

26-017 – PARIS – PALAIS D'IEA RESTAURATION DE L'HEMICYCLE



Maîtrise d'ouvrage



Palais d'Iéna
9 Place d'Iéna
75016 Paris

Maîtrise d'œuvre

Architecte :

Antoine Chapuis, A.C.M.H., SAS
2 rue des Bleuets
21 490 Saint-Julien
antoine@chapuisacmh.fr

Bureau d'Etudes :

BMI Patrimoine
30, rue Charles de Gaulle
94 140 Alfortville
Tél : 01 42 77 17 18
contact@bmi-patrimoine.fr

I. PREAMBULE

A. REFERENCE NORMATIVE

Les normes utilisées dans le cadre de cette vérification structurelle sont les suivantes :

- NF EN 1990 - Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures et ses annexes nationales
- NF EN 1991-1-1 - Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : actions générales - poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments et son annexe nationale
- NF EN 1991-3 - Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : actions générales - charges de neige et son annexe nationale
- NF EN 1991-4 - Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-4 : actions générales - actions du vent et son annexe nationale
- NF EN 1992-1-1 - Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments et son annexe nationale
- NF EN 1992-4 - Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 4 : conception et calcul des éléments de fixation pour béton et son annexe nationale
- NF EN 1993-1-1 - Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments et son annexe nationale
- NF EN 1993-1-5 - Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-5 : plaques planes et son annexe nationale
- NF EN 1995-1-1 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments + AN

Les charges climatiques appliquées au projet sont définies suivant les normes NF EN 1991-1-3, NF EN 1991-1-4, NF EN 1991-1-5 et leurs annexes nationales.

Les charges de vent sont déterminées sur la base des normes :

- NF EN 1991-1-4 (novembre 2005) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales - Actions du vent + Amendement A1 (octobre 2010)
- NF EN 1991-1-4/NA (mars 2008) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales - Actions du vent - Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 + Amendement A1 (juillet 2011) + Amendement A2 (septembre 2012)

Les charges de neige sont déterminées sur la base des normes :

- NF EN 1991-1-3 (avril 2004) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige + Amendement A1 (octobre 2015)
- NF EN 1991-1-3/NA (mai 2007) : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige – Annexe nationale à la NF EN 1991-1-3 + Amendement A1 (juillet 2011) + Amendement A2 (juillet 2022)

B. SOURCE

Les pièces graphiques architecte utilisées dans le cadre de cette étude d'exécution sont les suivantes :

- Le rapport Palais d'Iéna, Paris (16^e), Restauration de l'hémicycle, Avant-Projet, Rapport de présentation – descriptif des travaux – dossier photographique, Février 2026, Antoine Chapuis, ACMH,
- Les plans Paris – Palais d'Iéna, Hémicycle, Antoine Chapuis – architecte en chef des monuments historiques, Février 2026

C. PRESENTATION DE LA STRUCTURE ET PERIMETRE DE L'ETUDE

Un extrait des plans de la zone concernée en situation projetée ainsi qu'un détail sont présentés sur les figures suivantes.

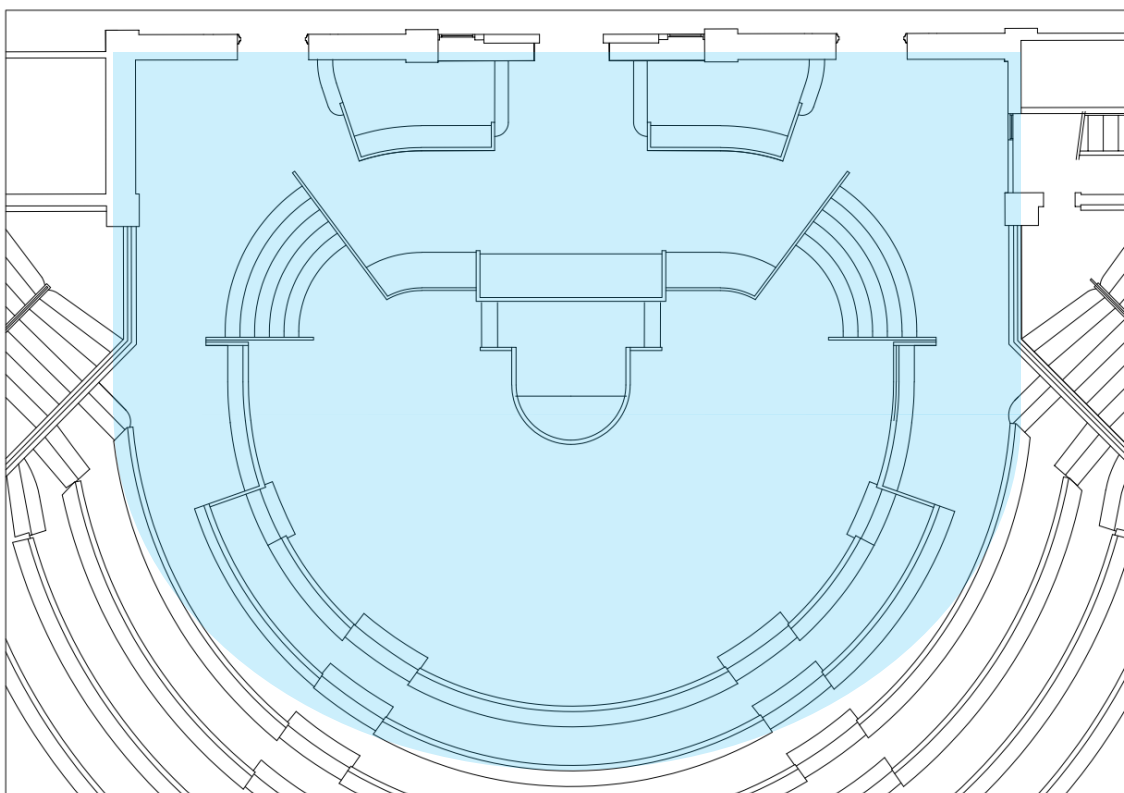


Figure 1 : repérage en plan de la zone concernée par l'étude du plancher bas de la tribune présidentielle et du parterre de l'hémicycle

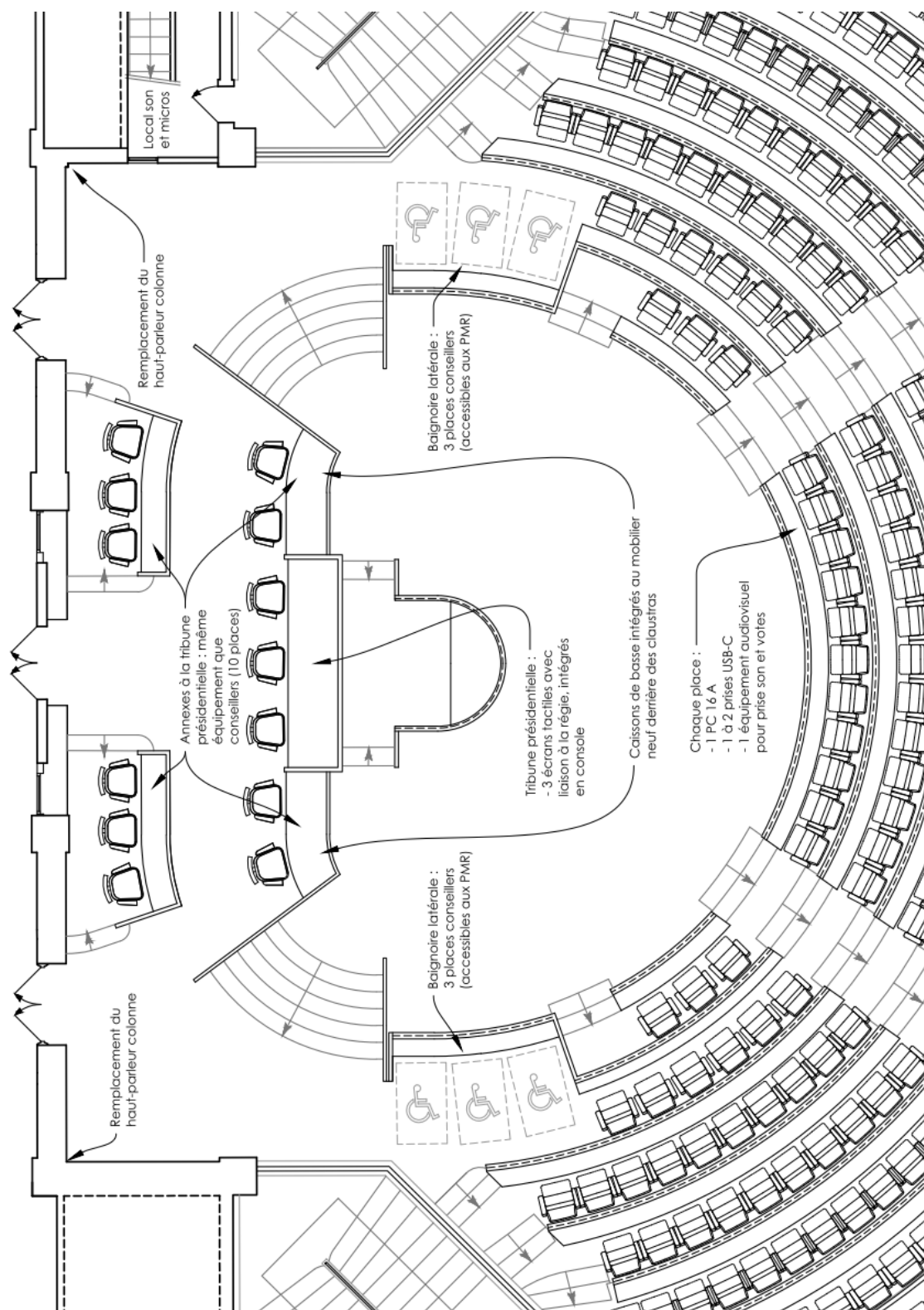


Figure 2 : extrait des plans de l'état projeté pour la zone concernée du plancher bas de la tribune présidentielle et du parterre de l'hémicycle

II. HYPOTHESES DE CHARGES ET DE CALCULS

A. HYPOTHESES DE CALCULS

1. Etat sanitaire

L'état sanitaire des matériaux devra être vérifiés sur site avant intervention. En particulier, il sera nécessaire de s'assurer du bon état sanitaire des éléments structuraux destinés à supporter le nouveau complexe de plancher projeté.

Plus précisément, l'entreprise devra prévoir les vérifications nécessaires à un fonctionnement des structures, créées et existantes, aptes à reprendre les charges permanentes et d'exploitation.

Cela concerne les structures maçonnées (béton notamment) et les structures de charpente (bois notamment) pour celles qui sont conservées à l'état projeté.

2. Géométrie

La géométrie considérée pour la réalisation des vérifications structurelles des pièces en bois existantes est prise conformément aux plans transmis par la maîtrise d'œuvre et mis à notre disposition.

La géométrie des modèles ne peut en revanche être considérée comme la structure exacte et des variations, adaptée à la nécessité des calculs, avec les plans architectes sont possibles.

3. Caractéristiques des pièces en bois

Les calculs des éléments en bois ont été effectués en application de l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-1 « Conception et calcul des structures en bois »). Tous les calculs ont été effectués en considérant des sections pleines et des bois sains (à vérifier au moment des travaux). Sauf indication contraire, la classe de bois retenue est la classe C24 (bois résineux massif).

Les valeurs caractéristiques de la classe mécanique retenue sont les suivantes :

Unité	N/mm ²								kg/m ³	
Propriété	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	ρ_k	ρ_m
C24	24	14,5	0,4	21	2,5	4,0	11000	690	350	420

Tableau 1 – Valeurs caractéristiques de la classe de bois retenue
NF EN 338 « Bois de structure – Classes de résistances » (P21-353)

De plus, nous considérerons :

- Une humidité maximale de mise en œuvre de 20%,
- Une classe de service de 1, correspondant à un intérieur chauffé (état existant et projeté).
- Des bois avec une durabilité, naturelle ou conférée par traitement, adapté à une classe d'emploi 1.

4. Caractéristiques des organes métalliques

Les organes s'assemblages, qui ne seraient pas en bois, sont en acier et respectent les normes NF EN 1995-1-1 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois, NF DTU 31.1 - Charpente en bois et NF DTU 51.3 - Planchers en bois ou en panneaux à base de bois.

5. Vérifications

(1) Sections des éléments porteurs en bois

Les plans des structures porteuses existantes sont prises identiques aux plans du dossier Architecte en phases AVP.

(2) Facteurs partiels de sécurité suivant l'Eurocode 5

Nous considérons les facteurs partiels de sécurité suivants pour le matériau bois :

- Calcul des :
 - o sections : $\gamma_M = 1,3$
 - o assemblages : $\gamma_M = 1,25$

(3) Limite de flèche et de déplacement

Les limites de déformation prises en compte sont les suivantes :

- Pour les flèches verticales :
 - o $W_{\max} = L/200$ (flèche finale)
 - o $W_3 = L/300$ (flèche instantanée sous charges variables)
 - o $W_2 = L/500$ (flèche finales sous charges fragiles)
- Pour les déplacements horizontaux :
 - o $u = H/200$

(4) Combinaison de charges

Sont appliqués sur les éléments vérifiés dans cette note de calcul les charges définies ci-dessus ainsi que le poids propre des éléments. Les charges sont combinées selon les règles des Eurocodes pour former les cas de charges adéquats (Etat Limite Ultime – ELU et Etat Limite de Service – ELS). Les combinaisons de charges sont définies ci-dessous :

- Combinaison STR (ELU) : $1,35 G_{k,\text{sup}} + 1,00 G_{k,\text{inf}} + 1,50 Q_{k,1} + 1,50 \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
- Combinaison caractéristique (ELS) : $G_{k,\text{sup}} + G_{k,\text{inf}} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$

6. Situation sismique

Compte tenu de la situation géographique, de la nature de l'ouvrage et de son utilisation, aucune charge sismique ne sera donc considérée et les règles parasismiques ne seront pas appliquées.

7. Situation incendie

La structure porteuse sera protégée du feu de manière adéquate pour respecter les exigences du projet de l'Architecte.

III. HYPOTHESES DE CHARGES

A. CHARGE PERMANENTE

1. Etat projeté

Les charges permanentes du complexe de plancher projeté sont les suivantes :

<i>Elément</i>	<i>Charge surfacique [kg/m²]</i>
<i>Poids propre de la structure</i>	-
Revêtement de sol, moquette	9
Platelage panneau bois contreplaqué 500 kg/m³, ép. 22 mm	11
Mobilier fixe et mobile (compris garde-corps)	120
Réseaux suspendu au complexe de plancher	10
Total	150

B. CHARGE D'EXPLOITATION

Les charges d'exploitation actuelles considérées sont définies suivant la norme NF EN 1991-1-1 et ses annexes nationales.

Charges d'exploitations : **Catégorie C2 – Locaux avec sièges fixes, par exemple : salles de conférence, amphithéâtres salle de réunion, etc. :**

- charge répartie : $q_k = 400 \text{ kg/m}^2$
- charge ponctuelle : $Q_k = 400 \text{ kg}$

Ces deux charges, ponctuelle et répartie, ne peuvent pas être concomitantes.

C. CHARGES CLIMATIQUES (NEIGE ET VENT)

Nous considérons que la charpente du plancher ne reprend aucune charge climatique ni de neige ni de vent.

IV. DIMENSIONNEMENT

A. ELEMENTS DROITS

En fonction des hypothèses de charges projetées, permanente et exploitation, les sections et matériaux des pièces préconisées pour la structure porteuse du plancher à créer sont les suivantes :

- Poutre principale assemblée sur poteau :
 - o portée maximale : 1,65 m
 - o entraxe maximal : 1,65 m
 - o section : 63x200h
- Solive secondaire assemblée sur solive principale :
 - o portée maximale : 1,65 m
 - o entraxe maximal : 82,5 cm
 - o section : 63x150h
- Feuillure support de solive secondaire assemblée sur solive principale :
 - o section : 50x50h
 - o vissée à la poutre principale par vis de charpente tous les 25cm
- Poteau support de solive principale :
 - o hauteur maximale : 1,80 m
 - o section : 200x200
 - o vissé par équerre avec les cales et les sablières d'appui
- Sablière d'enrayure d'appui des poteaux :
 - o appui continu sur la structure supportant le complexe de plancher
 - o calée avec des entretoises et des augets au plâtre pour bloquer tout mouvement
 - o section : 200x63h
- Cale de renforcement d'appui sous poteau :
 - o section : 200x63h
 - o vissée par équerre dans les sablières d'appui
- Contreventement et entretoise
 - o section : 63x100h

Remarques :

- *La structure en enrayure a pour but de répartir les charges sous les poteaux et fournir un support fixe au plancher sur sa structure porteuse. Elle devra donc être calée en rive de structure porteuse du plancher le long des murs et être rigidifiée par des entretoises afin de bloquer toute déformations et compenser la pente du parterre.*

B. ASSEMBLAGES

Nous préconisons de réaliser l'assemblage des solives principales sur les poteaux et des solives secondaires sur les principales par des sabots métalliques de charpente assemblés par pointes ou vis.

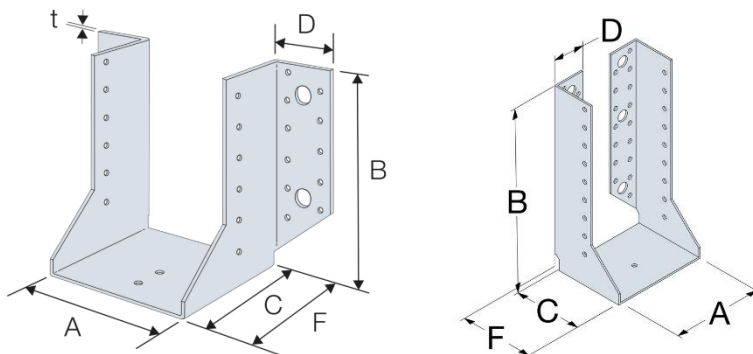


Figure 3 (a et b) : illustrations de sabots métalliques de charpente standard pour permettre l'assemblage de quatre poutres sur le même poteau ; (a) aile extérieures et (b) ailes intérieures

Les dimensions, en millimètres, préconisées pour les sabots sont :

	A (min - max)	B (min - max)	C	D	t
Ailes extérieures	62 - 64	138 - 158	84	41,5	2
Ailes intérieures	62 - 64	138 - 158	76	34	2

Nous préconisons de réaliser l'assemblage des poteaux avec les cales et sablières par des cornières structurales et vis de charpente.

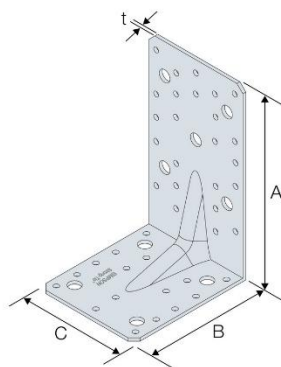


Figure 4 (a et b) : illustrations de sabots métalliques de charpente standard pour permettre l'assemblage de quatre poutres sur le même poteau ; (a) aile extérieures et (b) ailes intérieures

Les organes d'assemblages préconisés sont :

- assemblage des sabot : clouage total par vis type CSA Ø5mm x l.40mm,
- assemblage des cornières : vis de charpente Ø10mm,
- autres assemblages : vis de charpente Ø8mm et Ø10mm.

V. VERIFICATIONS

Remarque : Le complexe de plancher existant ne sera pas conservé aussi il ne sera pas vérifié dans le cadre de cette étude.

A. SOLIVE PRINCIPALE

1. Définition de la pièce

Propriétés des pièces									
Groupe : Pièces hors groupes typés									
Pièce identifiant	Nom	Points	Longueur	Vy	Ensemble de propriétés	Section	Matériau	Liaison origine	Liaison fin
4	-	2-4	1600	-1 ; 0 ; 0	P - 1	(7)R6.3x20	(3) C24	(2) ----OO	(1) ----OO

Propriétés de section (membres standard)									
Nom section pièce	Nom section	S	Sry	Srz	It	Iy	Iz	Wely	Welz
-	-	mm ²	mm ²	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ³	mm ³
(7) R6.3x20	-	12600	10500	10500	13364392.39	42000000	4167450	420000	132300

Propriétés des matériaux bois															
Nom	E_0mean	E_005	E_90mean	G_mean	G_005	rho_mean	rho_k	f_t0k	f_c0k	f_mk	f_vk	f_t90k	f_c90k	Class e de service	Humidité initiale
-	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	-	-
(3) C24	11000	7400	370	690	460	420	350	14.5	21	24	4	0.4	2.5	1	18

2. Charges permanentes

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéros pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projection
-	-	-	-	-	-	-	daN/m	daN/m	-	-	-	-
1		4	-	0	0	-1	240	240	0%	100%	G	Rampant

3. Charges d'exploitation

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéro s pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projecti on
-	-	-	-	-	-	-	daN/m	daN/m	-	-	-	-
2		4	-	0	0	-1	640	640	0%	100%	G	Rampant

4. Vérifications ELU

Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.5		
Taux de travail EC5_FC1	61.76%	$\left -\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right = \left -\left(\frac{0}{12.92}\right)^2 + \frac{-9.12}{14.77} + 0.7 \frac{0}{17.57} \right = 0.62$
Résultats intermédiaires		
$\sigma_{c,0,d}$	0 MPa	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{S} = \frac{0}{12600} = 0$
$\sigma_{m,y,d}$	-9.12 MPa	$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{I_y} z = \frac{-383.12}{42000000} 100 = -9.12$
$\sigma_{m,z,d}$	0 MPa	$\sigma_{m,z,d} = -\frac{M_z}{I_z} y = -\frac{0}{4167450} (-31.5) = 0$
$f_{c,0,d}$	12.92 MPa	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{21}{1.3} = 12.92$
$f_{m,y,d}$	14.77 MPa	$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{k_{hy} f_{m,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1 \times 24}{1.3} = 14.77$
$f_{m,z,d}$	17.57 MPa	$f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} \frac{k_{hz} f_{m,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1.19 \times 24}{1.3} = 17.57$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 1		
Taux de travail EC5_Sz	51.99%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{1.28}{2.46} = 0.52$
Résultats intermédiaires		
$\tau_{z,d}$	1.28 MPa	$\tau_{z,d} = \frac{V_z}{k_{cr} S_{cz}} = \frac{720.22}{0.67 \times 8400} = 1.28$
$f_{v,d}$	2.46 MPa	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{4}{1.3} = 2.46$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.5		
Taux de travail EC5_B1	61.76%	$\left \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right = \left \frac{0}{0.96 \times 12.92} + \frac{-9.12}{14.77} + 0.7 \frac{0}{17.57} \right = 0.62$
Résultats intermédiaires		
$\sigma_{c,0,d}$	0 MPa	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{S} = \frac{0}{12600} = 0$
$\sigma_{m,y,d}$	-9.12 MPa	$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{I_y} z = \frac{-383.12}{42000000} 100 = -9.12$
$\sigma_{m,z,d}$	0 MPa	$\sigma_{m,z,d} = -\frac{M_z}{I_z} y = -\frac{0}{4167450} (-31.5) = 0$
$f_{c,0,d}$	12.92 MPa	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{21}{1.3} = 12.92$
$f_{m,y,d}$	14.77 MPa	$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{k_{hy} f_{m,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1 \times 24}{1.3} = 14.77$
$f_{m,z,d}$	17.57 MPa	$f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} \frac{k_{hz} f_{m,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1.19 \times 24}{1.3} = 17.57$
λ_y	27.71	$\lambda_y = \frac{L_y k_{if,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{S}}} = \frac{1600 \times 1}{\sqrt{\frac{42000000}{12600}}} = 27.71$
$\lambda_{rel,y}$	0.47	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{27.71}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0.47$
k_y	0.63	$k_y = 0.5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5(1 + 0.2(0.47 - 0.3) + 0.47^2) = 0.63$

$k_{c,y}$	0.96	$k_{c,y} = \min \left(1, \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \right) = \min \left(1, \frac{1}{0.63 + \sqrt{0.63^2 - 0.47^2}} \right) = 0.96$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.5		
Taux de travail EC5_LB1	(0%)	NOTE: Aucun risque de déversement latéral car faible élanement relatif $\lambda_{rel,m}$ (≤ 0.75)
Résultats intermédiaires		
$l_{ef,m}$	2000 mm	$l_{ef,m} = L_m k_{lf,m} + h(1.25 z_F + 0.75) = 1600 \times 1 + 200(1.25 \times 1 + 0.75) = 2000$
$\sigma_{m,crit}$	57.27 MPa	$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 b^2}{h l_{ef,m}} E_{0,05} = \frac{0.78 \times 63^2}{200 \times 2000} 7400 = 57.27$
$\lambda_{rel,m}$	0.65	$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{57.27}} = 0.65$
k_{crit}	1	$k_{crit} = 1$

5. Vérifications ELS

Vérification flèches				
Composantes w de la flèche (mm)				
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_{GPhase1}}{w_{2,adm}}$
1 (1600mm)	Travée	$\frac{1.37}{5.33} = 25.62\%$ 1: Q (LC2) (L/300)	$\frac{2.49-0}{8} = 31.12\%$ 2: G+Q (LC3) (L/200) (kdef=0.6, wcreep=0.57mm)	$\frac{2.38}{3.2} = 74.38\%$ 2: G+Q (LC3-LC6) (L/500) (kdef=0.6, wcreep=0.57mm)

B. SOLIVE SECONDAIRE

1. Définition de la pièce

Propriétés des pièces									
Groupe : Pièces hors groupes typés									
Pièce identifiant	Nom	Points	Longueur	Vy	Ensemble de propriétés	Section	Matériau	Liaison origine	Liaison fin
15	-	15-17	1600	0 ; 1 ; 0	P - 1	(8)R6.3x15	(3) C24	(2) ----OO	(1) ----OO

Propriétés de section (membres standard)									
Nom section pièce	Nom section	S	Sry	Srz	It	Iy	Iz	Wely	Welz
-	-	mm ²	mm ²	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ³	mm ³
(8) R6.3x15	-	9450	7875	7875	9202806.41	17718750	3125587.5	236250	99225

Propriétés des matériaux bois															
Nom	E_0me an	E_005	E_90m ean	G_me an	G_005	rho_me an	rho_k	f_t0k	f_c0k	f_mk	f_vk	f_t90 k	f_c90 k	Class e de servic e	Humid ité initiale
-	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	-	-
(3) C24	11000	7400	370	690	460	420	350	14.5	21	24	4	0.4	2.5	1	18

2. Charges permanentes

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéro s pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projecti on
-	-	-	-	-	-	-	daN/m	daN/m	-	-	-	-
1		15	-	0	0	-1	82.5	82.5	0%	100%	G	Rampant

3. Charges d'exploitation

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéros pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projection
-	-	-	-	-	-	-	daN/m	daN/m	-	-	-	-
2		15	-	0	0	-1	220	220	0%	100%	G	Rampant

4. Vérifications ELU

Taux de travail	
Résistance contraintes axiales	
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.5	
Taux de travail EC5_FT1	40.96%
$\left \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right = \left \frac{0}{8.92} + \frac{6.05}{14.77} + 0.7 \frac{0}{17.57} \right = 0.41$	
Résultats intermédiaires	

$\sigma_{t,0,d}$	0 MPa	$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{S} = \frac{0}{9450} = 0$
$\sigma_{m,y,d}$	6.05 MPa	$\sigma_{m,y,d} = \frac{My}{I_y} z = \frac{-142.92}{17718750} (-75) = 6.05$
$f_{t,0,d}$	8.92 MPa	$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{k_h f_{t,0,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1 \times 14.5}{1.3} = 8.92$
$f_{m,y,d}$	14.77 MPa	$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{k_{hy} f_{m,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1 \times 24}{1.3} = 14.77$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0		
Taux de travail EC5_Sz	23.04%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0.57 }{2.46} = 0.23$
Résultats intermédiaires		
$\tau_{z,d}$	-0.57 MPa	$\tau_{z,d} = \frac{V_z}{S_{cz}} = \frac{-357.31}{6300} = -0.57$
$f_{v,d}$	2.46 MPa	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{4}{1.3} = 2.46$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.5		
Taux de travail EC5_B1	(0%)	NOTE: Aucun risque de flambement car absence de force axiale déstabilisante
Résistance au déversement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.5		
Taux de travail EC5_LB1	(0%)	NOTE: Aucun risque de déversement latéral car faible élanement relatif $\lambda_{\text{rel},m}$ (≤ 0.75)
Résultats intermédiaires		
$l_{\text{ef},m}$	1900 mm	$l_{\text{ef},m} = L_m k_{\text{lf},m} + h(1.25z_F + 0.75) = 1600 \times 1 + 150(1.25 \times 1 + 0.75) = 1900$
$\sigma_{m,\text{crit}}$	80.38 MPa	$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0.78b^2}{hl_{\text{ef},m}} E_{0,05} = \frac{0.78 \times 63^2}{150 \times 1900} 7400 = 80.38$
$\lambda_{\text{rel},m}$	0.55	$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{24}{80.38}} = 0.55$
k_{crit}	1	$k_{\text{crit}} = 1$

5. Vérifications ELS

Vérification flèches				
Composantes w de la flèche (mm)				
Tronçon	Type	$\frac{w_{\text{inst}}}{w_{\text{inst,adm}}}$	$\frac{w_{\text{fin}} - w_c}{w_{\text{net,fin,adm}}}$	$\frac{w_{\text{fin}} - w_{\text{GPhase1}}}{w_{2,\text{adm}}}$
1 (1600mm)	Travée	$\frac{1.09}{5.33} = 20.49\%$ 1: Q (LC2) (L/300)	$\frac{1.98-0}{8} = 24.7\%$ 2: G+Q (LC3) (L/200) (kdef=0.6, wcreep=0.45mm)	$\frac{1.89}{3.2} = 59.07\%$ 2: G+Q (LC3-LC6) (L/500) (kdef=0.6, wcreep=0.45mm)

C. POTEAU

1. Définition de la pièce

Propriétés des pièces									
Groupe : Pièces hors groupes typés									
Pièce identifiant	Nom	Points	Longueur	Vy	Ensemble de propriétés	Section	Matériau	Liaison origine	Liaison fin
1	-	1-2	1700	1 ; 0 ; 0	P - 1	(9)R20x20	(3) C24	(2) ----OO	(1) ----OO

Propriétés de section (membres standard)									
Nom section pièce	Nom section	S	Sry	Srz	It	Iy	Iz	Wely	Welz
-	-	mm ²	mm ²	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ³	mm ³
(9) R20x20	-	40000	33333.333	33333.333	225333333.33	133333333.33	133333333.33	1333333.33	1333333.33

2. Conditions d'appui

Conditions d'appui : Points									
Point	Nom point	Ensemble de conditions aux appuis	U	V	W	Tx	Ty	Tz	Repère local
-	-	-	mm ; kN/m	mm ; kN/m	mm ; kN/m	deg ; kN*m/rad	deg ; kN*m/rad	deg ; kN*m/rad	-
1	-	BC - 1	U=0	V=0	W=0				-

3. Vérifications ELU

Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0		
Taux de travail EC5_FC0	4.25%	$\frac{ \sigma_{c,0,d} }{f_{c,0,d}} = \frac{ -0.55 }{12.92} = 0.04$
Résultats intermédiaires		
$\sigma_{c,0,d}$	-0.55 MPa	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{S} = \frac{-2195.67}{40000} = -0.55$
$f_{c,0,d}$	12.92 MPa	$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{21}{1.3} = 12.92$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0.05		
Taux de travail EC5_Sz	0%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ 0 }{2.46} = 0$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0		
Taux de travail EC5_B1	4.47%	$ \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{-0.55}{0.95 \times 12.92} + \frac{0}{14.77} + 0.7 \frac{0}{14.77} = 0.04$
Résultats intermédiaires		

$\sigma_{c,0,d}$	-0.55 MPa	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{S} = \frac{-2195.67}{40000} = -0.55$
$f_{c,0,d}$	12.92 MPa	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{21}{1.3} = 12.92$
λ_y	29.44	$\lambda_y = \frac{L_y k_{lf,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{S}}} = \frac{1700 \times 1}{\sqrt{\frac{133333333.33}{40000}}} = 29.44$
$\lambda_{rel,y}$	0.5	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{29.44}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0.5$
k_y	0.64	$k_y = 0.5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5(1 + 0.2(0.5 - 0.3) + 0.5^2) = 0.64$
$k_{c,y}$	0.95	$k_{c,y} = \min\left(1, \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}\right) = \min\left(1, \frac{1}{0.64 + \sqrt{0.64^2 - 0.5^2}}\right) = 0.95$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 2: 1.35G+1.5Q (LC1) / Moyen terme / xrel = 0		
Taux de travail EC5_LB2	(0%)	NOTE: Aucun risque de déversement latéral car absence de moment déstabilisant

D. CONCLUSION

La charpente de plancher est suffisamment dimensionnée :

- en résistance,
- en déformation.

Nous considérons donc que la structure proposée est suffisamment dimensionnée pour reprendre les charges à l'état projeté.

ANNEXES

Ce rapport est accompagné du document suivant :

- Le carnet de plans en phase PRO des principes des interventions de renforcement des structures étudiées en date du 10/04/2026.

En l'absence de ces documents cette copie du rapport n'est pas complète.

NOTA:

INTRODUCTION

Les dimensions en mm indiquées sur ces plans sont données à titre indicatif. Elle devront être vérifiées par l'entreprise lors de la réalisation des travaux .
Pour plus de détails, se référer à la note de calculs jointe à ces plans.

Les préconisations décrites dans ce document ne peuvent en aucun cas être considérées comme des études abouties pouvant servir d'études d'exécution. Elles sont définies dans le cadre d'une mission de conception en phase PRO permettant d'établir une estimation sommaire pour permettre au maître d'ouvrage de programmer les travaux.

SOURCE

Nous avons eu accès et utilisé les documents suivants pour réaliser cette étude :

- Les plans, relevés, photos et rapport diagnostic transmis par l'agence Antoine Chapuis A.C.M.H.

REFERENCES NORMATIVES

Sauf indication contraire, les normes utilisées dans le cadre de cette étude sont les normes actuellement en vigueur (Eurocodes, DTU, règles professionnelles). Nous utiliserons également des méthodologies de vérifications anciennes, du fait du caractère patrimonial et ancien de l'édifice.

HYPOTHÈSES DE CHARGES

Nous considérons les charges suivantes :

Permanentes :

- Poids propre de la structure
- Complexe de plancher (compris platelage et mobilier): 150 kg/m²

Exploitation :

- Catégorie C2: $q=400 \text{ kg/m}^2$ et $Q=400\text{kg}$

HYPOTHÈSES DE MATERIAUX

Bois

- classe mécanique : C24
- classe de service : 1
- classe d'emploi : 1
- humidité maximale lors de la mise en oeuvre : 18%
- Les dimensions indiquées sont valides uniquement pour des assemblages pré-perçés avant vissage.
- Les pièces de bois devront être protégées de l'humidité pendant la durée du chantier (compris stockage)

Acier

- Sabot de charpente en acier galvanisé S250GD +Z275
- Vis de charpente en acier électrozingué



BMI Bureau d'étude structure spécialisé
Monuments Historiques & Réhabilitation
30, rue Charles de Gaulle - 94140 ALFORTVILLE
63-75 av. Roger Salengro - 13003 MARSEILLE
Tél : 01.42.77.17.18 - Fax : 01.42.77.17.89
Mail : contact@bmi-patrimoine.fr

BATIMENT

Palais d'Iéna - Hémicycle

MAÎTRISE D'OUVRAGE

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Ministère de la Culture

Palais d'Iéna

9 Place d'Iéna

75016 Paris

MAÎTRISE D'ŒUVRE

ARCHITECTE : Antoine Chapuis, A.C.M.H., SAS

2 rue des Bleuets

21 490 Saint-Julien

Mail : antoine@chapuisacmh.fr

BET Structure : B.M.I PATRIMOINE

30, rue Charles de Gaulle

94140 Alfortville

Tél : 01 42 77 17 18

Mail : contact@bmi-patrimoine.fr

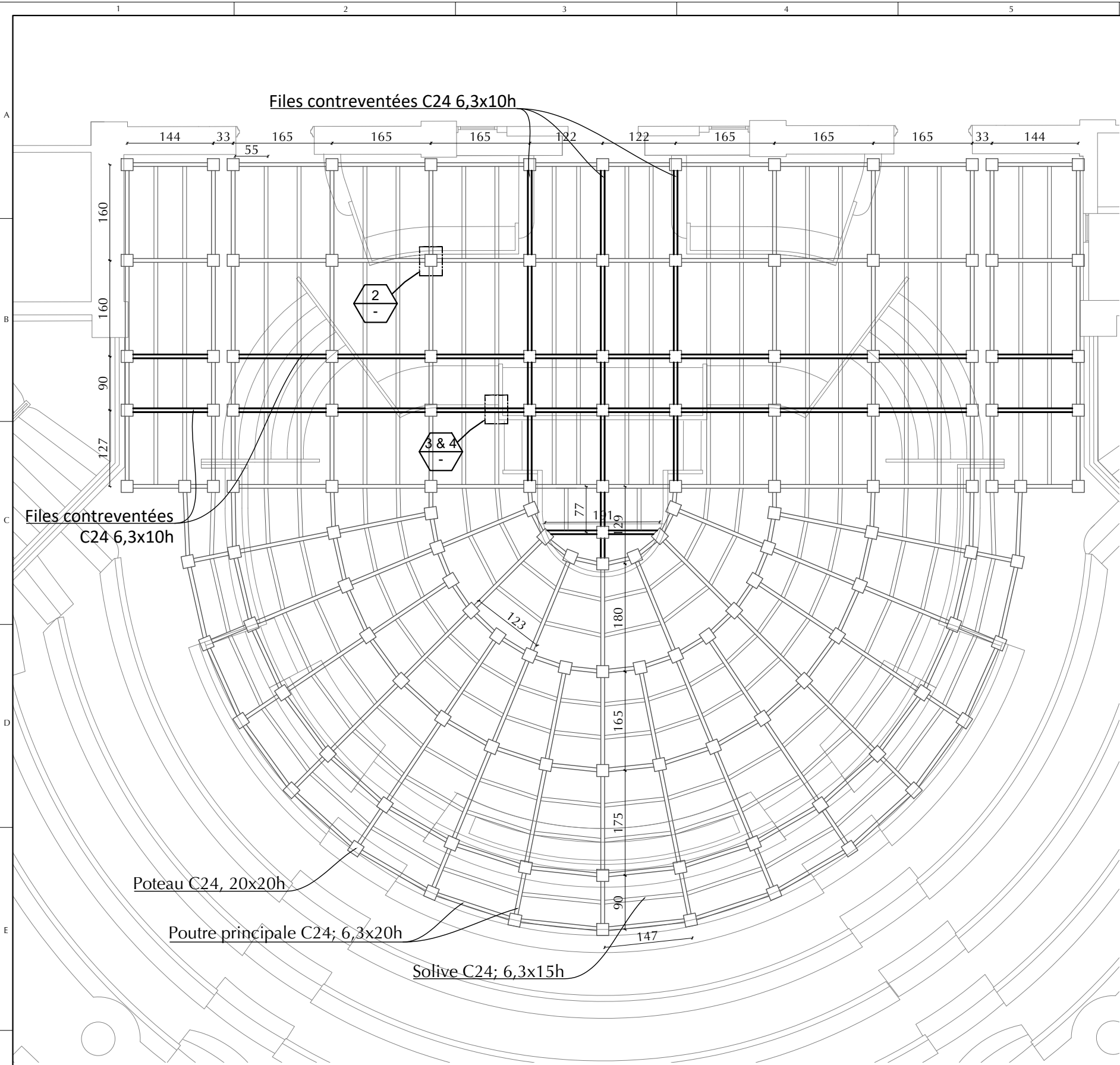
ENTREPRISES

Carnet de plans

STRUCTURE

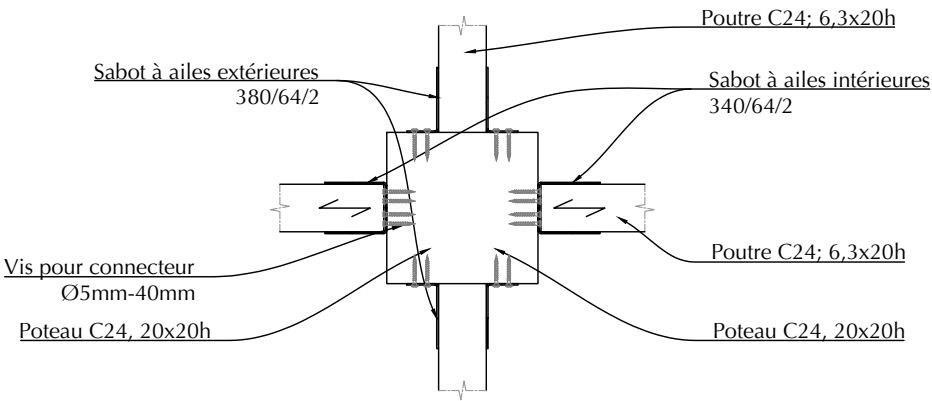
Nombre de pages : 4 + Cartouche = 5

Indice	Date	Observations				Dessiné par:	Chef de projet:
0	10/04/2026	Première édition				JL	MT
Affaire	Type	Phase	Indice	Localisation	Plan	Impression	
26-017	PL	PRO	0	-	STR	10/04/2026	

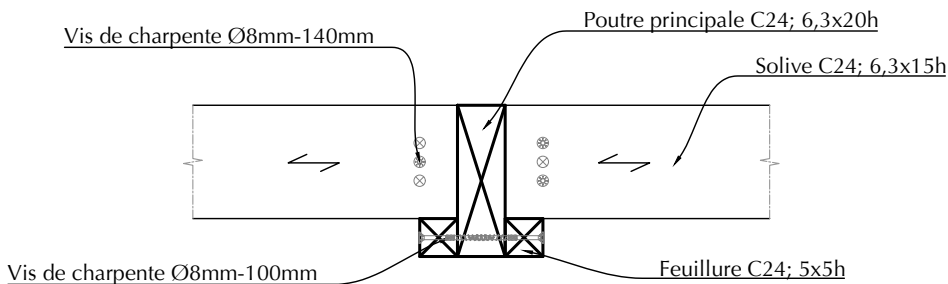


1 Vue en plan en plancher bas de l'Hémicycle
PL Ech : 1/75e

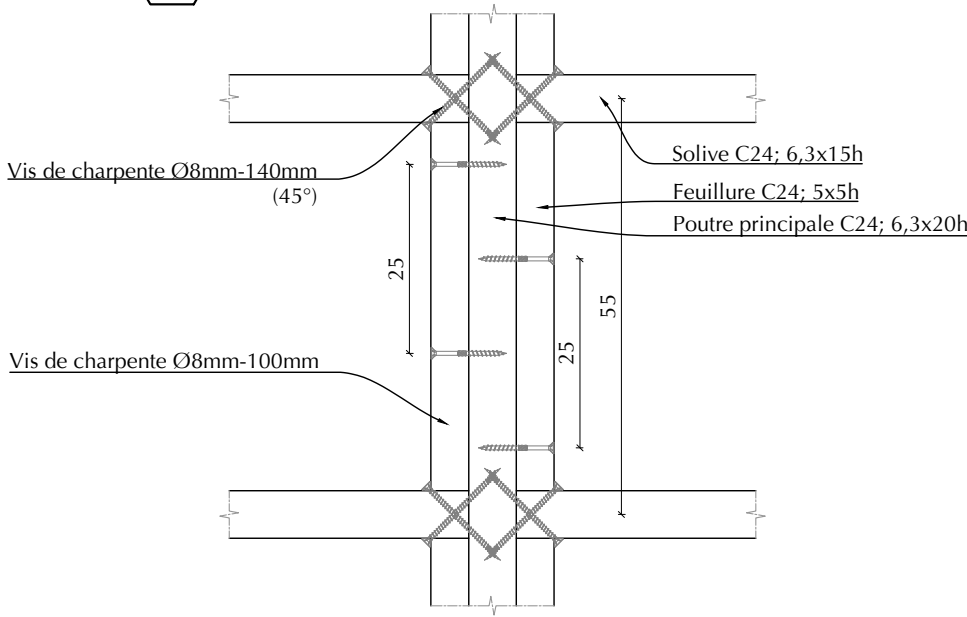
2 Assemblage poteau-poutres principales _ vue en plan
- Ech : 1/10e

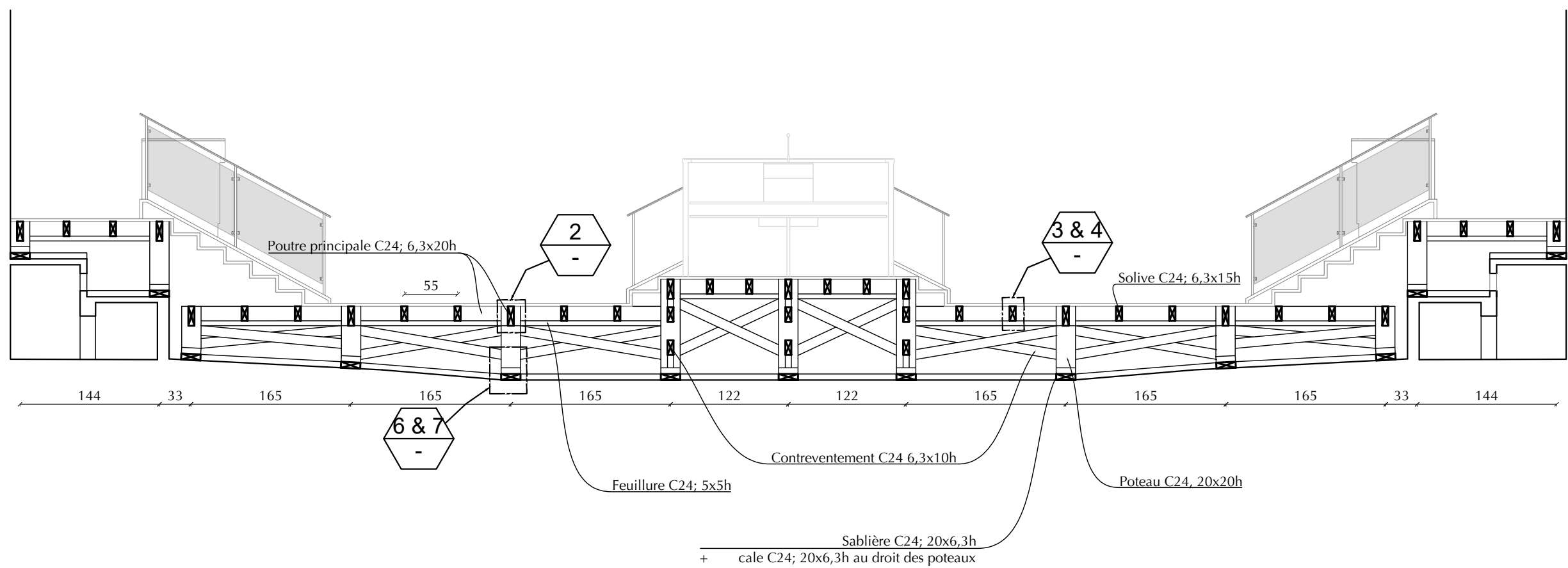


3 Assemblage solive sur poutre principale _ vue en élévation
- Ech : 1/10e

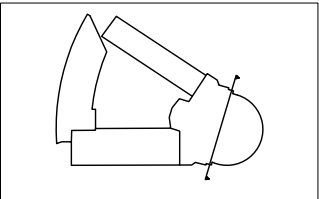


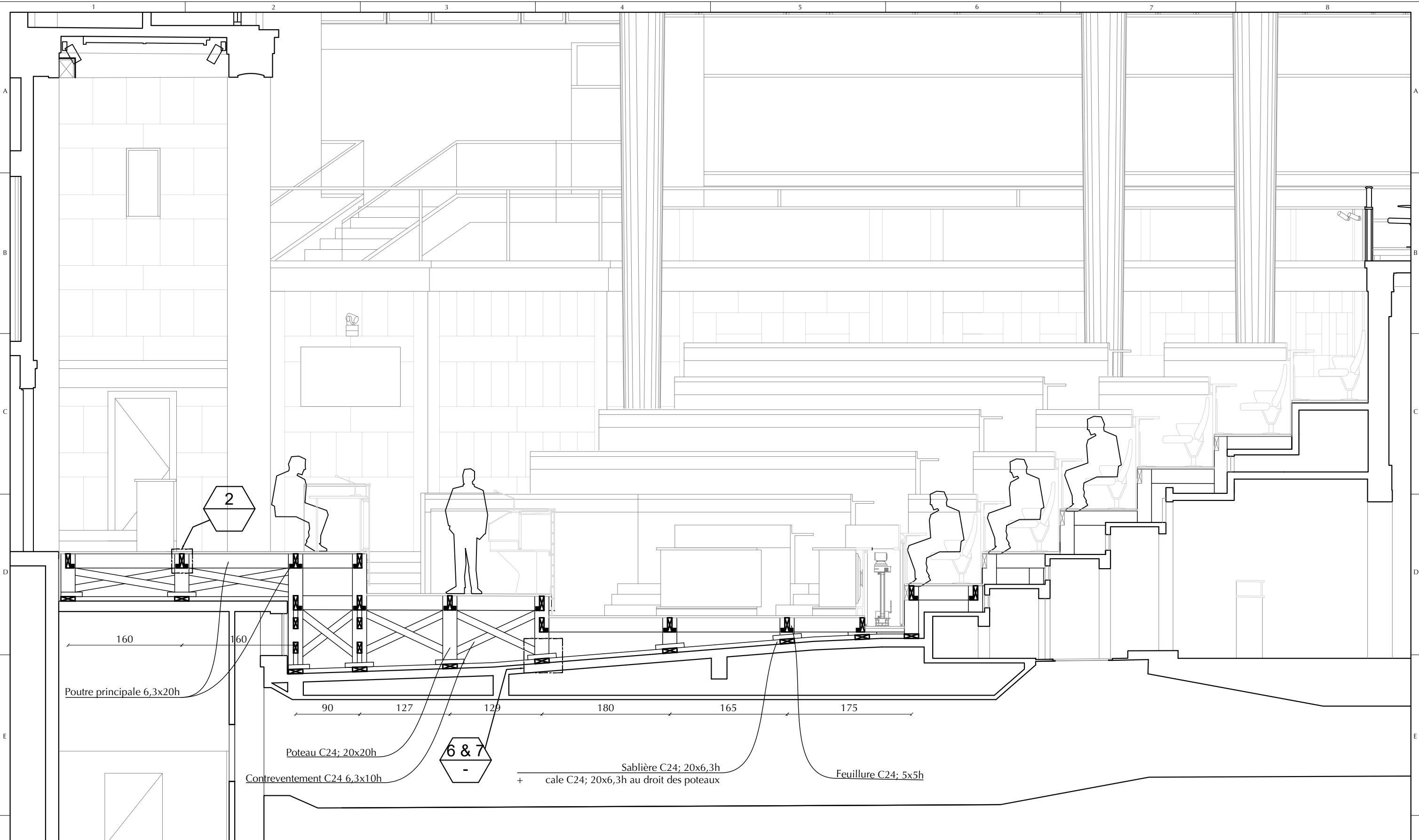
4 Assemblage solive sur poutre principale _ vue en plan
- Ech : 1/10e



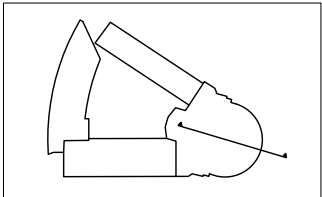


8
PL Coupe longitudinale de la charpente de plancher bas de l'Hémicycle
Ech : 1/50e





9 Coupe transversale de la charpente de plancher bas de l'Hémicycle
PL Ech : 1/50e



0 1 2.5m

