

SESSION 2023

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

L'usage de tout autre ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	102	7048

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1416A	102	7048

AGRÉGATION
CONCOURS INTERNE
et CAER

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR ET
INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS

ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ ET D'UNE
ORGANISATION

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 1 sur 35

COMPOSITION DE L'ÉPREUVE

- TEXTE DU SUJET :

Le sujet comporte quatre parties dont deux domaines d'étude.

1. Partie : description du projet

Description de la situation proposée à l'étude et des problématiques abordées.

Pages 4 à 9

2. Partie : questionnement

Questions à traiter par le candidat.

Étude 1 : démarche BIM

Étude 2 : vérification de l'échauffement du vitrage de la verrière

Étude 3 : étude structurelle de la verrière

Pages 10 à 18

3. Partie : documents techniques

- DT : documents spécifiques et relatifs au support de l'étude, données techniques.

Documents techniques fournis avec le sujet :

- DT01 : Plans détaillés de la verrière
- DT02 : Extrait du cahier 3242 du CSTB
- DT03 : Documentation technique du double vitrage
- DT04 : Propriétés IPE 450
- DT05 : Extrait de l'EC1 : tableau des combinaisons d'actions simplifié
- DT06 : Formulaire de RDM : poutre bi-encastree
- DT07 : Extrait de la NF EN 1993-1-1_NA_082013-15, valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales de l'EC3
- DT08 : Étude RDM du PRS sous chargement ELS
- DT09 : Extrait des règles RAGE 2012
- DT10 : Calcul de la distance entre un point et un plan

Pages 19 à 33

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 2 sur 35

4. Partie : documents réponses

- DR : documents qui seront à compléter et à rendre avec la copie ; tous les documents-réponses sont à rendre, même non complétés.

Documents-réponses :

DR1 : représentation schématique des flux

DR2 : représentation schématique des flux solaires

Pages 34 à 35

Les feuilles de copie remises au (à la) candidat(e) viendront compléter ces documents et permettront au (à la) candidat(e) de répondre au questionnement.

Après avoir complété les en-têtes, le (ou la) candidat(e) remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et les documents-réponses aux questions.

La présentation des réponses doit être soignée et toutes les réponses doivent être justifiées. L'évaluation tient compte de la pertinence des justifications.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 3 sur 35

Tournez la page S.V.P.

1. Description du projet

Durée conseillée pour la lecture du sujet : 15 minutes.

1.1. Présentation générale

1.1.1. Présentation du bâtiment « Le Connecteur »

Le projet étudié porte sur la construction d'un immeuble de bureaux à Biarritz dans le sud-ouest de la France, l'objectif étant de proposer des espaces de travail partagés et d'accueillir des manifestations publiques.

Cet établissement recevant du public se nomme « Le Connecteur » et accueille différents types d'activités :

- des espaces destinés à recevoir du public (Auditorium, forum, restaurant et atrium) ;
- des plateaux de bureaux aux étages ;
- un parc de stationnement au sous-sol.

Le projet a été conçu dans une forte démarche BIM avec une maquette numérique évolutive tout au long du processus de conception et de réalisation du bâtiment.

Ce projet innovant est considéré comme un « smart building » avec la mise en place de capteur de suivi au sein du bâtiment, d'une maquette numérique de suivi et de maintenance du bâtiment.

Il a été conçu comme un bâtiment à énergie positive en visant le label E+C- à un niveau E3C1.

1.1.2. Situation géographique

Le bâtiment se trouve dans le sud-ouest de la France classé VE4 et à une altitude moyenne de 85 m NGF.

1.2. Description constructive

1.2.1. Structure du bâtiment.

Le bâtiment principal en forme de « U » est composé d'une structure en béton en R+2 et deux niveaux de sous-sol.

L'atrium central est fermé par une verrière composée d'une structure métallique principale qui supporte une ossature supportant les vitrages. La définition de la verrière et de sa structure a fait apparaître plusieurs problématiques thermiques et structurelles qui vont être étudiées.

1.2.2. Présentation de la verrière.

La verrière est un des ouvrages phare de ce bâtiment. Elle permet de faire la transition entre le bâtiment et son entrée par le biais d'un atrium et d'un auvent abritant le forum (entrée principale du bâtiment).

L'atrium est fermé par un mur-rideau et une verrière en toiture qui se poursuit vers l'extérieur du bâtiment (figure 1). La verrière est constituée d'une charpente métallique sur laquelle est fixée une couverture en verre. Du côté de l'atrium (figure 2), un double vitrage isolant est utilisé. Du côté du forum (figure 3), il s'agit d'un simple vitrage. Les pans (ou herses) de verrière exposés au sud sont équipés de cellules photovoltaïques intégrées dans le simple et le double vitrage à l'intérieur du feuilletage du verre extérieur.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 4 sur 35

La verrière est constituée de 22 herse triangulaires inclinées et 21 d'entre elles sont identiques. Le DT01 donne le détail des plans de la verrière. On y retrouve :

- la vue de dessus de la verrière : plan de la toiture ;
- la géométrie des pans triangulaires inclinés : paramètres d'épure des herse de versants de verrières ;
- le calepinage de la couverture en verre dans le plan de la herse (16 panneaux indépendants en vitrage photovoltaïque) ;
- la coupe verticale sur le faitage entre deux herse ;
- la coupe verticale sur le chéneau à l'entrée du préau.

Les coupes permettent de visualiser l'orientation des profilés étudiés dans la partie structurelle du sujet : un IPE 450 (voir DT01-4) et un PRS (voir DT01-5).

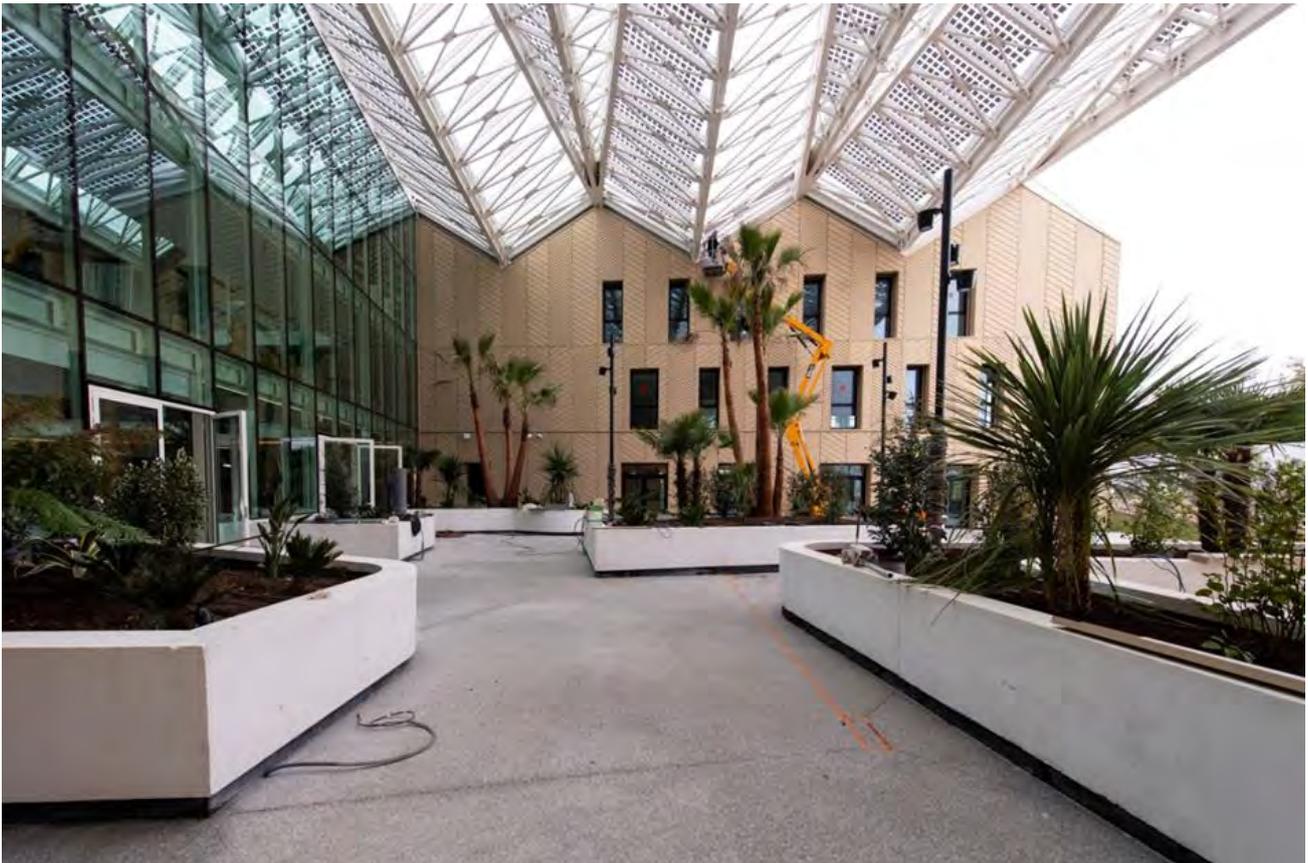


Figure 1 : vue sur l'espace forum avec l'auvent et le mur-rideau.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 5 sur 35

Tournez la page S.V.P.



Figure 2 : vue depuis l'intérieur de la verrière, côté atrium.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 6 sur 35



Figure 3 : zoom sur la structure de la verrière avec sur les pans sud du vitrage photovoltaïque et côté nord un vitrage "classique".

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 7 sur 35

1.3. Plans architecte

1.3.1. Vue en plan du RDC du bâtiment

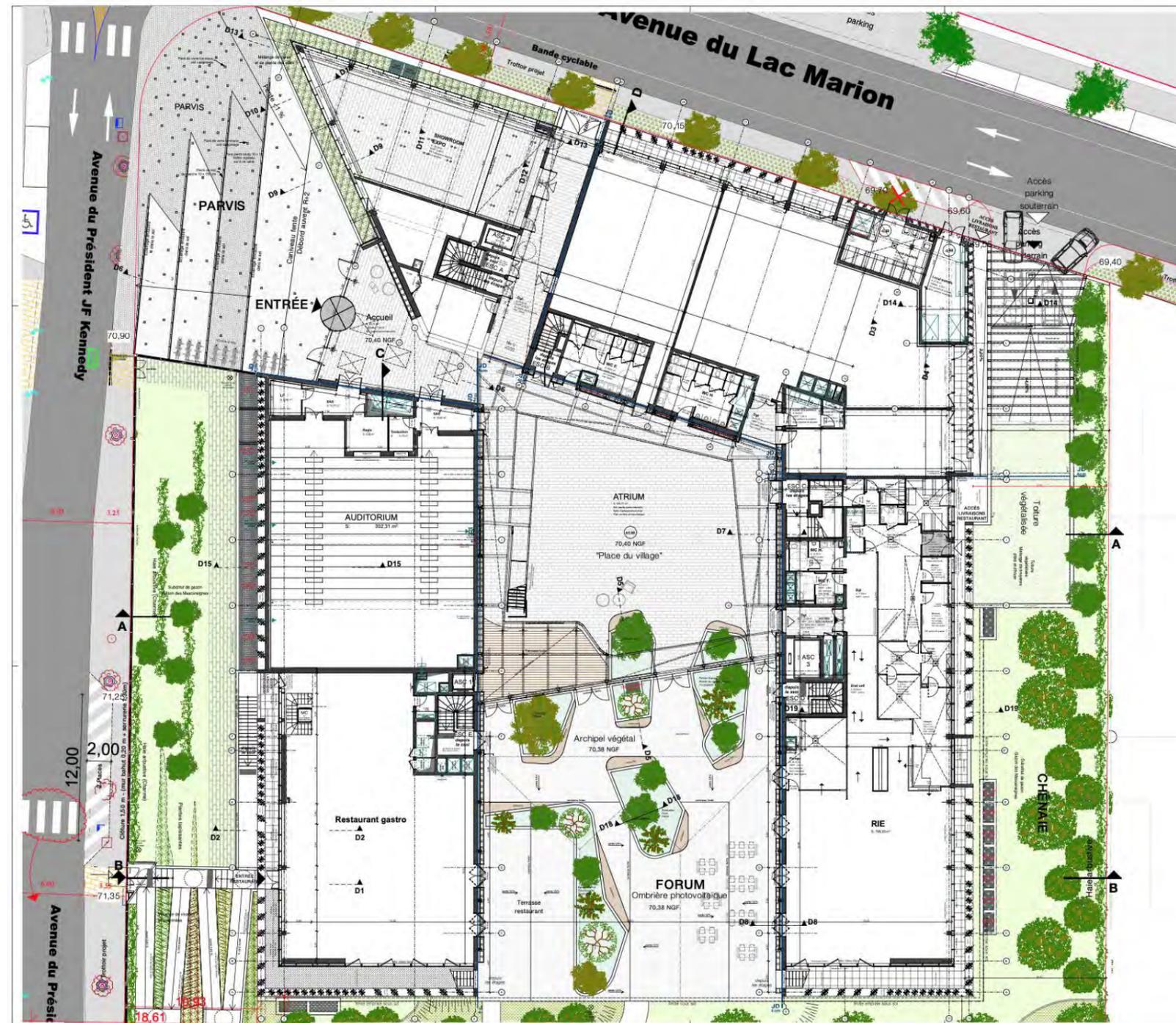


Figure 4: vue en plan du RDC du bâtiment

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023	
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 8 sur 35	

1.3.2. Plan de masse du bâtiment

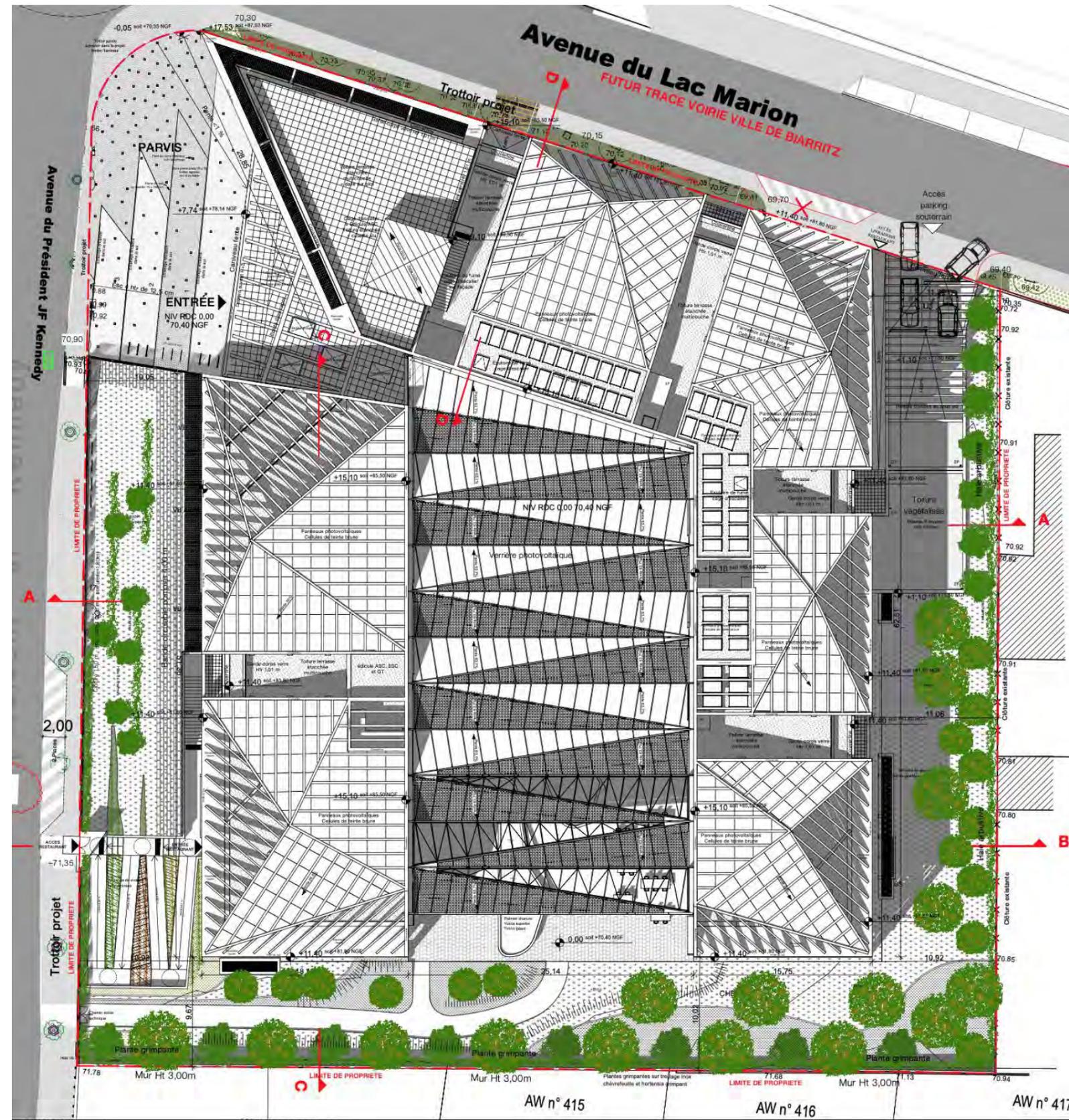


Figure 5: plan de masse du bâtiment

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023	
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 9 sur 35	

2. Partie : questionnement

Évaluation :

- Les éléments de réponses seront exhaustifs, argumentés et justifiés.
- Les schémas proposés seront explicites et précis.
- La qualité graphique sera soignée.
- Les réponses seront adaptées et pertinentes.
- Le niveau de détail et de précision des réponses sera évalué.
- L'utilisation des éléments normatifs et du vocabulaire technique sera reconnue.
- Les documents réponses établis auront une approche professionnelle.

2.1 ETUDE 1 démarche BIM

Durée conseillée : 15 minutes.

Le projet a été conçu dans une forte démarche BIM. À chaque phase du projet, les acteurs ont été amenés à produire une maquette numérique selon les termes définis dans un cahier des charges BIM et une convention BIM spécifique à la phase EXE. L'objectif final est de disposer du Dossier des Ouvrages Exécutés BIM (DOE/BIM).

Q1. Indiquer les objectifs d'une telle démarche BIM. En dix lignes maximum, **définir** l'intérêt d'une telle démarche pour un projet tel que « Le Connecteur ».

Le dossier de consultation des entreprises est annexé d'un cahier des charges BIM.

Q2. Indiquer l'objectif du cahier des charges BIM.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 10 sur 35

Tournez la page S.V.P.

2.2 ETUDE 2 Vérification de l'échauffement du vitrage de la verrière

Durée conseillée : 105 minutes.

L'objectif de cette partie est de vérifier que, dans des conditions limites d'exposition, l'échauffement du vitrage de l'atrium ne dépasse pas les seuils de température admissible. Cette vérification peut être réalisée pour des conditions été, hiver et mi-saison (dans le cas d'une paroi verticale). L'étude se limite à la configuration été.

En condition été, pour du vitrage feuilleté, la température doit rester inférieure ou égale à 60 °C pour la zone climatique étudiée.

La vérification porte sur le vitrage utilisé du côté de l'atrium. Il s'agit d'un double vitrage isolant dont la composition est donnée dans le DT03. La présence des cellules photovoltaïques est négligée.

2.2.1 Détermination du bilan des flux couches par couches

Le cahier 3242 du CSTB permet de définir les conditions climatiques à considérer pour calculer les températures maximales et minimales susceptibles d'être atteintes. Il donne alors les conditions limites du problème étudié résumées dans le *Tableau 1*.

Température maximale extérieure	42 °C
Température maximale intérieure	30 °C
Coefficients d'échanges superficiels extérieurs	$h_{\text{ext}} = 14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
Coefficients d'échanges superficiels intérieurs	$h_{\text{int}} = 6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Tableau 1: données pour la définition des conditions limites du problème

- Q3. Indiquer** les phénomènes thermiques modélisés par le biais des coefficients d'échanges superficiels. **Indiquer** l'autre phénomène physique à prendre en compte sur le côté extérieur.
- Q4. Indiquer** les conditions climatiques les plus défavorables à retenir pour l'étude concernant le côté extérieur.
- Q5.** À l'aide de l'extrait du cahier 3242 du CSTB présenté dans le DT02 et du plan de détail d'un des pans de la verrière présenté dans le DT01-2, **déterminer** la densité de flux solaire maximal notée q_{sol} à considérer pour la verrière.

Dans la suite des questions, l'étude est réalisée en régime permanent. Les flux et les températures sont considérées homogènes sur les surfaces étudiées. La vérification est donc réalisée en 1D sur une coupe transversale du vitrage.

- Q6.** À l'aide de la documentation technique du vitrage de l'atrium présentée dans le DT03, **représenter** schématiquement les différents flux à considérer couche par couche sur le document réponse DR1 (chaque flux sera dissocié et identifié).

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 11 sur 35

On considère un flux solaire maximal q_{sol} de $955 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

On utilise les notations suivantes :

- les coefficients d'absorption sont notés a avec a_1 le coefficient d'absorption du vitrage 1 et a_2 le coefficient d'absorption du vitrage 2.
- les coefficients de réflectance sont notés r avec r_1 le coefficient de réflectance du vitrage 1 et r_2 le coefficient de réflectance du vitrage 2.
- les coefficients de transmission seront notés t avec t_1 le coefficient de transmission du vitrage 1 et t_2 le coefficient de transmission du vitrage 2.

Q7. Compléter le document réponse DR2 en schématisant les flux transmis, absorbé et réfléchi. À partir des caractéristiques des deux vitrages feuilletés présentées dans le DT03, **préciser** la valeur de ces différents flux.

Q8. À l'aide de la documentation technique du vitrage donné dans le DT03, **calculer** les résistances thermiques surfaciques des deux vitrages feuilletés (côté intérieur et côté extérieur) qui composent le double vitrage, notées $R_{\text{vit } 1}$ et $R_{\text{vit } 2}$ (due aux transferts conductifs).

2.2.2 Étude de la lame d'argon du double vitrage

Les vitrages sont assimilés à des corps gris. Les deux surfaces sont considérées parfaitement parallèles et l'épaisseur de la lame d'argon est négligeable devant la longueur. On note ϵ_2 et ϵ_3 respectivement l'émissivité des vitrages côté extérieur de la lame d'argon et côté intérieur de la lame d'argon.

Q9. En utilisant la méthode des radiosités, **montrer** que l'expression de la densité de flux radiatif échangée, noté q_{IR} entre les surfaces du vitrage de part et d'autre de la lame d'argon peut s'écrire :

$$q_{\text{IR}} = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1}$$

Q10. Montrer que la densité de flux échangée entre les deux surfaces peut s'écrire $q_{\text{IR}} = h_{\text{IR}}(T_2 - T_3)$. **Préciser** l'expression de h_{IR} et les hypothèses qui conduisent à l'établissement de cette expression. On pourra utiliser une température moyenne $T_m = \frac{T_2 + T_3}{2}$ définie comme la moyenne des températures de surface intérieure des vitrages.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 12 sur 35

On considère les valeurs suivantes :

- émissivité pour le vitrage extérieur : $\varepsilon_2 = 0,13$;
- émissivité pour le vitrage intérieur : $\varepsilon_3 = 0,92$;
- température moyenne : $58 \text{ }^\circ\text{C}$;
- constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$.

Q11. Calculer la valeur du coefficient h_{IR} pour le vitrage.

La lame d'air entre les deux vitrages est composée d'Argon à 100 %. Elle fait une épaisseur de 18 mm. On suppose que la conduction est prépondérante devant la convection. Les échanges radiatifs ne sont pas négligés. On donne $\lambda_{\text{argon}} = 0,017 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ et on prendra $h_{IR} = 1,06 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q12. En considérant les conditions de l'étude et en considérant les résultats précédents, **estimer** la résistance thermique de la lame d'argon notée R_{argon} .

Q13. À partir des deux résultats précédents, **calculer** la résistance thermique surfacique globale et le coefficient de transmission surfacique U_g du vitrage. **Indiquer** si cette valeur peut être directement comparée avec celle de la documentation technique du DT03.

2.2.3 Estimation des températures dans le vitrage

On note R_{se} la résistance thermique surfacique de la surface extérieure du vitrage. On note R_{si} la résistance thermique surfacique de la surface intérieure du vitrage.

Q14. Représenter le schéma électrique équivalent du problème qui intègre les résistances calculées lors des questions précédentes (R_{se} , R_{si} , $R_{vit\ 1}$, $R_{vit\ 2}$, R_{argon}). À l'aide de la question 7, intégrer la densité de flux solaire absorbée par chaque couche de vitrage en respectant les notations.

Q15. Écrire l'équation permettant de calculer la température T_1 en fonction du flux solaire absorbé par la première couche, de la température d'air extérieur T_{ext} et de la température de surface T_2 . **Montrer** que cette équation peut se mettre sous la forme :

$$T_j \left(\frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{j+1}} \right) - \frac{T_{j-1}}{R_j} - \frac{T_{j+1}}{R_{j+1}} = q_j$$

La figure 6 illustre le schéma électrique équivalent de l'équation précédente.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 13 sur 35

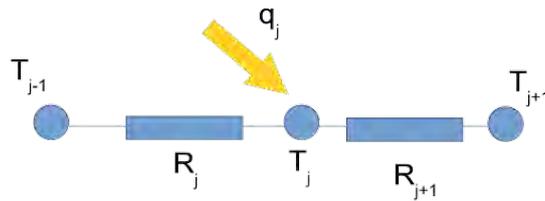


Figure 6: schéma électrique équivalent.

Q16. À partir des résultats précédents, **déduire** le système matriciel permettant de calculer

les différentes températures sous la forme : $[A] \cdot [T] = [B]$ avec $[T] = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix}$. **Préciser** les matrices A et B.

L'inversion du système matriciel précédent permet d'obtenir les températures suivantes :

Localisation	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Température (°C)	56,10	56,18	59,32	56,75

Q17. Conclure quant à l'échauffement du vitrage.

2.2.4 Influence des cellules photovoltaïques

À l'intérieur du vitrage côté extérieur, entre les deux vitres du feuilletage, des cellules photovoltaïques sont positionnées.

Q18. Indiquer l'influence de la présence des cellules photovoltaïques sur les caractéristiques du vitrage et le modèle électrique proposé précédemment. **Préciser** les paramètres qui doivent être recalculés ou modifiés dans la définition du problème.

Q19. Indiquer l'influence de la présence des cellules photovoltaïques sur les apports solaires de l'atrium. **Préciser** sur quelle étude réglementaire cela aura de l'influence.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 14 sur 35

2.3 ETUDE 3 Etude structurelle de la verrière

Durée conseillée : 105 minutes.

La verrière est constituée d'une charpente métallique sur laquelle est fixée une couverture en verre. La charpente métallique est dimensionnée à l'Eurocode 3 (EC3) alors que la couverture en verre doit respecter les recommandations professionnelles pour les verrières (règles RAGE 2012).

L'objectif de cette étude est de vérifier la déformation de la charpente et de la couverture et d'étudier le comportement de la verrière à l'interface entre ces deux éléments. Pour cela, l'étude porte sur la herse située à l'extrémité sud de la verrière, située entre la file Y0 et Y1 (voir DT01-1). Cette herse est constituée d'IPE 450 au faitage et d'un PRS 560-10-30*300 au chéneau. Son contreventement est assuré par une triangulation réalisée à l'aide de tubes creux ronds et rectangulaires. De plus, comme indiqué en introduction, 16 panneaux indépendants de vitrage photovoltaïque viennent couvrir la partie de charpente métallique étudiée.

2.3.1 Étude du PRS

Q20. À l'aide des plans du PRS donnés dans le DT01-5 (coupe verticale sur le chéneau à l'entrée du préau), **calculer** l'aire et l'inertie du PRS.

Q21. À l'aide des plans de la verrière (DT01-1 et DT01-3), **déterminer** la surface d'une herse dans son plan (notée S_h) ainsi que sa surface projetée (notée S_{h-proj}). **Expliquer** pourquoi il est nécessaire de calculer ces deux surfaces.

Par souci de simplification, dans la suite de l'étude, la surface de charge est ramenée à une bande de chargement uniformément répartie sur le PRS. Le tableau 2 décrit les charges qui s'appliquent sur le PRS.

Désignation	Intensité	Unité	Type de charge
Poids propre	7 800	kg·m ⁻³	Permanente (G)
Système de contreventement (tubes creux)	23,5	kg·ml ⁻¹ de PRS*	Permanente (G)
Panneau vitrage photovoltaïque	40	kg·m ⁻²	Permanente (G)
Entretien	250	daN·m ⁻²	Variable (I)
Neige	45	daN·m ⁻²	Variable (S)
Vent (+ ou -)	60	daN·m ⁻²	Variable (W)

Tableau 2 : propriétés des charges qui s'appliquent sur le PRS

*Le poids propre du système de contreventement composé de tubes creux ronds et rectangulaires est pris en compte ici comme une charge uniformément répartie sur la longueur du profilé.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 15 sur 35

Selon l'Eurocode, le projet ne nécessite pas la prise en compte des combinaisons d'actions G+3 charges variables. Nous allons donc prendre en compte les combinaisons d'action G+2 charges variables. L'orientation du PRS est donnée dans l'annexe DT01-5.

Par soucis de simplification, on néglige la composante horizontale de l'effort de vent.

Q22. À l'aide du tableau des combinaisons d'actions du DT05, **déterminer** les combinaisons d'actions dimensionnantes à l'ELU et à l'ELS, notées respectivement $p_{PRS,ELU}$ et $p_{PRS,ELS}$. **Donner** l'intensité de chacune d'elles.

La suite de l'étude ne porte que sur la déformation de la structure. Le travail est donc uniquement à l'ELS avec $p_{PRS,ELS} = 550 \text{ daN}\cdot\text{m}^{-1}$. La figure 7 illustre la modélisation plane utilisée pour le PRS.

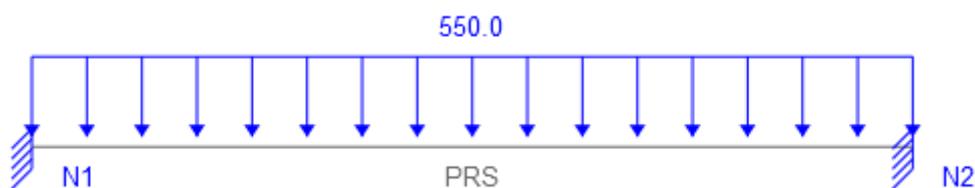


Figure 7 : modélisation du PRS

Q23. À l'aide du formulaire fourni dans le DT06, **déterminer** les réactions d'appui à l'ELS.

Q24. À l'aide du DT06, **donner** l'équation du moment fléchissant M_z dans le PRS.

Q25. **Déterminer** l'équation de la flèche du PRS.

Le document DT07 donne les valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales de l'EC3.

Q26. **Indiquer** si le profilé satisfait les conditions fixées par l'EC3.

2.3.2 Étude de l'IPE 450

Les caractéristiques de l'IPE 450 sont données dans le document DT04. La figure 8 illustre la modélisation plane utilisée pour l'IPE 450.

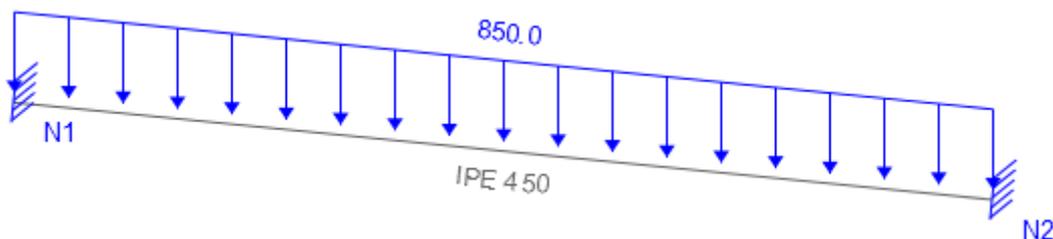


Figure 8 : modélisation de l'IPE 450

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 16 sur 35

Q27. À l'aide des documents DT07 et DT08, **déterminer** si la valeur limite maximale de flèche verticale recommandée par l'EC3 est vérifiée.

2.3.3 Calcul des déformations avec prise en compte du vitrage

On rappelle que la partie de charpente étudiée doit accueillir 16 panneaux de verre indépendants les uns des autres. Les panneaux SP16 à SP26 comportent quatre points d'appuis (un à chaque angle du panneau). Les panneaux SP27 à SP32 comportent six points d'appuis (un à chaque angle du panneau ainsi qu'un à mi-travée des 2 portées principales du panneau).

Les recommandations professionnelles pour les verrières (règles RAGE 2012) regroupent les règles de conception des verrières ainsi que les dispositions constructives à respecter afin d'assurer un bon fonctionnement de celles-ci. Ces règles stipulent notamment (voir extrait règles RAGE 2012 dans le DT09) qu'afin d'assurer l'étanchéité de la verrière, il est nécessaire de limiter le gauchissement de celle-ci. Aussi les déplacements différentiels maximaux sont limités à +/- 5 mm entre deux points d'appuis adjacents.

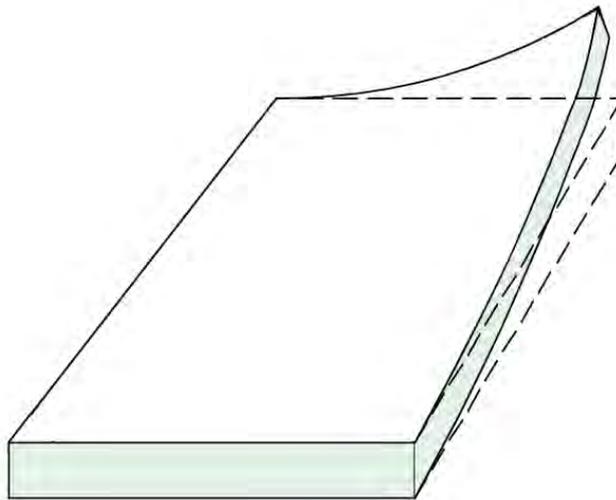


Figure 9 : illustration du gauchissement

L'étanchéité n'est pas un problème car l'étude porte sur une partie en simple vitrage photovoltaïque non étanche. Par contre, étant donné que les panneaux sont appuyés sur deux profilés de géométries différentes, il est nécessaire de vérifier le non gauchissement des panneaux. L'étude se centre sur le panneau le plus exposé au déplacement différentiel, le panneau S25, situé à mi-travée du PRS et de l'IPE 450 précédemment étudiés.

Q28. À l'aide du DT01-3 (calepinage de la couverture en verre dans le plan de la herse), **calculer** l'abscisse relative de chacun des quatre points d'appuis du panneau S25 sur le PRS (appuis du bas) et sur l'IPE (appuis du haut).

Q29. À l'aide de l'équation de la déformée du PRS et de l'IPE 450, **calculer** le déplacement maximal de chacun des points d'appuis du panneau. Conclure vis-à-vis des règles RAGE 2012.

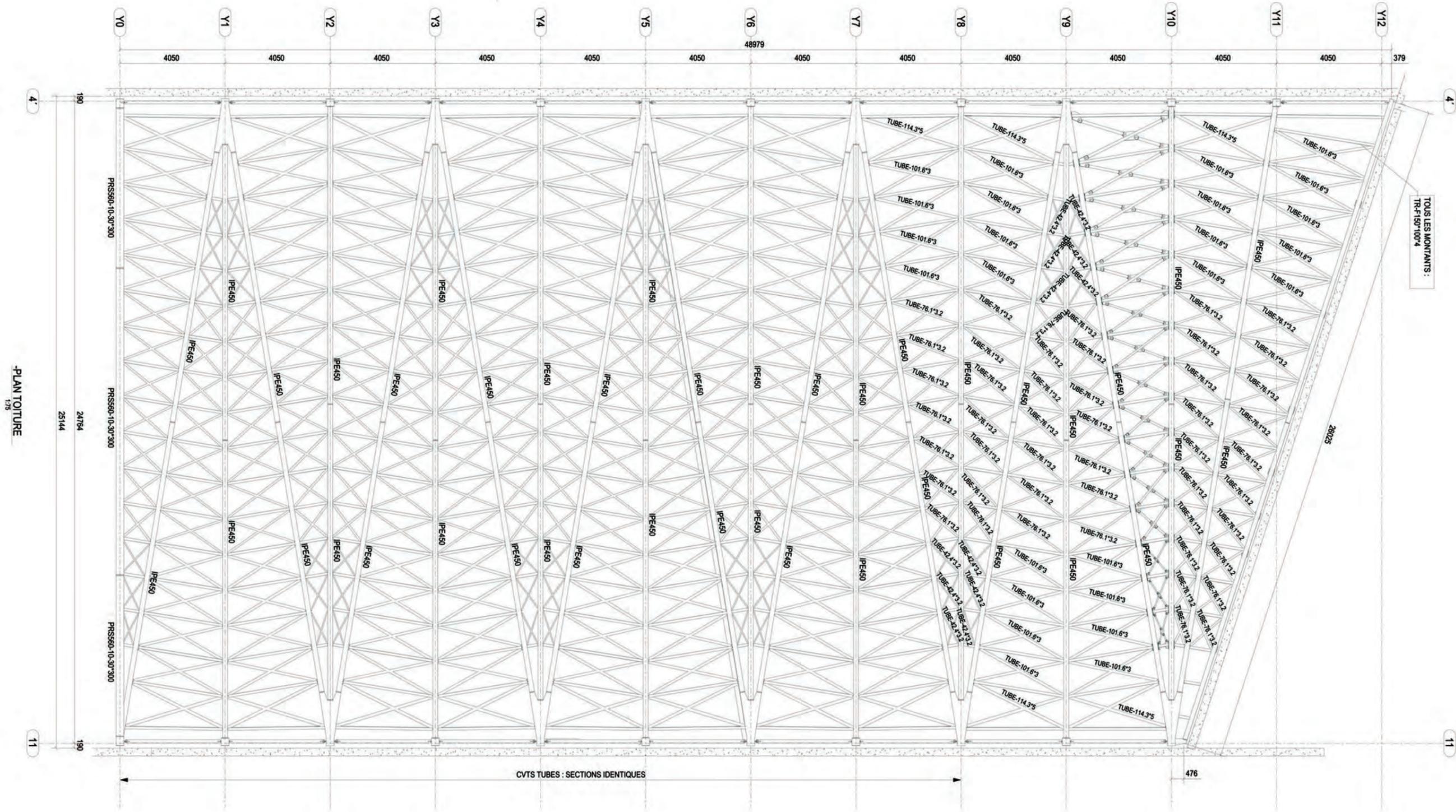
Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 17 sur 35

- Q30.** À l'aide du DT10 relatif au calcul de la distance entre un point et un plan, **calculer** le gauchissement du panneau et **conclure** quant à la vérification du critère sur les déplacements différentiels maximaux (+/- 5 mm).
- Q31.** **Analyser** les résultats obtenus et **proposer** une solution en cas de problème rencontré.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 18 sur 35

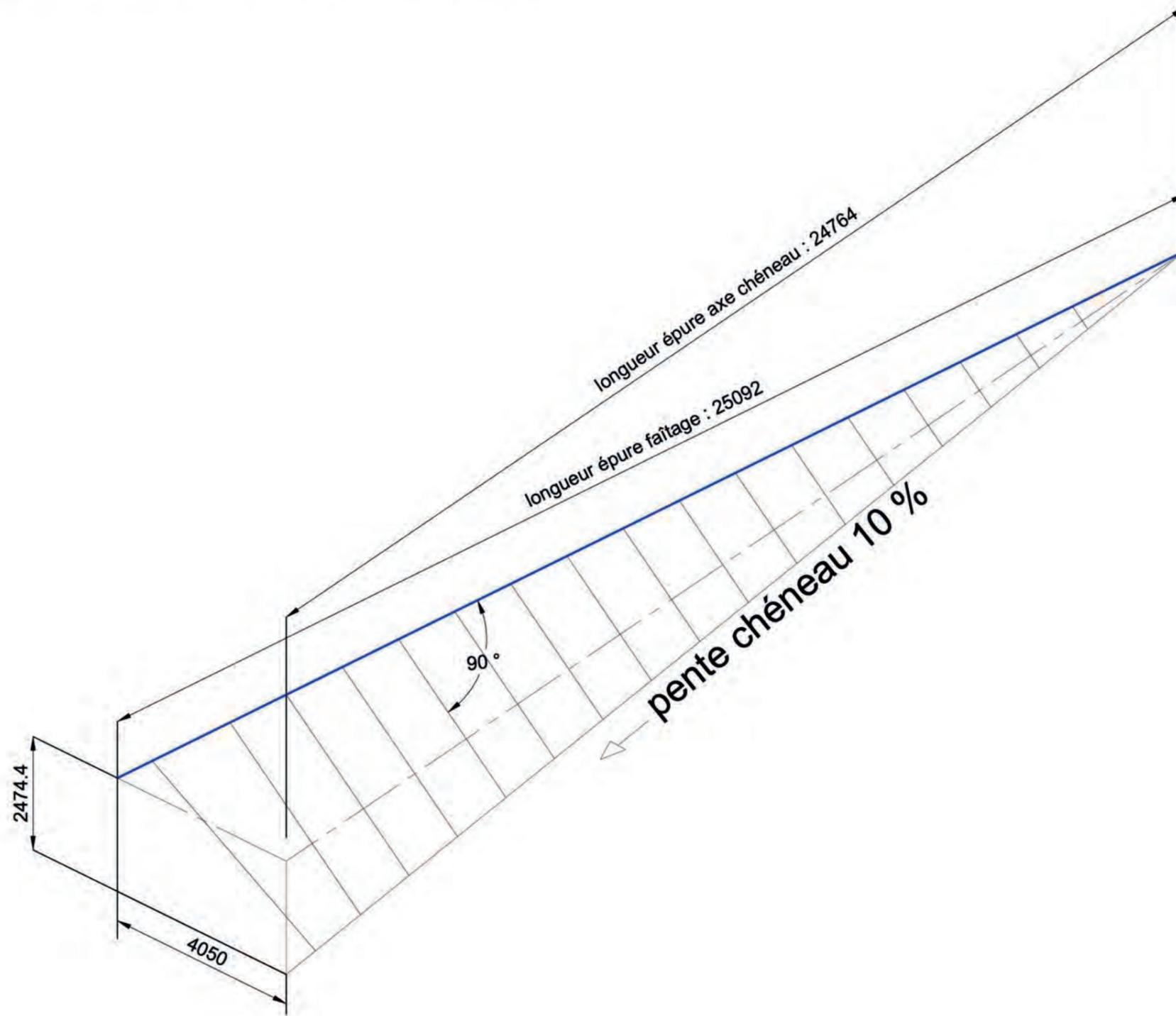
3. Documents techniques

DT01 Plans détaillés de la verrière
DT01-1 Plan de la toiture :



Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 19 sur 35

DT01-2 Géométrie des pans triangulaires inclinés :



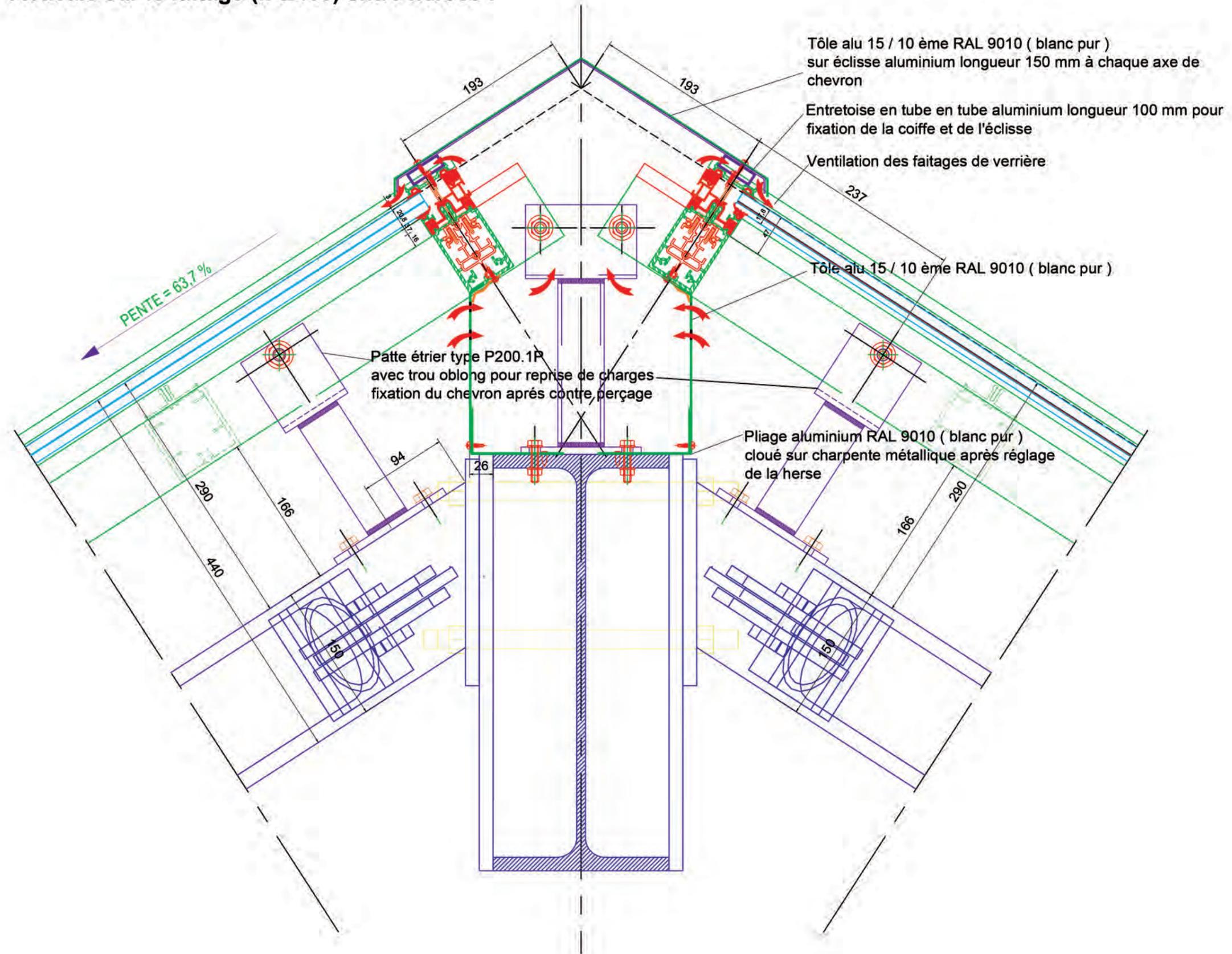
Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 20 sur 35

DT01-3 Calepinage de la couverture en verre dans le plan de la herse :



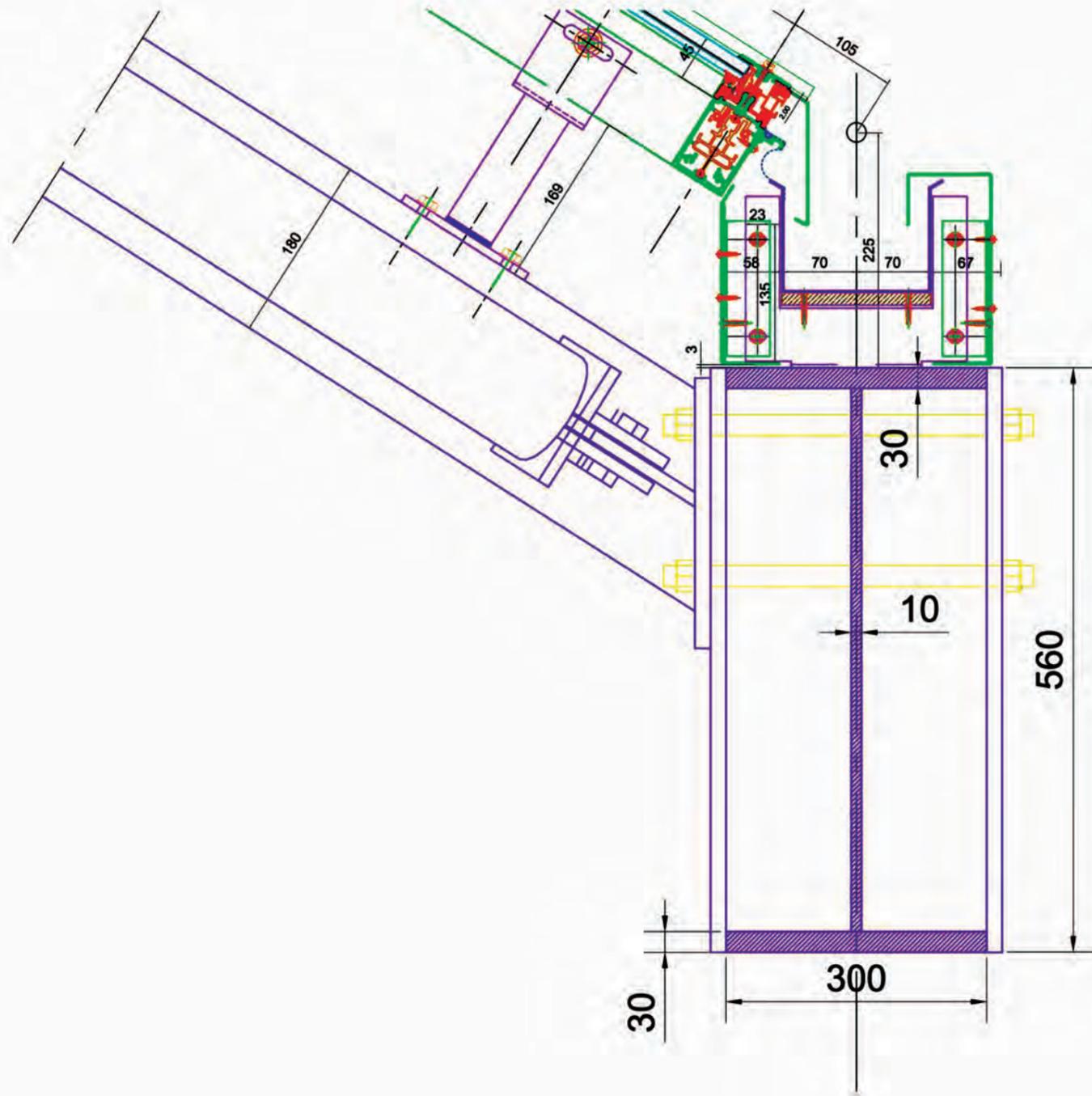
Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 21 sur 35

DT01-4 Coupe verticale sur le faitage (IPE450) entre herse :



Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 22 sur 35

DT01-5 Coupe verticale sur le chéneau (PRS) à l'entrée du préau :



DT02 **Extrait du cahier 3242 du CSTB**

Les données suivantes sont extraites du cahier 3242 du CSTB d'août 2000 intitulé « Conditions climatiques à considérer pour le calcul des températures maximales et minimales des vitrages ».

6.5 Flux solaires maximaux

6.5.1 Valeurs de référence du flux solaire maximal

La valeur de référence q_{ref} du flux solaire maximal est celle donnée pour les parois verticales, toutes orientations confondues, situées en zone non urbaine, à une altitude inférieure ou égale à 500 m.

$$q_{ref} = q_{znu} = 800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

6.5.2 Flux solaires en zones urbaines

Le passage d'une zone non urbaine à une zone urbaine située à la même altitude se traduit par une réduction de 6% du flux solaire maximal à considérer, quelle que soit l'orientation et l'inclinaison.

$$q_{zu} = 0,94 \cdot q_{znu}$$

6.5.3 Influence de l'altitude sur le flux solaire

Le flux solaire de référence $q_{ref,h}$ à considérer pour une altitude h à partir de 500 m au-dessus du niveau de la mer est obtenu à partir du flux de référence q_{ref} par la relation:

$$q_{ref,h} = k_h \cdot q_{ref} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$$

avec:

$$k_h = 1 + (h-500)/1000 \text{ et } k_h < 1,15$$

Pour les altitudes supérieures à 2 000 m, on considérera le flux solaire calculé à 2 000 m.

6.5.4 Influence de l'orientation, de l'inclinaison, et de la saison considérée sur le flux solaire

Selon les combinaisons de l'orientation et de l'inclinaison du vitrage, et en prenant en compte la saison considérée, les facteurs multiplicatifs k_o à appliquer pour obtenir le flux solaire maximal q_{max} à partir du flux de référence $q_{ref,h}$ à l'altitude h du site, est :

$$q_{max} = k_o \cdot q_{ref,h}$$

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 24 sur 35

Les facteurs k_o en conditions d'été sont précisés dans le tableau ci-dessous. Si seule l'inclinaison du vitrage est connue, on retiendra la valeur maximale de k_o pour l'ensemble des orientations.

Inclinaison par rapport à l'horizontale	Orientation				
	Sud	Sud-Est et Sud-Ouest	Est et Ouest	Nord-Est et Nord-Ouest	Nord
90°	0,60	0,80	1,00	0,87	0,25
75°	0,97	1,00	1,13	0,89	0,33
60°	1,07	1,13	1,20	0,93	0,45
45°	1,15	1,24	1,23	0,97	0,60
30°	1,27	1,28	1,23	1,04	0,80
15°	1,27	1,27	1,21	1,12	1,00
0°	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

DT03 Documentation technique du double vitrage

Conductivité thermique du verre : $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Composition du double vitrage isolant de la verrière :

- vitrage extérieur 66.2 (6 Clearvision + 6 Extra clear)
- traitement de surface basse émissivité SunGuard SN51
- lame d'Argon 100% de 18 mm
- vitrage extérieur 88.2 Linea Azzura

Documentation technique du double vitrage :

EXTERIEUR

Vitrage 1 66.2	Clearvision Épaisseur 6 mm
	PVB Clear Épaisseur 0,76 mm
	Extra Clear Épaisseur 6 mm SunGuard SN51
Lame d'argon	100% Argon Épaisseur 18 mm
Vitrage 2 88.2	Linea Azzura Épaisseur 8 mm
	PVB Clear Épaisseur 0,76 mm
	Linea Azzura Épaisseur 8 mm

INTERIEUR

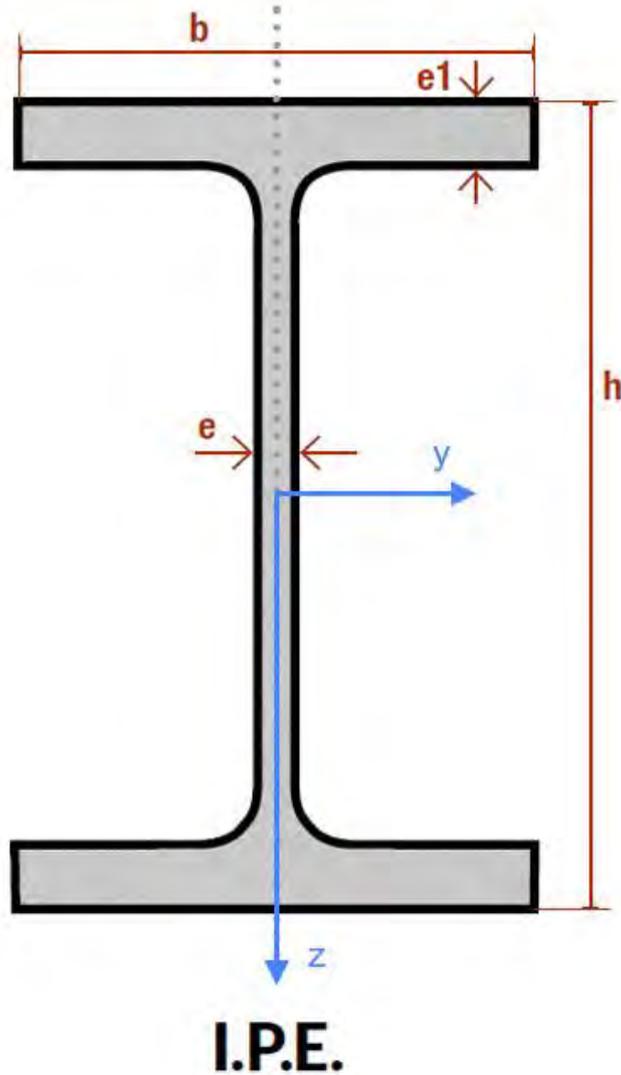
Figure 10 : composition du double vitrage

Vitrage	Lumière visible			Energie solaire			Propriétés thermiques	
	Transmission t (%)	Réflectance r (%)		Transmission t (%)	Réflectance r (%)	Coefficient de gain de chaleur solaire	Valeur U ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	
		ext	int				Nuit hivernale	Journée estivale
Double vitrage complet	48	13	13	20	30	0,25	1,683	1,019
Vitrage 1 66.2	89	8	8	73	7	0,79	6,122	4,910
Vitrage 2 88.2	89	8	8	69	7	0,76	5,945	4,805

Caractéristiques techniques du double vitrage

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 26 sur 35

DT04 Propriétés IPE 450



Désignation	Notation	Valeur	Unité
Hauteur	h	450	mm
Largeur	b	190	mm
Épaisseur de l'âme	e	9,4	mm
Épaisseur de semelle	$e1$	14,6	mm
Aire de la section	A	98,8	cm ²
Moment d'inertie autour de l'axe y	I_y	33 740	cm ⁴
Moment d'inertie autour de l'axe z	I_z	1 676	cm ⁴
Module de Young	E	210 000	MPa

Propriétés de l'IPE 450

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 27 sur 35

DT05 EC1 : tableau des combinaisons d'actions simplifié

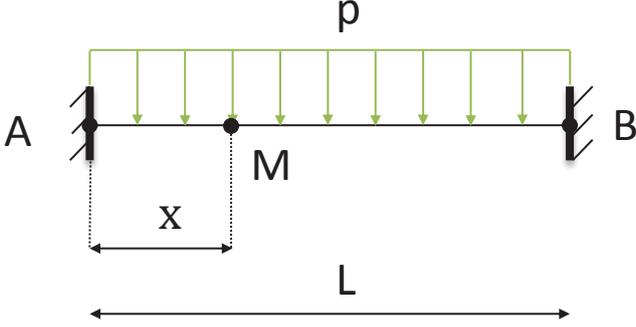
Combinaisons	ELU	ELS
	Fondamentales	Caractéristiques
G + 2 actions variables	1,35·G + 1,5·I + 0,75·S	G + I + 0,5·S
	1,35·G + 1,5·I + 0,9·W ⁺ (W ⁺ vent en appui)	G + I + 0,6·W ⁺
	1,35·G + 1,5·S + 1,5·Ψ ₀ ·I	G + S + Ψ ₀ ·I
	1,35·G + 1,5·S + 0,9·W ⁺	G + S + 0,6·W ⁺
	1,35·G + 1,5·W ⁺ + 1,5·Ψ ₀ ·I	G + W ⁺ + Ψ ₀ ·I
	1,35·G + 1,5·W ⁺ + 0,75·S	G + W ⁺ + 0,5·S

Tableau de combinaisons d'actions

Actions variables	Ψ ₀ Action variable d'accompagnement
Charges d'exploitation des bâtiments	
Catégorie A : habitations résidentielles	0,7
Catégorie B : bureaux	0,7
Catégorie C : lieux de réunion	0,7
Catégorie D : commerce	0,7
Catégorie E : stockage	1
Catégorie H : toit	0

Tableau des valeurs des facteurs Ψ₀ pour les charges d'exploitation des bâtiments

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 28 sur 35

Schéma de la poutre bi-encastée	Formulaire
 <p>Le schéma illustre une poutre horizontale de longueur totale L, encastée aux deux extrémités, A à gauche et B à droite. Une charge uniformément répartie p, représentée par des flèches vertes vers le bas, agit sur toute la longueur de la poutre. Un point M est marqué sur la poutre à une distance x de l'appui A. Des dimensions L et x sont indiquées avec des traits d'arrêt et des flèches.</p>	Réactions d'appui : $R_A = R_B = \frac{p \cdot L}{2}$
	Équation de l'effort tranchant : $V_y(x) = p \cdot \left(\frac{L}{2} - x \right)$
	Équation du moment fléchissant : $M(x) = \frac{1}{2} \cdot p \cdot x \cdot (L - x) - \frac{1}{12} \cdot p \cdot L^2$
	Moment aux appuis : $M_A = M_B = -\frac{p \cdot L^2}{12}$
	Moment à mi-travée : $M_{\frac{L}{2}} = \frac{p \cdot L^2}{24}$
Flèche maximale à mi-travée : $f_{\max} = f_{\frac{L}{2}} = \frac{p \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$	

Formulaire poutre bi-encastée

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 29 sur 35

DT07 Extrait NF EN 1993-1-1 NA 082013-15, valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales

Clause 7.2.1(1)B

Valeurs limites recommandées pour les flèches verticales

Les valeurs limites recommandées données ci-après sont destinées à être comparées aux résultats des calculs et n'ont pas à être interprétées comme étant des critères de performance. Il convient de leur comparer les valeurs calculées à partir des combinaisons caractéristiques.

Les notations des valeurs limites de flèches indiquées ci-après sont représentées sur la Figure 1 dans le cas de la poutre simplement appuyée.

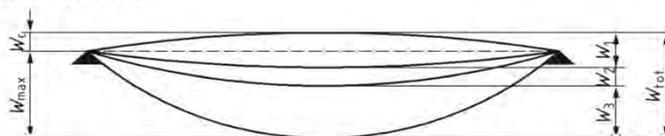


Figure 1 — Définition des flèches verticales

où :

- w_c Contreflèche dans l'élément structural non chargé ;
- w_1 Partie initiale de la flèche sous les charges permanentes de la combinaison d'actions correspondante selon les expressions (6.14a) à (6.16b) ;
- w_2 Partie à long terme de la flèche sous les charges permanentes (sans objet pour le domaine traité dans cette Annexe Nationale) ;
- w_3 Partie additionnelle de la flèche due aux actions variables de la combinaison d'actions correspondante d'après les expressions (6.14a) à (6.16b) ;
- w_{tot} Flèche totale, soit $w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3$;
- w_{max} Flèche totale compte tenu de la contreflèche, soit $w_{max} = w_{tot} - w_c$;

Les valeurs limites recommandées de flèches verticales pour les poutres de bâtiments sont données au Tableau 1, où L est la portée de la poutre.

Pour les poutres en porte à faux, la longueur L à considérer est égale à deux fois la longueur du porte-à-faux.

Tableau 1 — Valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales

Conditions	Limites (voir Figure1)	
	w_{max}	w_3
Toitures en général ^{a)}	$L/200$	$L/250$
Toitures supportant fréquemment du personnel autre que le personnel d'entretien	$L/200$	$L/300$
Planchers en général ^{b)}	$L/200$	$L/300$
Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou en autres matériaux fragiles ou rigides ou des revêtements fragiles	$L/250$	$L/350$
Planchers supportant des poteaux (à moins que la flèche ait été incluse dans l'analyse globale de l'état limite ultime) ^{c)}	$L/400$	$L/500$
Cas où w_{max} peut nuire à l'aspect du bâtiment	$L/250$	

Notes :

a) On entend par toitures en général, les toitures non accessibles aux usagers. Ces toitures supportent, uniquement, le passage des personnes chargées de l'entretien. Pour les toitures à faible pente, il convient de considérer également l'alinéa ci-après relatif à l'accumulation d'eau de pluie.

b) Les conditions d'utilisation de certaines machines peuvent nécessiter des flèches admissibles plus faibles que celles fixées par les règles générales ; ces limites sont alors à préciser dans les spécifications du marché.

c) Cette limitation n'est à considérer que si la flèche de ces planchers a une influence sur le comportement de la structure supportée par ces poteaux. Dans le cas contraire, on se reportera aux limitations des deux cas précédents.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 30 sur 35

DT08 Étude RDM de l'IPE 450 sous chargement ELS dans son plan

Schéma mécanique est réaction d'appuis (en daN) :

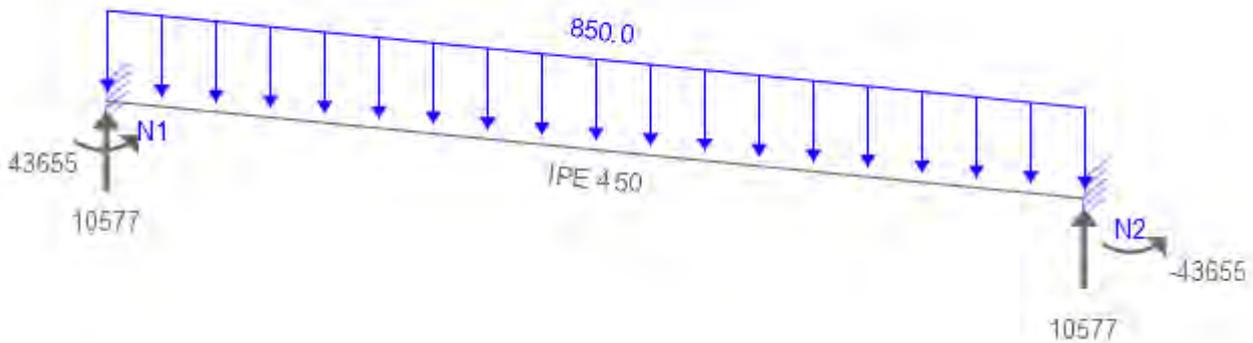


Diagramme du moment fléchissant (en daN.m) :

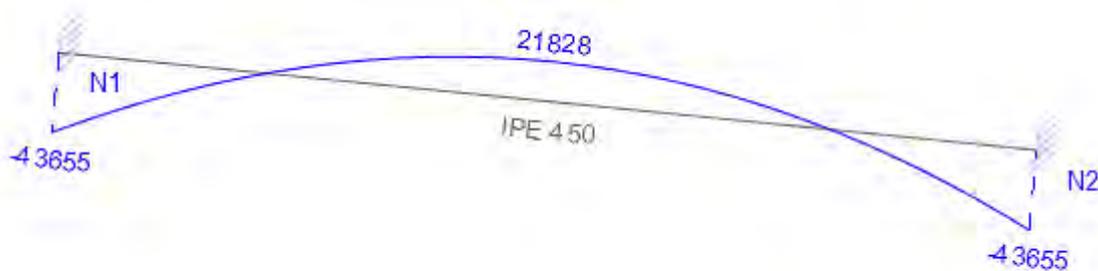
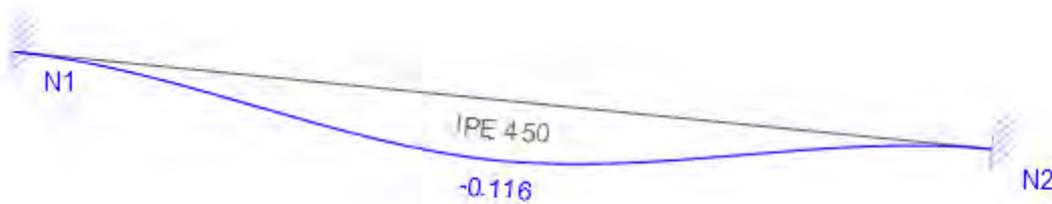


Diagramme de la déformée (en m) :



Équation de la déformée :

$$y(x) = -4,835 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 + 2,407 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 2,995 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$$

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 31 sur 35

DT09 **Extrait des règles RAGE 2012**

Les déplacements induits par l'ossature primaire ne doivent pas entraîner de report de charge sur la verrière et/ou altérer son fonctionnement.

Sauf spécifications contraires, les déplacements différentiels maximaux que devront reprendre les verrières posées et réglées sont de +/- 5 mm entre deux points d'appuis adjacents.

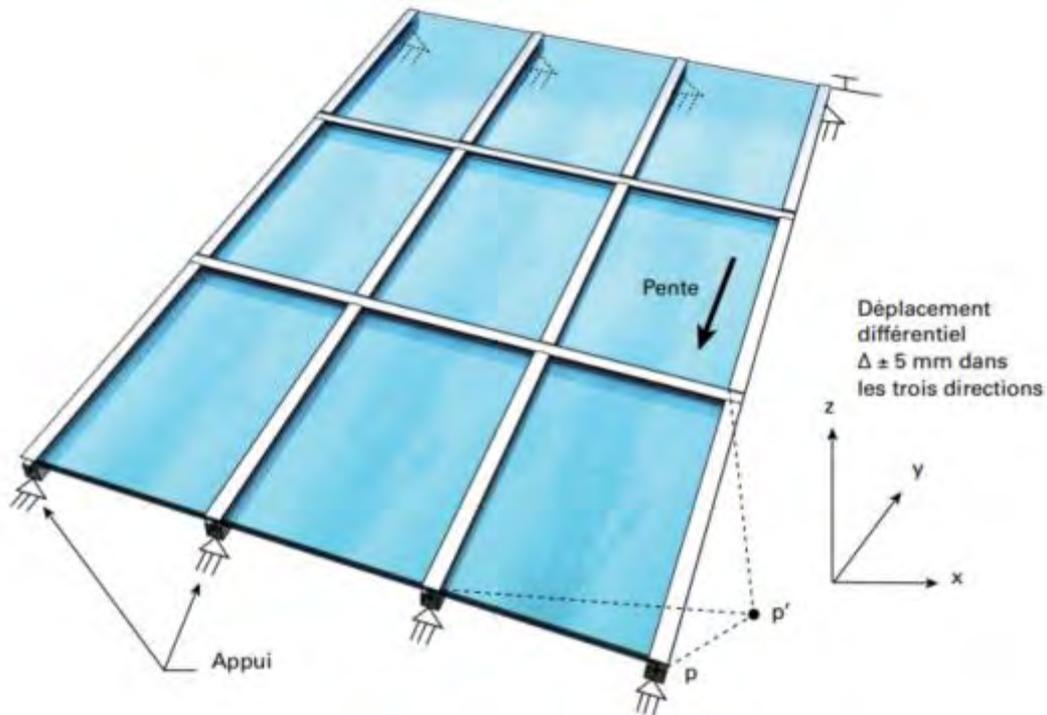


Illustration des déplacements différentiels entre appuis adjacents

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 32 sur 35

Tournez la page S.V.P.

DT10 **Calcul de la distance entre un point et un plan**

Soient A, B et C, 3 points de l'espace, tels que :

$$A = \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix} \text{ et } C = \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{pmatrix}$$

Le vecteur $\vec{n} = \begin{pmatrix} x_{\vec{n}} \\ y_{\vec{n}} \\ z_{\vec{n}} \end{pmatrix} = \overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{AC}$ est alors un vecteur normal au plan P(ABC).

Soit un point D de l'espace n'appartenant pas au plan (ABC) et un point M appartenant au plan (ABC), tels que :

$$D = \begin{pmatrix} x_D \\ y_D \\ z_D \end{pmatrix} \notin P(ABC) \text{ et } M = \begin{pmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{pmatrix} \in P(ABC)$$

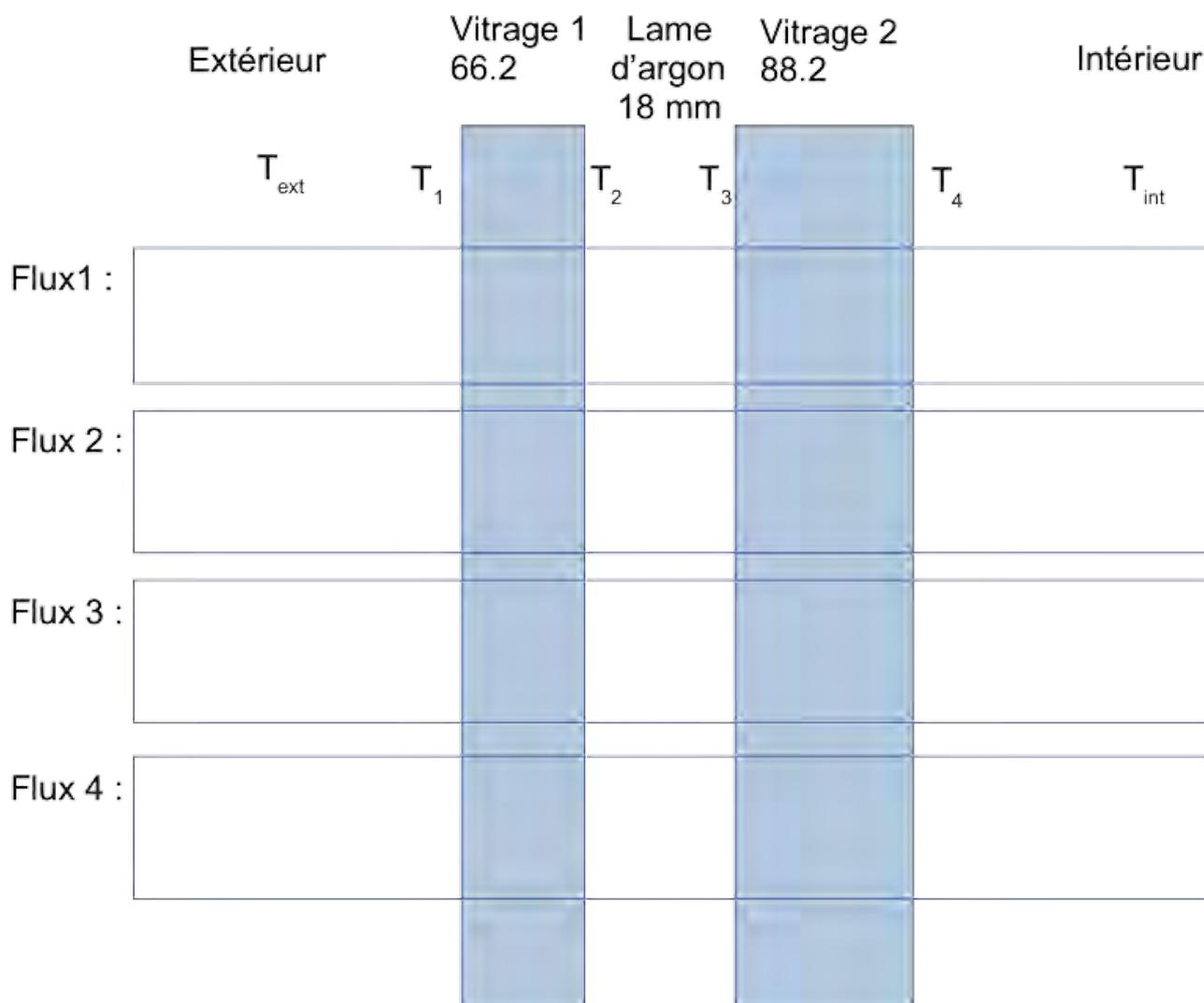
La distance δ du point D au plan (ABC) vaut alors :

$$\delta = \frac{|\vec{n} \cdot \overrightarrow{MD}|}{\|\vec{n}\|}$$

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 33 sur 35

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR1 : représentation schématique des flux



Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2023
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 34 sur 35

Tournez la page S.V.P.

DR2 : représentation schématique des flux solaires

