AFFAIRE N° : 25218 **N°devis :** 250921

TYPE DOCUMENT : Notice PRO **Indice :** 0

AUTEUR : A. NICOD



NOTICE PRO - GRAND' CHAMBRE

PARTIE 1 - CHARPENTE ET PLAFOND

Lieu : Grand'Chambre Palais de Justice de Toulouse

Maitrise d'ouvrage : Ministère de la Justice

Rédigé par	Date	Relu par	Indice	Modification
NICOD Alice	15/10/2026	LIZANA Antoine	0	

B.E.T. STRUCTURAL

TOULOUSE
2 AVENUE DE L'EUROPE -
31520 RAMONVILLE-SAINT-AGNE
05.62.26.52.71
contact@betstructural.com

PARIS
10 RUE DE PENTHIEVRE - 75008 PARIS
05.62.26.52.71
contact@betstructural.com

Sommaire

I. RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX 3
II. MISSION 4
III. CONTEXTE 5
III.1 Contexte géographique 5
III.2 Contexte historique 6
III.3 Description sommaire 8
IV. HYPOTHESES DE CALCUL ET PREDIMENSIONNEMENT 10
IV.1 Hypothèses générales 10
IV.2 Résultats du prédimensionnement 16
V. PROJET 20
VI. ANNEXES 24

I. RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

MAITRISE D'OUVRAGE	**Ministère de la Justice** Département immobilier de Toulouse 2 Impasse Boudeville – Immeuble Aurélien II 31047 TOULOUSE CEDEX 1
BET STRUCTURE	**BET STRUCTURAL** Siège social : 2 Avenue de l'Europe 31250 Ramonville-Saint-Agne 05.62.26.52.71 contact@betstructural.com Site Paris : 10 rue de Penthièvre 75008 Paris 06.81.68.62.50 contact@betstructural.com

II. MISSION

Nous avons été missionnés par Le Ministère de la Justice afin de réaliser une étude structurelle de la Grand'Chambre du Palais de Justice de Toulouse. Suite au diagnostic de la structure existante, le projet consiste à préconiser des interventions permettant de renforcer structurellement le plancher bas, le plafond à caisson et la charpente de la Grand'Chambre du Palais de Justice de Toulouse.
Le présent rapport concerne uniquement le plancher haut et la charpente de la Grand'Chambre. Le plancher bas est traité à part, dans un second rapport.

III. CONTEXTE

III.1 Contexte géographique





Figure 1 : Localisation en vue aérienne – Palais de justice de Toulouse

III.2 Contexte historique

La création du Palais de Justice de Toulouse remonte au XIIIème siècle. Les principaux évènements ayant impacté la structure de la Grand'Chambre sont répertoriés ci-dessous, par ordre chronologique :

- **XVIIIème siècle**
  - Création du palais de Justice en 1271 dans l'enclos du « Château Narbonnais ».

- **XVème siècle**
  - Première mention de la Grand'Chambre en 1492.
  - Création du plafond à caisson, suspendu à la charpente

- **XVIIIème siècle**
  - Le plafond à caisson est recouvert d'un badigeon gris
  - Une voussure est ajoutée en périphérie du plafond

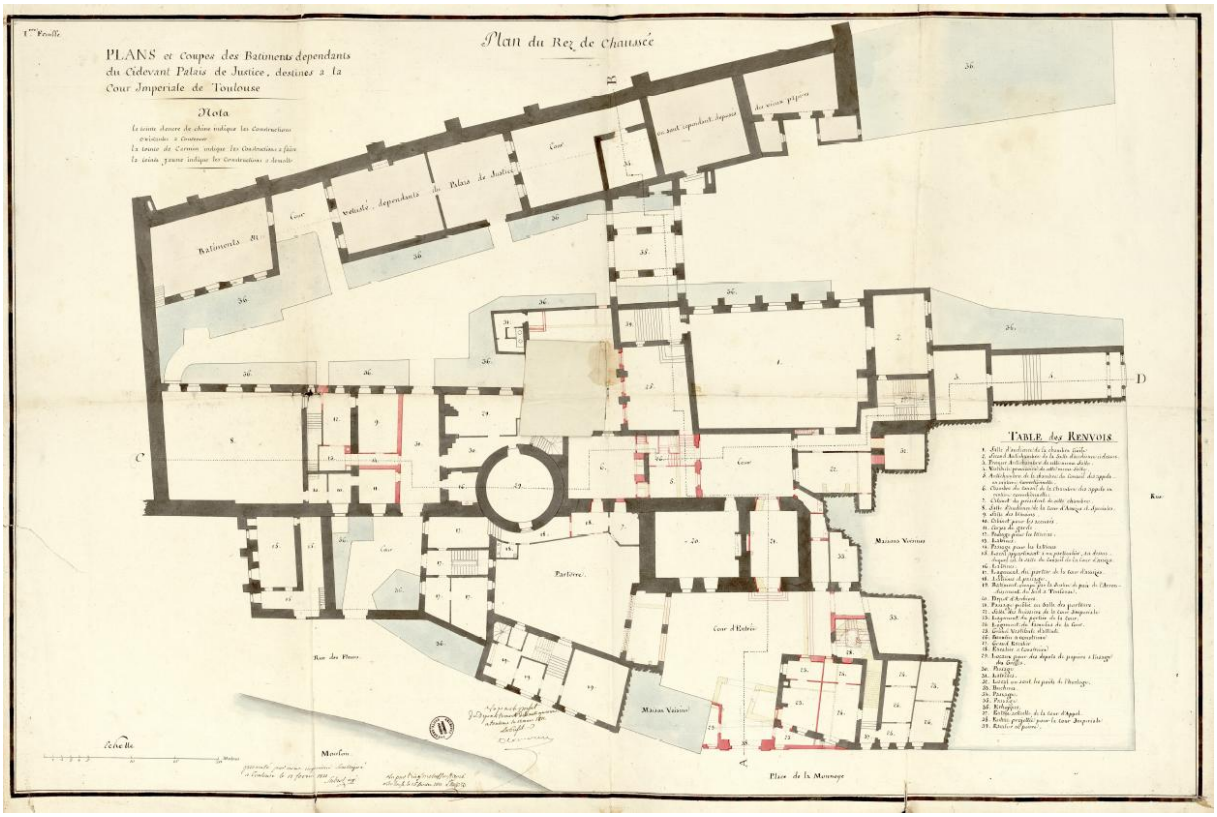


Figure 2 : Plan de rez-de-chaussée du Palais de justice – Plan de Subsol 1811

- **XIXème siècle**
  - Lors de la surélévation de la cour d'Appel (mur Nord de la Grand'Chambre), des suspentes complémentaires sont ajoutées dans la charpente. Un chéneau est créé contre le mur Nord. La création de ce chéneau encastré endommage les abouts des poutres Nord du plancher à caisson.
  - La charpente d'origine est remplacée durant la seconde moitié du XIXème siècle mais le principe de suspente du plafond à caisson à la charpente reste inchangé. Le chéneau encastré au Nord est supprimé.
  - La porte vers la salle des pas perdus est créée dans le mur Nord de la Grand'Chambre.
  - Le parquet et les dalles du sol sont restaurées.
  - Le décor actuel est peint sur le plafond et les murs.

- **XXème siècle**
  - Des renforts métalliques sont ajoutés sur les abouts des poutres dans la partie Nord-Ouest (poutres dont les abouts avaient été endommagées par le chéneau et par des infiltrations ayant eu lieu au droit du solin Nord après le remplacement de la toiture).
  - Une intervention de renfort du plancher bas de la Grand'Chambre a lieu.
  - Les décors peint des fonds des caissons, datant du XIXème, sont reproduits sur du contreplaqué car les motif du XIXème sont en mauvais état. Le contreplaqué est ensuite disposé à l'intérieur des caissons pour recouvrir les décors endommagés.

- **XXIème siècle**
  - Des travaux de construction et de rénovation ont lieu dans le Palais de Justice : La cour au Nord de la Grand'Chambre est notamment couverte avec une verrière et un local chaufferie est créé en sous-sol.
  - La chapelle a été endommagée lors de travaux de rénovation (voûte crevée, sol soulevé) et des travaux de réparation ont eu lieu en suivant.



Figure 3 : comparaison des vues aériennes du palais de justice avant (2000-2005) et après les travaux de 2008 – Source : Remonter le temps IGN

III.3 Description sommaire

Le plafond à caisson de la Grand'Chambre du Palais de justice est suspendu à la charpente. Cette dernière est constituée d'une ferme longitudinale et de deux fermes transversales. Le système de suspente comprend quant à lui quatre poutres longitudinales disposées régulièrement dans la charpente et servant de support aux suspentes du plafond. Ces poutres de suspente reposent elles-mêmes sur les entraits des fermes transversales et sur deux poutres moisées parallèles à ces fermes.

Les éléments constitutifs de la charpente présentent des dégradations biologiques et fongiques, et certains éléments sont sous-dimensionnés des interventions de réparation et de renforcement sont nécessaires afin d'assurer la pérennité de la structure.

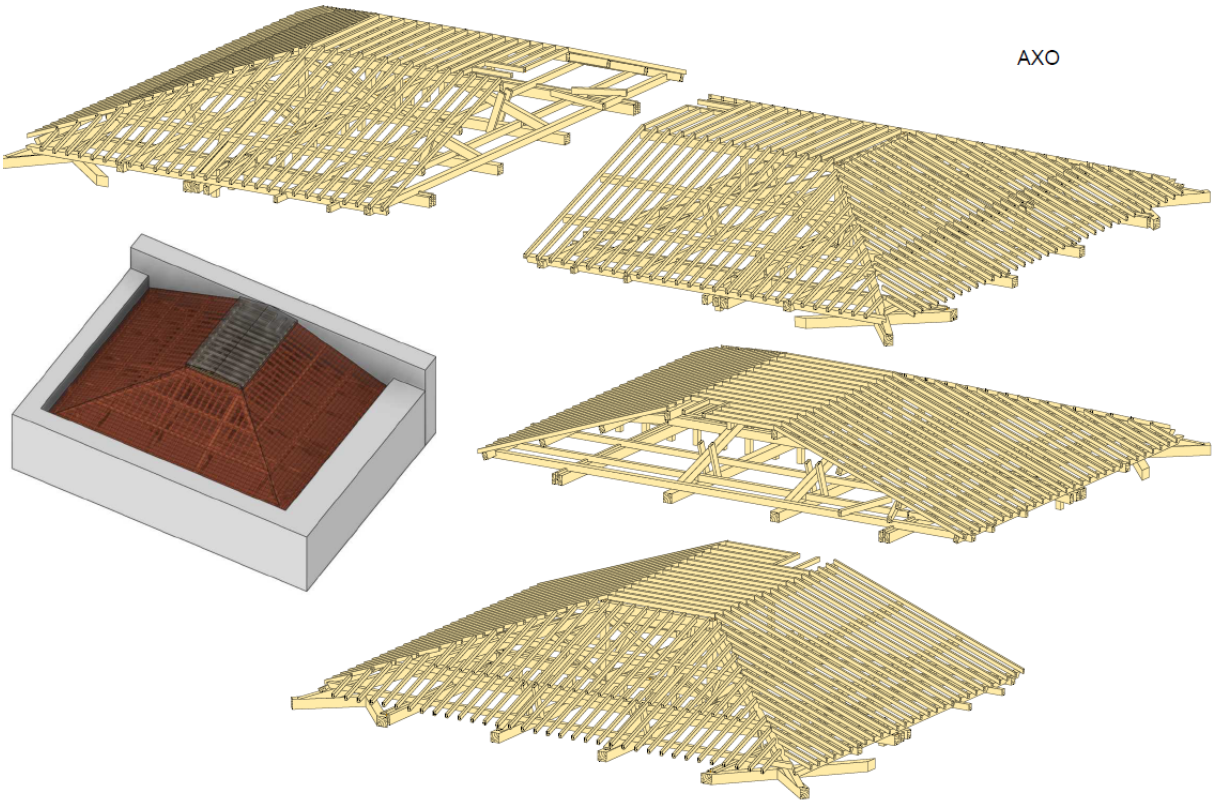


Figure 4 : Vues axonométriques de la charpente de la Grand'Chambre – Source : Extrait du carnet de plans en annexe

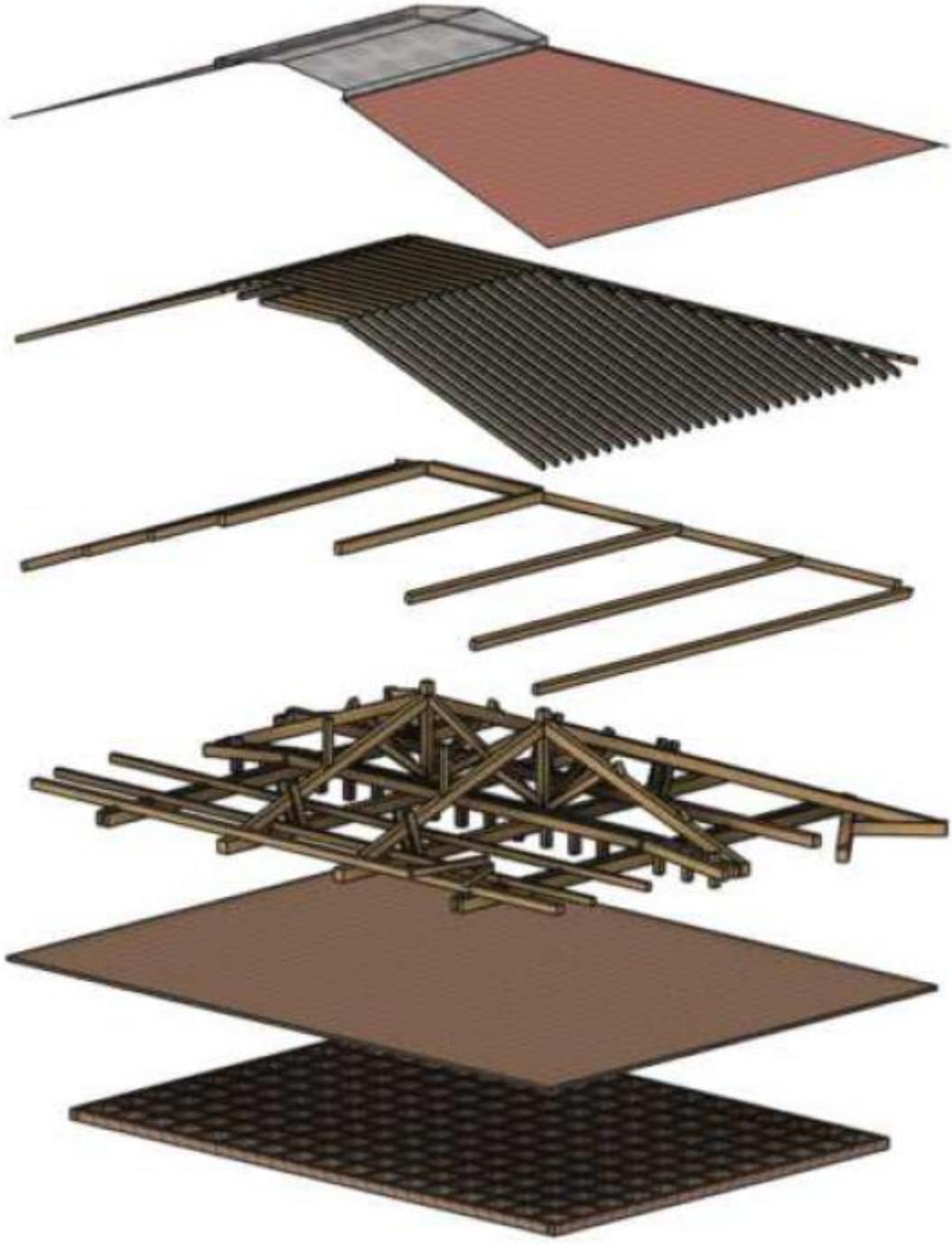


Figure 5 : Vue axonométrique explosée de la charpente de la Grand'Chambre – Source : Extrait du carnet de plans en annexe

IV. HYPOTHESES DE CALCUL ET PREDIMENSIONNEMENT

IV.1 Hypothèses générales

1. Normes

Les normes et règlements de calculs sont :

❖ **Bases de calcul des structures**

- **NF EN 1990 (mars 2003) :** Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures (Indice de classement : P06-100-1)
- **NF EN 1990/A1 (juillet 2006) :** Eurocode - Bases de calcul des structures - Amendement A1 (Indice de classement : P06-100-1/A1)
- **NF EN 1990/A1/NA (décembre 2007) :** Eurocode - Bases de calcul des structures - Annexe nationale à la NF EN 1990/A1 (Indice de classement : P06-100-1/A1/NA)
- **NF EN 1990/NA (décembre 2011) :** Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures – Annexe nationale à la NF EN 1990 (Indice de classement : P06-100-1/NA)

❖ **Actions sur les structures**

- **NF EN 1991-1-1 (mars 2003) :** Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments (Indice de classement : P06-111-1)
- **NF P06-111-2 (juin 2004) :** Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments – Annexe nationale à la NF EN 1991-1-1 + Amendement A1 (mars 2009) (Indice de classement : P06-111 2)
- **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) (Indice de classement : P06-113-1)
- **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) (Indice de classement : P06-113-1/NA)
- **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) (Indice de classement : P06-114-1)
- **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) + Amendement A3 (avril 2019) (Indice de classement : P06-114-1/NA)

❖ **Calcul des structures en bois**

- **NF EN 1995-1-1 (novembre 2005) :** Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments + Amendement A1 (octobre 2008) + Amendement A2 (juillet 2014) (Indice de classement : P21-711-1)

- **NF EN 1995-1-1/NA (mai 2010) :** Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois -Partie 1-1 : Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments - Annexe nationale à la NF EN 1995-1-1 (Indice de classement : P21-711-1/NA)
- **Construction bois au CB61**

2. Hypothèses générales matériaux

L'hypothèse sécuritaire retenue est un bois C22 pour le calcul.

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm²	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm²	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm²	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm²	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm²	2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm²	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	kN/mm²	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5e pourcentile	kN/mm²	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm²	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
G_{mean}	Module de cisaillement	kN/mm²	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88
ρ_k	Masse volumique caractéristique	kg/m³	290	310	320	340	350	370	380	400	420
ρ_{meam}	Masse volumique moyenne	kg/m³	350	370	380	410	420	450	460	480	500

3. Hypothèses générales charges

Les charges prises en compte dans le calcul sont les suivantes :

a. Complexe toiture

- Charges permanentes (G) :
  - **Toiture tuile**
  - Tuiles canal (y compris liteaux) : 45 daN/m²
  - Volige 3cm (500 kg/m3) : 15 daN/m²
  - Chevrons 9.5x13.5cm entraxe 50cm (500 kg/m3) : 12.8 daN/m²
    - **Total : 75 daN/m²**
  - **Toiture zinc**
  - Tôle zinc : 7daN/m²
  - Volige 3cm (500 kg/m3) : 15 daN/m²
    - **Total : 22 daN/m²**

- Charges d'exploitation (Q) :
  - La toiture est de Catégorie H (toitures inaccessibles sauf pour entretien et réparations courantes) selon le paragraphe ***3.3.2 Dispositions complémentaires pour les bâtiments***, il n'est pas nécessaire d'appliquer les charges d'exploitation combinées aux charges dues à la neige et/ou au vent.

- Le tableau 6.10 de la norme européenne EN 1991-1-1 :2002 est remplacé par le tableau suivant :

Type de la toiture	q_k [kN/m²]	Q_k [kN]
Toiture de pente inférieure à 15 % recevant une étanchéité	0,8	1,5
Autres toitures	0	1,5

Tableau 6.10 (NF) - Toitures de catégorie H : charges d'exploitation

- La charge répartie q_k couvre une aire rectangulaire de 10m², dont la forme et la localisation sont à choisir de la façon la plus défavorable pour la vérification à effectuer (sans toutefois que le rapport entre longueur et largeur dépasse la valeur 2).
- Ces charges d'exploitation ne valent que pour la justification des éléments au regard de leur rôle comme éléments structuraux de la toiture.
- Ces charges d'exploitation tiennent compte du matériel spécifique d'exploitation, ainsi que des effets dynamiques.
- La charge répartie et la charge ponctuelle ne sont pas à appliquer simultanément.
- Ces charges d'exploitation ne sont pas prises en compte simultanément avec les charges de neige ou les actions du vent.

- Charge de vent (W) :

Caractéristiques du vent	
Direction	Toutes les directions
Région de vent	1
Valeur fondamentale de pression de base	22 m/s
Coefficient de direction	X+:1.00 X-:1.00 Y+:1.00 Y-:1.00
Coefficient de saison	1.00
Catégorie de terrain	IV
Coefficient orographique	1.00
Hauteur du bâtiment	10m

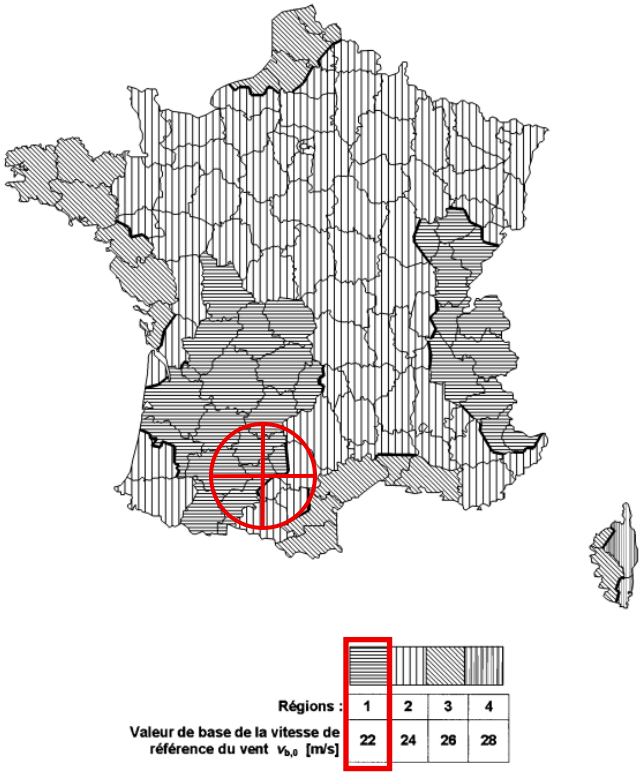
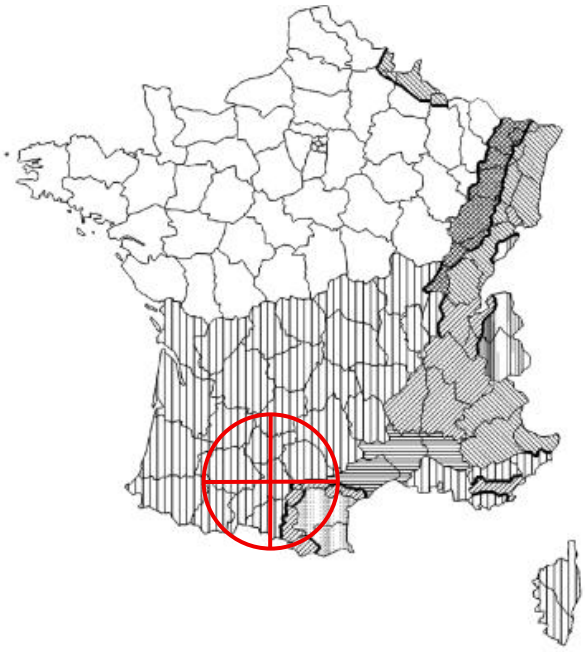


Figure 6 : Zone de vent d'après l'Eurocode 1

- Charge de neige (S) :

Caractéristiques de la neige	
Région de neige	A2
Pression de neige	0.45 kN/m²
Coefficient de neige exceptionnelle	1.00 kN/m²
Coefficient d'exposition	1.00
Facteur thermique	1.00
Altitude	150.00 m
Coefficient de forme	0.80



Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S_k) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	Δs_1							Δs_2

(charges en KN/m²)

Figure 7 : Zones de neige d'après l'Eurocode 1

b. Complexe de plancher

- Charges permanentes (G) :
  - Complexe de plancher
  - Platelage bois supérieur 2cm (500 daN/m3) : 10 daN/m²
  - Lambourde platelage supérieur 5x5cm entraxe 50 cm (500 daN/m3) : 2.5 daN/m² (hypothèse)
  - Contreplaqué du XXème siècle 2cm (500 daN/m3) : 10 daN/m²
  - Caissons du XVème siècle 20x30cm entraxe 1m (500 kg/m3) : 60 daN/m²
  - Platelage peint du XVème siècle 3cm (500 kg/m3) : 15 daN/m²
    - Total : 100 daN/m²

- Charges d'exploitation (Q) :
  - Combles non aménageables, dont l'utilisation n'est pas prévue a priori, non accessible normalement : 100 daN/m²

c. Combinaisons d'action

L'Eurocode 0 – Base de calcul des structures définie les combinaisons d'action à considérer pour les bâtiments :

Combinaisons ELU - Situations de projet durables et transitoires

$$\sum_{j\geq 1} 1.35\, G_{k,j} + 1.50\, Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1.50\, \psi_{0,i}\, Q_{k,i}$$

Figure 8 Combinaison ELU - Situation de projet durables et transitoires

Combinaisons ELS

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i}\, Q_{k,i}$$

Figure 9 Combinaison caractéristiques

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1}\, Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Figure 10 Combinaisons fréquentes

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Figure 11 Combinaisons quasi-permanentes

4. Hypothèses de déformation admissible

Critères de flèche :

- Flèche instantanée Winst (Q) : L/300
- Flèche résiduelle finale Wnet,fin : L/200
- Flèche finale Wfin : L/125

IV.2 Résultats du prédimensionnement

Présentation du modèle renforcé

Le projet de renforcement comprend :

- La restitution des sections d'origine des éléments dégradés au moyen de réparations (greffes, moisages, résine etc.).
- L'ajout d'un système de croix en bois entre les deux arbalétriers afin d'éviter le flambement de ces éléments selon l'axe faible (section 15x20ht cm).

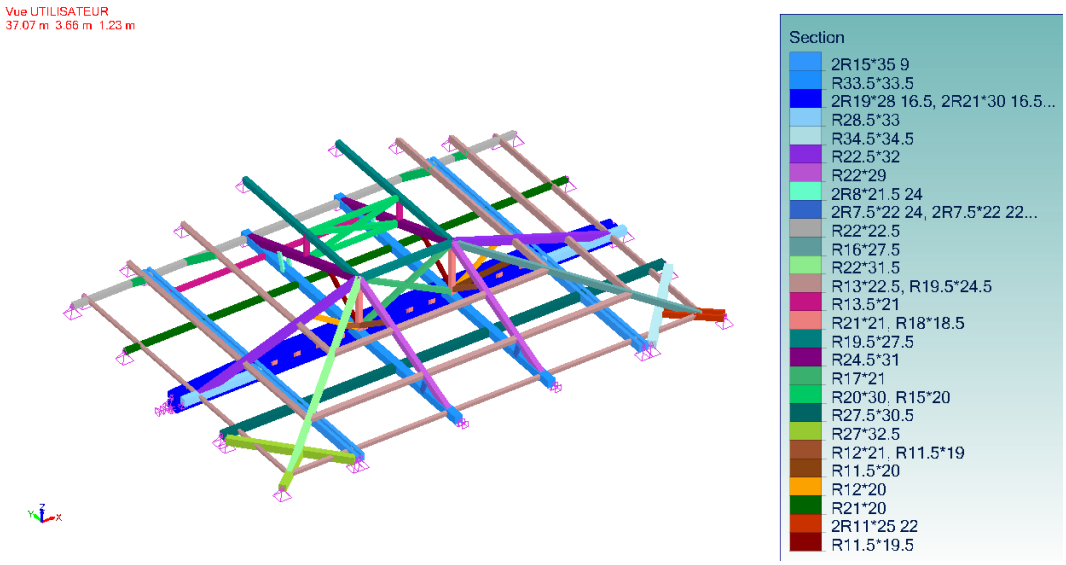


Figure 12 : Vue du modèle

Résultats état projet

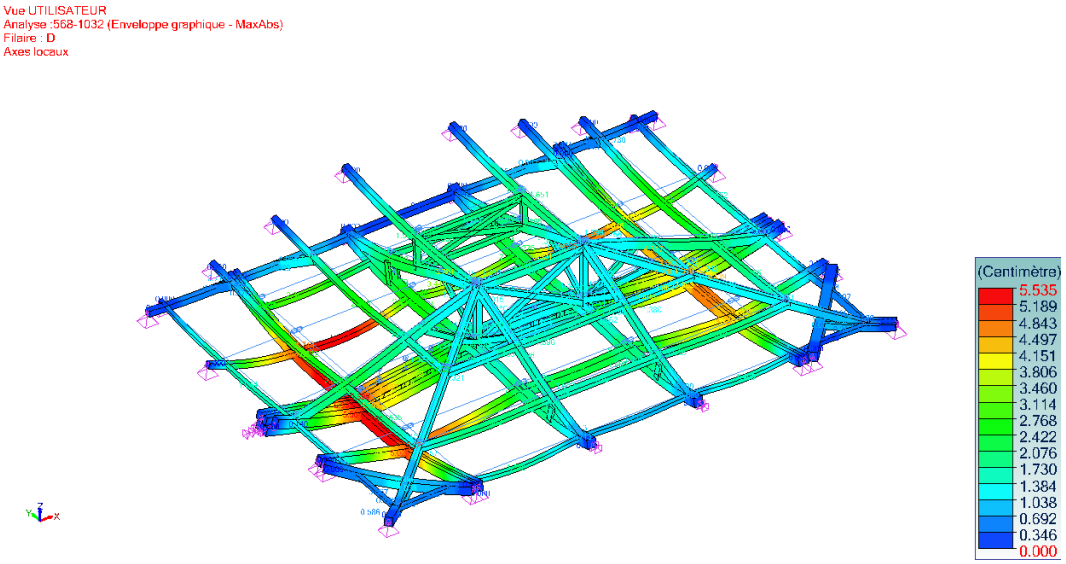


Figure 13 : Déplacements (ELS) cm

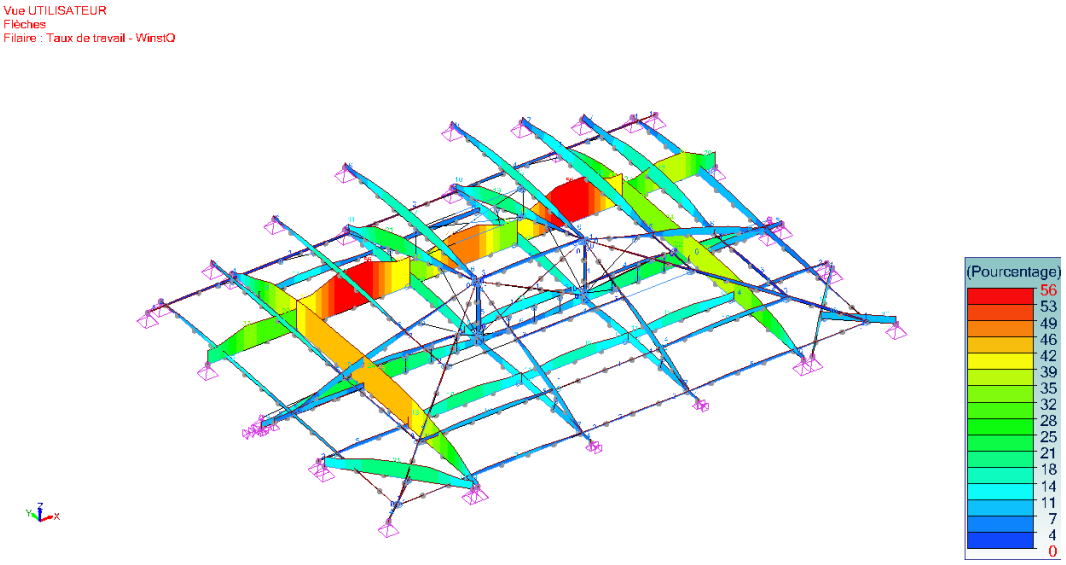


Figure 14 : Taux de travail en flèche instantanée (ELS) %

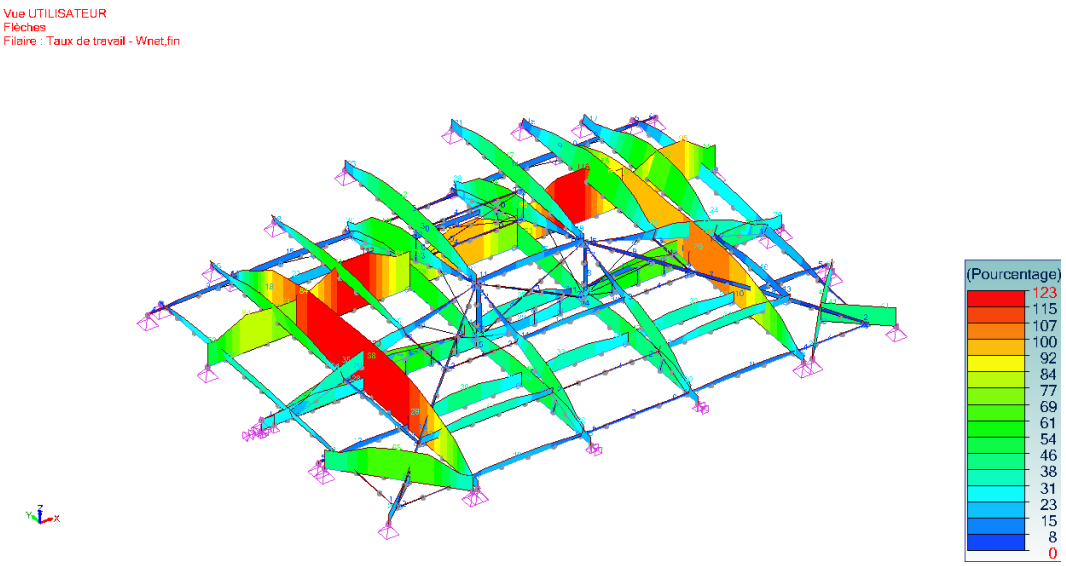


Figure 15 : Taux de travail en flèche finale (ELS) %

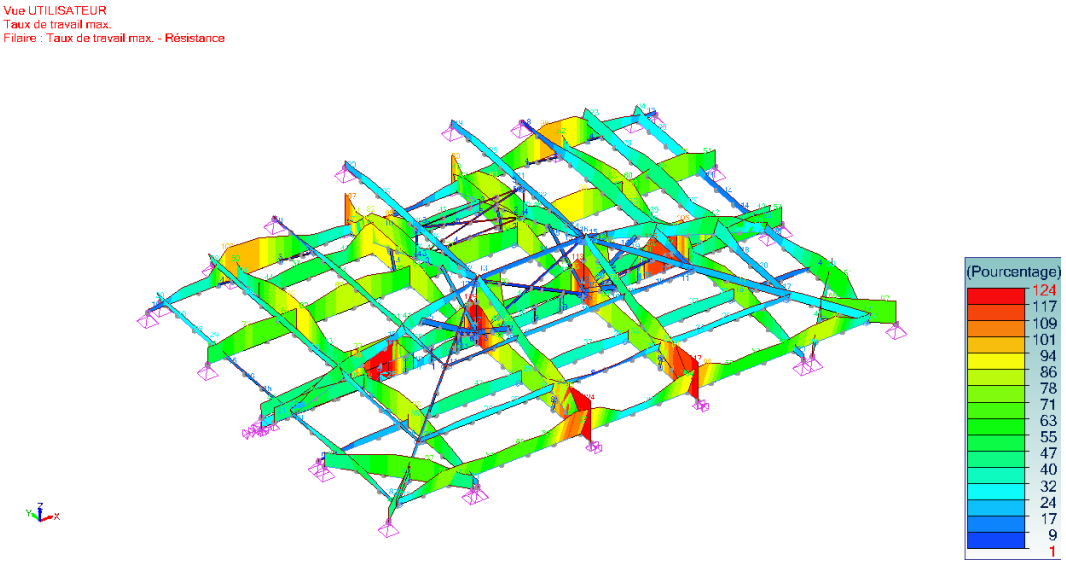


Figure 16 : Taux de travail en résistance (ELU) %

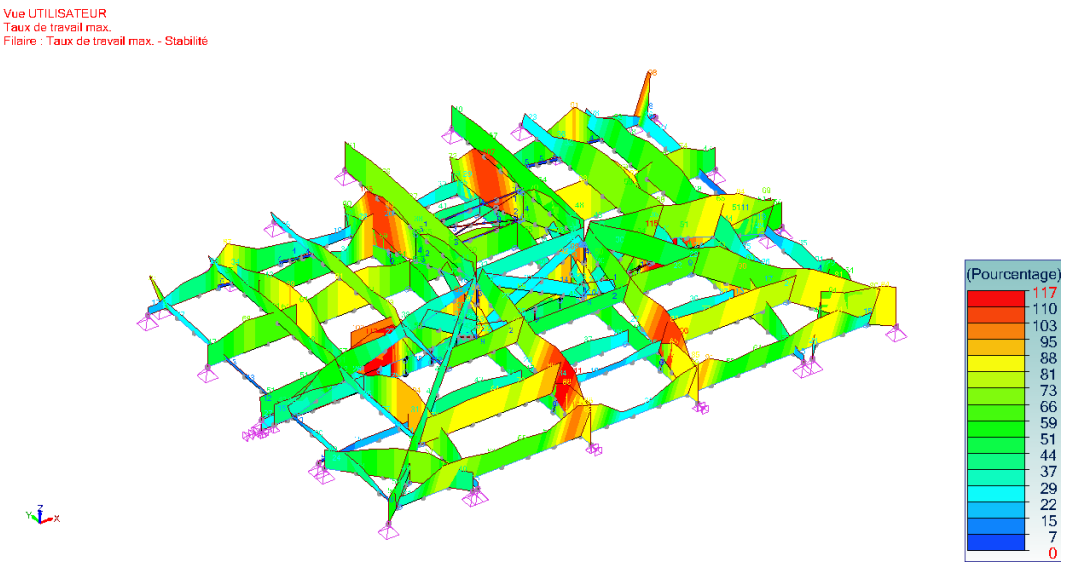


Figure 17 : Taux de travail en stabilité (ELU) %

V. PROJET

Une mise en sécurité préalable ayant été étudiée précédemment, les préconisations suivantes concernent la réalisation des travaux de renforcement de la structure. Pour rappel, dans le cadre de la restauration du plafond, il est prévu que la couverture et l'ensemble du plancher soient déposés. La structure principale de la charpente sera quant à elle conservée. Les préconisations suivantes proposent un principe général de réparation.

A noter que des adaptations pourront être réalisées durant le chantier en fonction des éléments mis à jour après la dépose de la couverture et du plancher.

- **1 - Réparation de la maçonnerie sous les appuis des éléments de charpente et du plancher** : il conviendra de conforter la maçonnerie sur laquelle prend appui le plafond à caisson et la charpente. Pour ce faire, nous préconisons :
    - La purge des éléments dégradés ou instables
    - La reprise des arrases sous les appuis des solives
    - Le remaçonnage ponctuel des cavités (relancis si nécessaire)
    - Le rejointoiement de la maçonnerie

- **2- Restitution des sections fortement endommagées** : Comme le met en évidence l'étude de diagnostic de l'état sanitaire des bois, plusieurs éléments de la charpente présentent des sections dégradées en raison de pourrissement du bois et d'altérations biologiques.

  Les sections de ces éléments de charpente endommagés devront être restituées. Pour cela, nous préconisons le remplacement des éléments à l'identique en respectant la section d'origine. Lorsque cela n'est pas possible des reprises à la résine pourront être envisagées.

  Cas particulier de l'arêtier Sud-Est : l'arêtier Sud-Est a déjà fait l'objet d'une réparation mais l'état sanitaire de la partie supérieur reste préoccupant, tout comme l'assemblage entre la greffe et la partie existante. Si son remplacement s'avère impossible en raison de ses dimensions importantes, la mise en place d'un renfort sera nécessaire afin d'assurer sa consolidation.

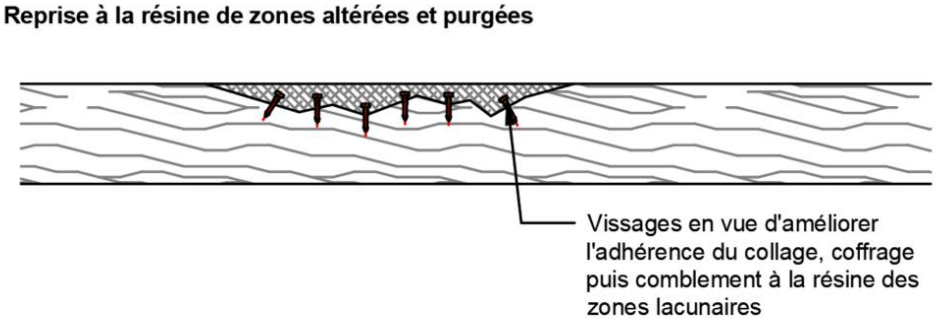


Figure 18 : Principe de réparation des bois avec un mortier de résine

- **3 – Renforcement des fissures des éléments bois** : Une partie des éléments de charpente présente des gerces importantes, c'est-à-dire dont la profondeur dépasse 1/6 de la largeur des pièces ou est supérieure à 2,5cm. Ces éléments devront faire l'objet d'un renforcement par injection de résine. Pour cela, il conviendra de réaliser les interventions suivantes :

- Élargir suffisamment la fissure au-delà de ses extrémités en réalisant une rainure à l'aide d'un outil adapté, afin de faciliter l'injection de la résine.
- Nettoyer soigneusement la rainure et l'intérieur de la gerce au moyen d'air comprimé, afin d'éliminer les poussières et les débris.
- Recouvrir la rainure avec un ruban adhésif large et résistant, si possible transparent.
- Percer, au droit de la rainure, des trous d'injection espacés de 30 à 40 cm, en adaptant leur diamètre à celui de la buse d'injection et en prévoyant un trou à chaque extrémité de la fissure.
- Injecter la résine dans le premier trou, situé à l'extrémité non débouchante, jusqu'à ce qu'elle ressorte par le trou suivant.
- Obturer le premier trou, puis poursuivre l'injection dans le deuxième trou et ainsi de suite, jusqu'au remplissage complet de la rainure.

Lorsque les fentes dans le bois sont particulièrement importantes, voire traversantes, et qu'une réparation à la résine seule s'avère insuffisante, la mise en place d'un système de couturage par tiges métalliques devra être envisagée. Disposées perpendiculairement à la fibre moyenne ou inclinées par rapport à celle-ci, ces tiges permettent de reprendre les efforts de cisaillement longitudinal et de traction transversale, tout en limitant les effets différés liés au retrait du bois.

- **4 - Renfort des abouts dégradés des poutres et éléments de charpente** : Certains des abouts des poutres et des éléments de charpentes sont fortement dégradés et doivent être renforcés. Nous préconisons la mise en œuvre d'une des solutions suivantes :

  - **SOIT Remplacement à l'identique des sections :** À noter que les éléments fortement endommagés, comme c'est le cas de certaines pannes, doivent être remplacés, les autres solutions ne constituant pas, dans ce cas, une reprise durable.

  - **SOIT prothèse bois ou greffe bois par moisage des abouts :** Le moisage entre l'élément existant et la greffe pourra être externe (moisage bois) ou interne (moisage par platine métallique en âme). Les éléments bois devront avoir les mêmes caractéristiques mécaniques que la pièce renforcée.

  - **SOIT Moisage des sections existantes avec des profilés métalliques**
    - Dégagement de la maçonnerie aux appuis de part et d'autre de l'about à renforcer ;
    - Moisages par des profilés métalliques boulonnés entre eux.

Renfort d'un appui par moisage par profils métalliques

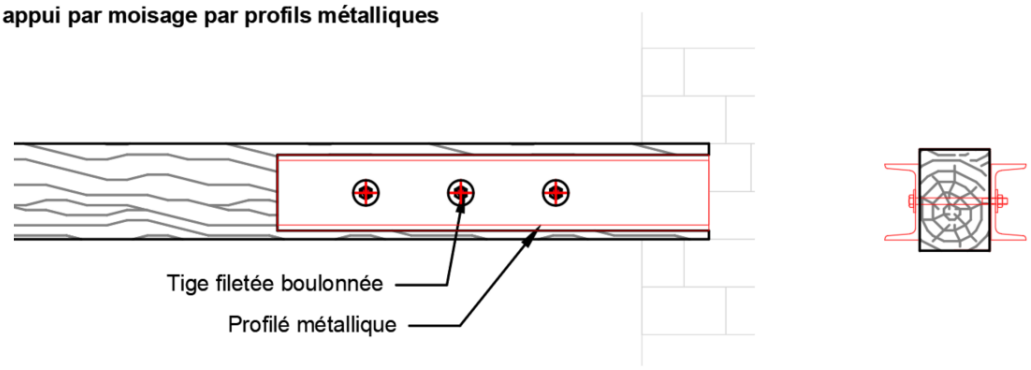
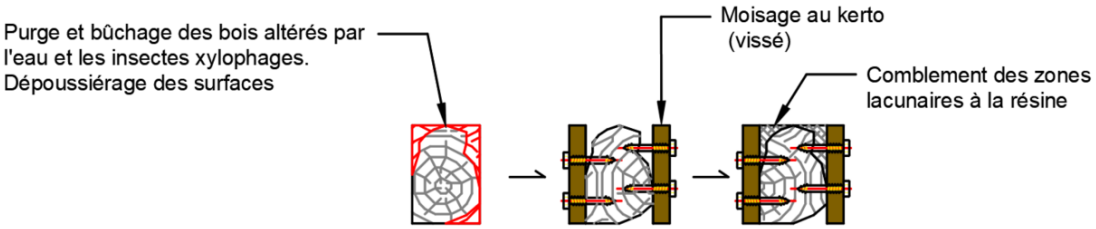


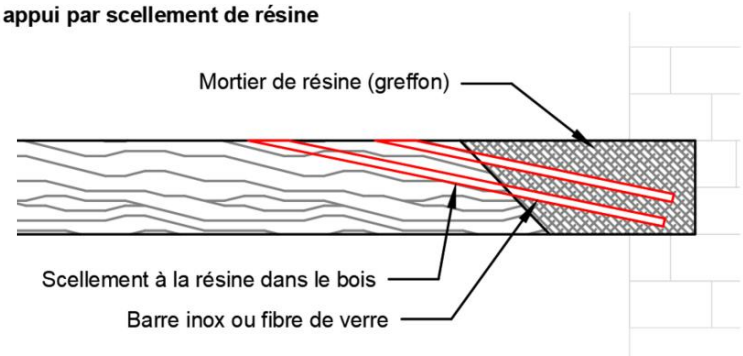
Figure 19 : Principe de renfort avec profilé métallique

- **SOIT Restitution avec un mortier de résine**
  - Purge de la partie altérée du bois jusqu'à parvenir au bois sain ;
  - Restitution de la section avec de la résine, ou greffe de l'about avec un mortier de résine armée dans le cas où l'about de l'élément est trop endommagé pour être conservé.

Moisage et reconstitution des pannes altérées



Renfort d'un appui par scellement de résine



- **5 - Renforcement des éléments sous-dimensionnés** :
    - **Arbalétriers Nord des fermes transversales** : afin de conforter ces éléments, nous préconisons la mise en œuvre d'un système de croix de section 15x25.

- **6 - Traitement contre les insectes à larves xylophage** : la présence d'insectes à larves xylophages a été relevée dans la charpente. Un traitement doit être mise en œuvre afin de stopper le processus de dégradation et préserver les bois. A noter que ce traitement devra se faire en adéquation avec les préconisation des restaurateurs pour la conservation des bois.

VI. ANNEXES

Carnet de plan PRO :

- 250921-STRUCTURAL-PALAIS_DE_JUSTICE-CARNET_DE_PLANS-PRO-PARTIE_1-Ind0

Rapport et carnet de plans diagnostic :

- 250921-STRUCTURAL-PALAIS_DE_JUSTICE-RAPPORT_DE_DIAGNOSTIC-PARTIE1-Ind1
- 250921-STRUCTURAL-PALAIS_DE_JUSTICE-DIAGNOSTIC-CARNET_DE_PLANS-PARTIE_1-Ind1