudure ou boulonnage ainsi que les différents éléments utilisés : plat, profils...

Aucun calcul n'est demandé, il s'agit de proposer une solution technique réaliste.

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :5/13

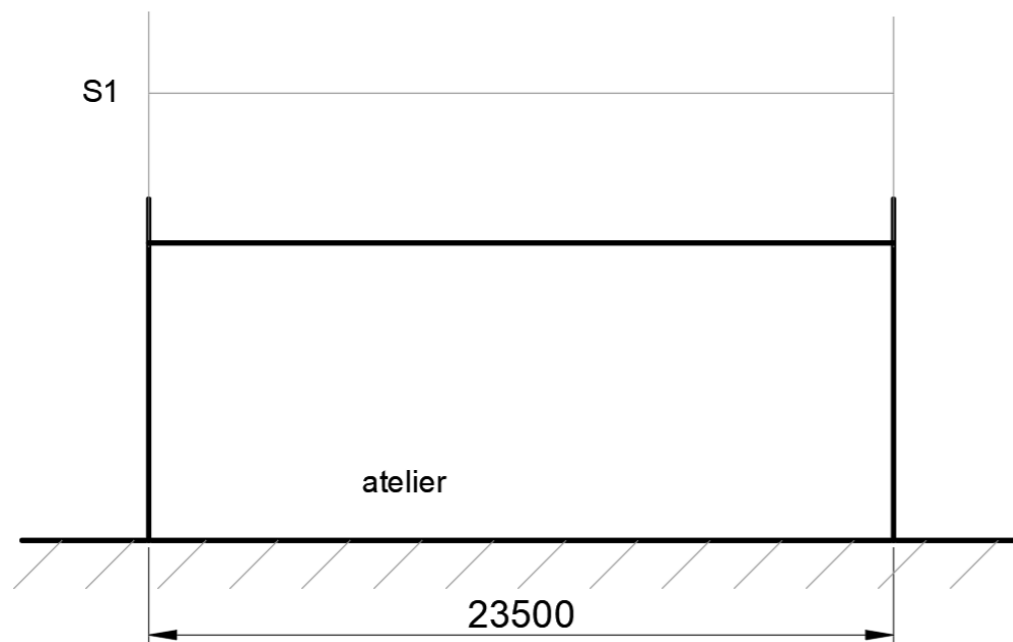
DR1

DR1

Q1. Charge de neige sur le sol [kN/m²] :

S_k =

Q2. Charge surfacique de neige sur la toiture de l'atelier, sans accumulation [kN/m²] :

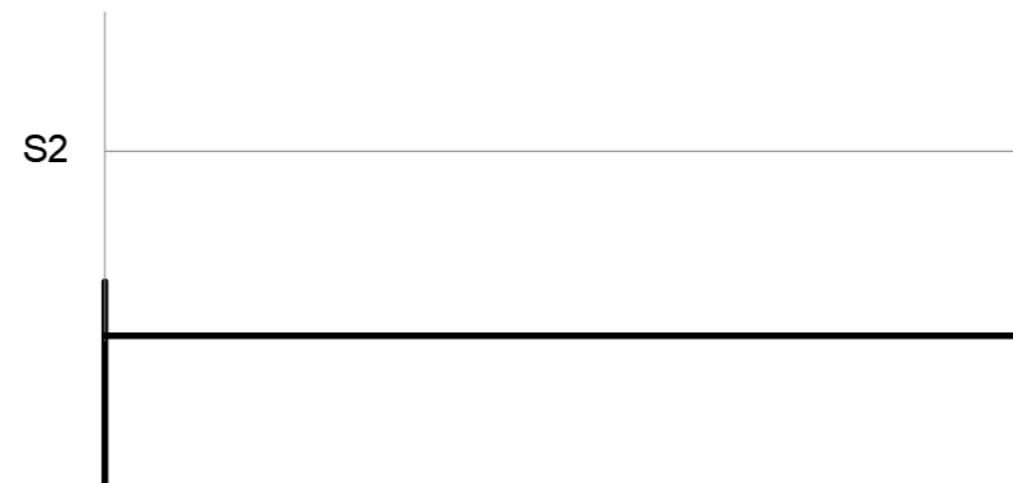


Document Réponse à rendre même non traité

N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q3. Charge surfacique de neige sur la toiture de l'atelier, avec effets locaux [kN/m²] :

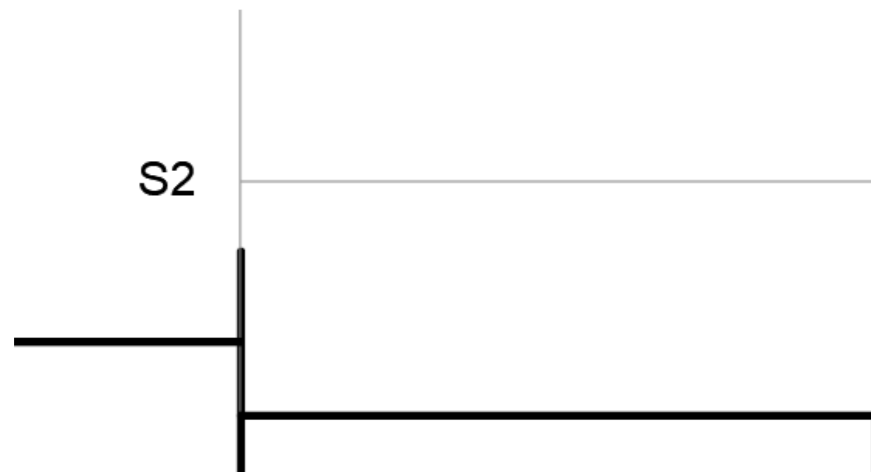


CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :6/13

DR2

DR2

Q4. Charge surfacique de neige sur la toiture des bureaux avec accumulation [kN/m²] :



Document Réponse à rendre même non traité

N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q5. Pression dynamique de pointe [Pa] :

$Q_{P(z)} =$

Q6. Coefficient de pression extérieure :

$C_{pe,10} =$

Q7. Pression de vent sur la face Nord-Est [kN/m²] :

$W_e =$

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet
Durée : 4h	Coefficient : 4	Calculatrice autorisée
		Page :7/13

DR3

DR3

Document Réponse à rendre même non traité

N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q8. Toiture isolée :

Q10. Coefficient de pression intérieure :

C_{pi} =

Q11. Comparaison C_{pi} calculé en Q10 et C_{pi} par défaut :

Q9. Face dominante :

Q12. Surpression intérieure [kN/m²] :

W_{i+} =

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :8/13

DR4

DR4

Q13. Epaisseur de l'isolant [mm] :

Épaisseur :

R correspondant :

Q14. Poids propre de la couverture :

Poids propre de la couverture		
Composition CCTP	Produit commercial	Poids surfacique daN/m ²
Bac acier support d'étanchéité 75/100 ^{ème}	Bacacier ALTEO 59.900	8
Pare vapeur	Chape d'aluminium bitumé	1
Isolant	Efigreen Acier	
Complexe d'étanchéité de type bicouche élastomère, posé en adhérence	ELASTOPHENE FLAM 180-25	3,6
	Chape Atlas AR	5
Total =		

Q15. Combinaison ELS - p_{ELS} [kN/m] :

Combinaison ELS défavorable :

p_{ELS} =

Document Réponse à rendre même non traité

N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q16. Inertie de flexion minimale de la panne [cm⁴] :

I_{mini} =

IPE choisi :

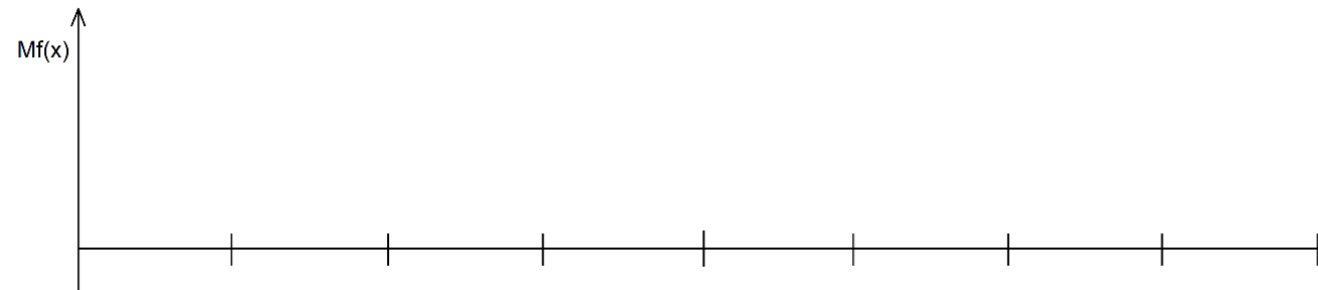
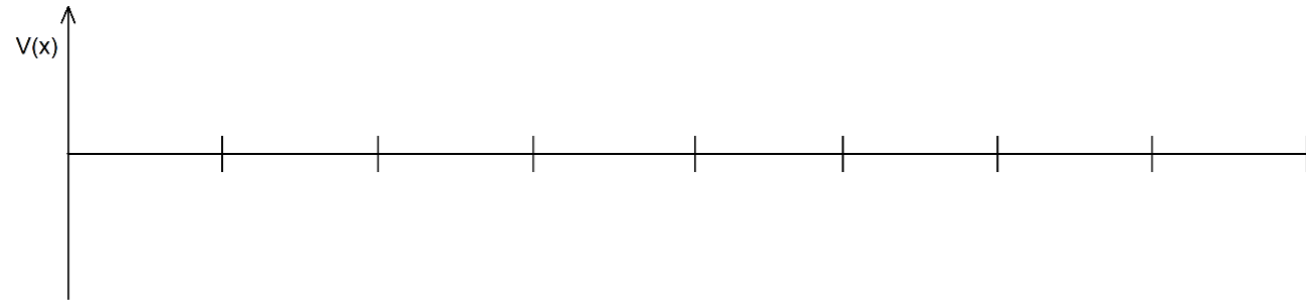
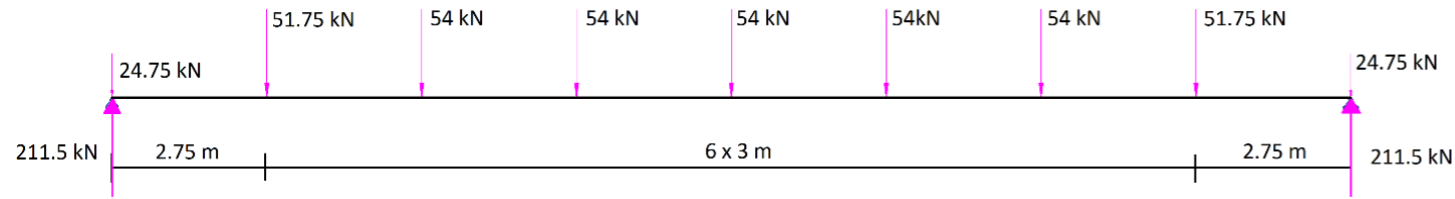
Q17. Analyse du résultat :

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :9/13

DR5

DR5

Q18. Diagrammes $V(x)$ et $M_f(x)$:
Le tracé se fera sans échelle mais en respectant les proportions.



$M_{f_{max}}$ [kN.m] =

Document Réponse à rendre même non traité

N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q19. Justification de l'instabilité de flambement dans la membrure supérieure et de la longueur de flambement :

Q20. Résistance au flambement d'une cornière [kN] :

$N_{b,Rd}$ =

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :10/13

DR6

DR6

Q21. Longueur de flambement d'une diagonale :

Q22. Entraxe des membrures de la poutre treillis [m] :

h =

Q23. Validation du choix :

Validation des barres au flambement			
N° des barres les plus sollicitées de la membrure supérieure	Ned	Ratio %	Validation

Valide : ✓
Non valide : X

Document Réponse à rendre même non traité

N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q24. Hauteur de la poutre à mi-portée :

Influence sur la section de la membrure supérieure :

Q25. Poids propre surfacique de la dalle BA [kN/m²] :

ppdalleBA =

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		Page :11/13

DR8

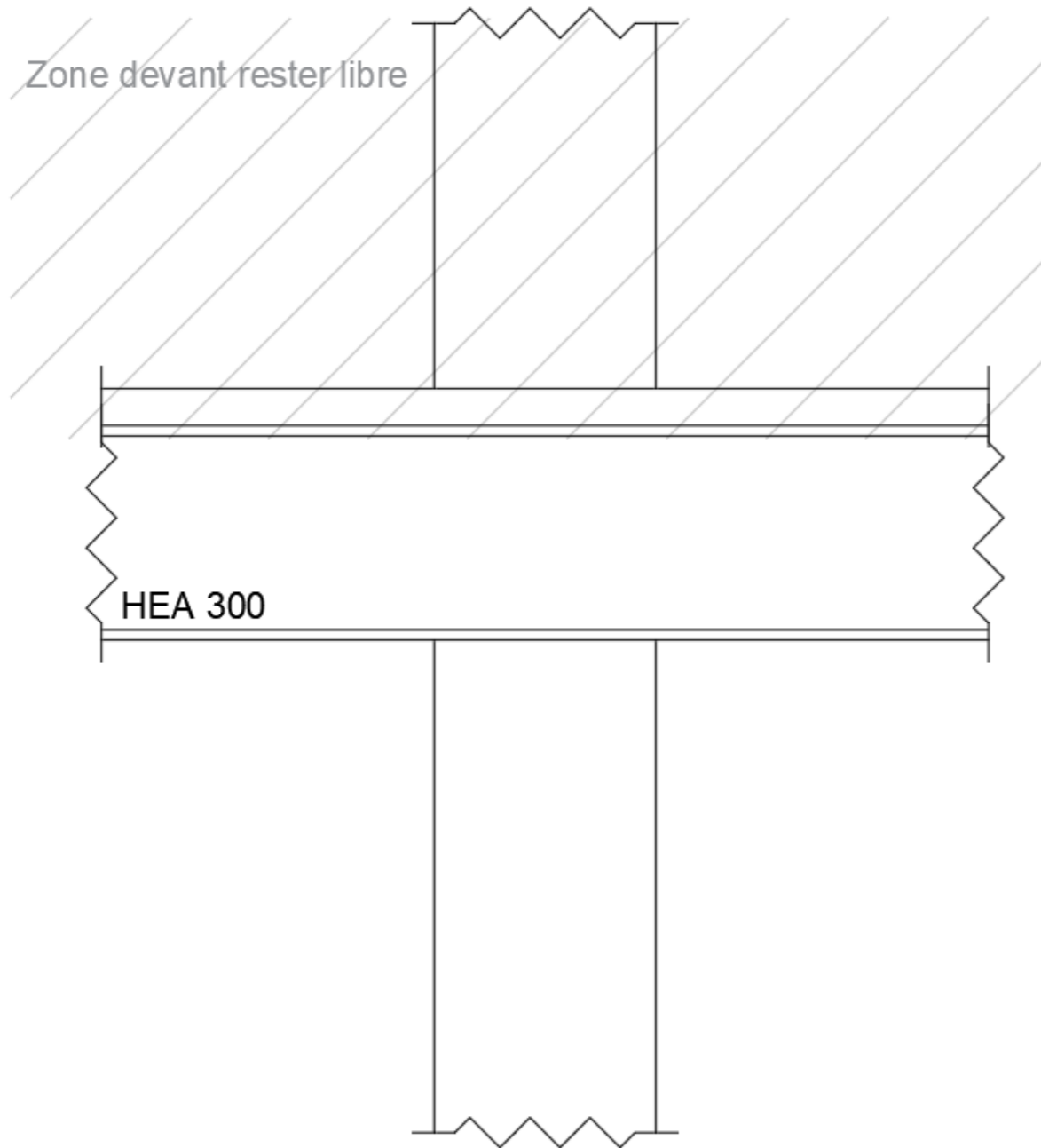
DR8

Document Réponse à rendre même non traité

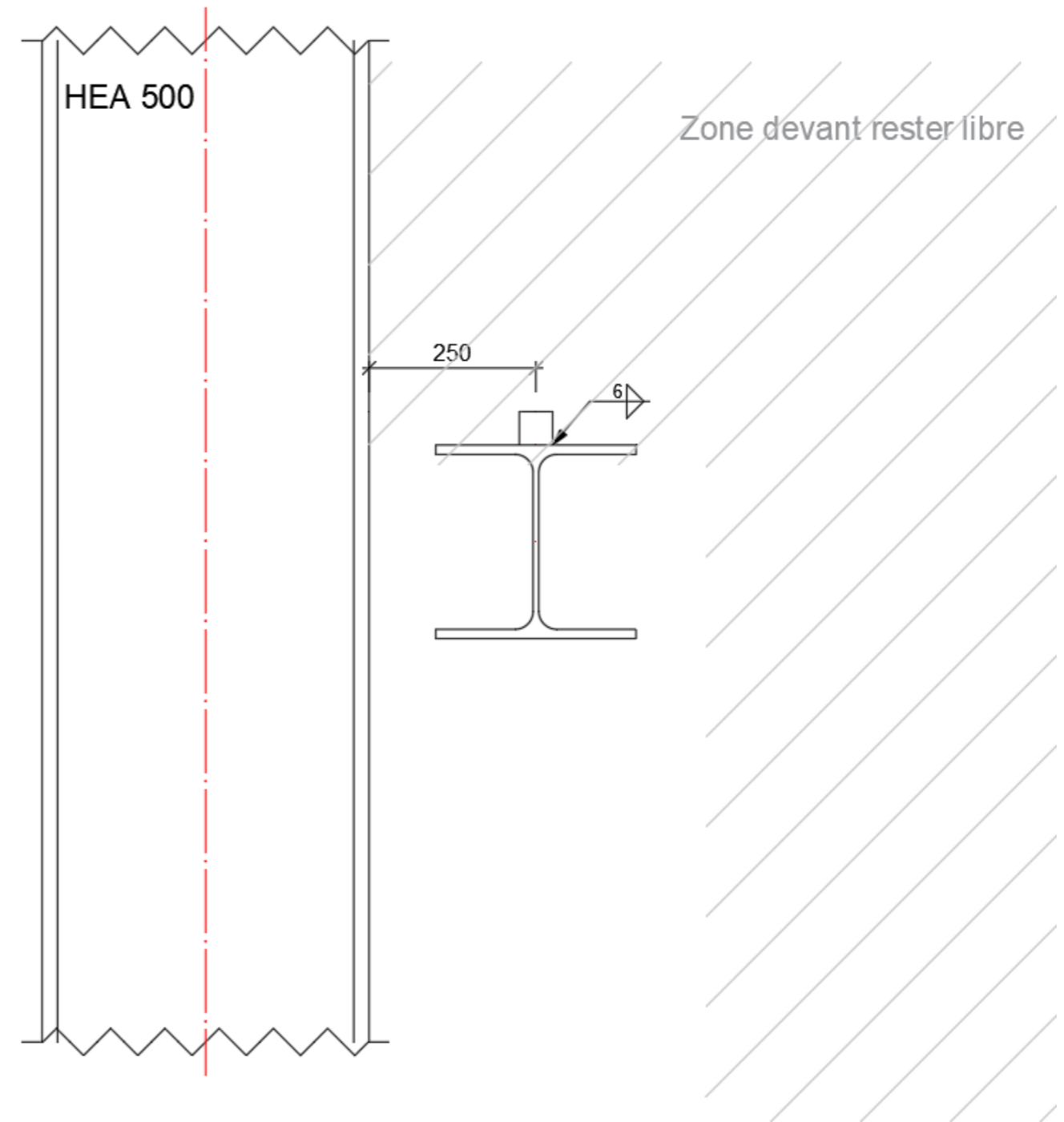
N° d'anonymat :

Document àagrafer dans la copie par les surveillants

Q29. Solution d'assemblage :
Il n'est pas demandé un dessin à l'échelle, mais un croquis proportionné repérant clairement les éléments constitutifs de l'assemblage. Le fond de plan est à l'échelle.



Vue de face



Vue de gauche

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2023	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet
Durée : 4h	Coefficient : 4	Calculatrice autorisée
		Page :13/13