

EFFECTIS France  
Route de l'Orme des Merisiers  
Saint Aubin - France

Antony, le 17 mai 2024

N/Réf : STO-24-092-RAPP-A-DIAG-Diagnostic plancher des combles - INJA (75007)

**Affaire suivie par :**  
Adrien THIBAUD  
[adrien.thibaud@structureo.fr](mailto:adrien.thibaud@structureo.fr)  
Tel : 06 81 13 46 66

## Diagnostic structurel - Vérification à froid du plancher des combles de l'INJA

Edifice : Institut national des jeunes aveugles (INJA)  
56 Bd des Invalides,  
75007 Paris - France

A la demande et pour le compte de : EFFECTIS France  
Route de l'Orme des Merisiers  
Saint Aubin - France



## Sommaire

<b>1.</b>	<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>MISSION DE STRUCTUREO .....</b>	<b>5</b>
2.1	<i>Reconnaissance structurelle.....</i>	5
2.2	<i>Calcul de capacité portante .....</i>	5
2.3	<i>Inspection visuelles des désordres .....</i>	5
<b>3.</b>	<b>DESCRIPTION GENERALE DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>6</b>
3.1	<i>Historique.....</i>	6
3.2	<i>Nomenclature des zones.....</i>	7
<b>4.</b>	<b>PRINCIPES STRUCTURELS DES COMBLES .....</b>	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>CHOIX DE PRESENTATION .....</b>	<b>10</b>
5.1	<i>Nomenclature des sondages .....</i>	10
5.2	<i>Abréviation utilisée.....</i>	10
5.3	<i>Définition des résultats.....</i>	10
5.4	<i>Origine des résultats.....</i>	10
<b>6.</b>	<b>RESULTATS DES RECONNAISSANCES STRUCTURELLES.....</b>	<b>11</b>
6.1	<i>Localisation des investigations.....</i>	11
6.2	<i>Relevé dimensionnel de la charpente .....</i>	12
6.2.1	Fermes Zone I (Bâtiment central reliant les deux ailes).....	12
6.2.2	Ferme aile (S et D) – partie courante .....	13
6.2.1	Ferme aile (S et D) – partie centrale.....	14
6.2.2	Couverture.....	15
6.3	<i>Reconnaissance des entrails .....</i>	16
6.3.1	Sondages dans les ailes S et D.....	16
6.3.2	Sondages dans la partie centrale I.....	20
6.4	<i>Reconnaissances des solivages.....</i>	22
6.4.1	Sondages dans les ailes S et D.....	22
6.4.2	Sondages dans la partie centrale I.....	26
<b>7.</b>	<b>CALCULS DE CAPACITE PORTANTE .....</b>	<b>28</b>
7.1	<i>Hypothèses de calcul .....</i>	28
7.1.1	Références.....	28
7.1.2	Matériaux Bois .....	28
7.1.3	Modèle de calcul .....	29
7.1.4	Charges .....	30
7.1.5	Combinaison de charge .....	31
7.2	<i>Vérifications structurelles des solivages .....</i>	32
7.2.1	Solivages .....	32
7.2.2	Solive médiane.....	32
7.2.3	Section minimale .....	33
7.3	<i>Vérifications structurelles des entrails.....</i>	34
7.3.1	Entrails des fermes des Ailes (S et D).....	34
7.3.2	Section minimale – Zones ailes (S et D).....	35
7.3.3	Entrails des fermes de la zone centrale I .....	36
<b>8.</b>	<b>DESORDRES RELEVES .....</b>	<b>37</b>

8.1	<i>Classification des désordres</i> .....	37
8.2	<i>Description</i> .....	38
8.3	<i>Localisation</i> .....	39
8.4	<i>Origine probable</i> .....	40
8.5	<i>Préconisations</i> .....	40
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>41</b>
9.1	<i>Principes structurels</i> .....	41
9.2	<i>Sections minimales</i> .....	41
9.3	<i>Préconisations</i> .....	42

## 1. AVANT-PROPOS

EFFECTIS a été chargé de réaliser des calculs au feu du plancher haut du R+3 de l'INJA (plancher bas des combles). Dans le cadre de cette étude, STRUCTUREO a été sollicité par EFFECTIS afin de réaliser une étude préalable permettant de récolter les données nécessaires au calcul feu.

Le rapport de STRUCTUREO expose ainsi :

- Localisation des sondages réalisés sur plans ;
- Reportage photographique des sondages ;
- Coupes et plans schématiques de principe des sondages destructifs réalisés ;
- Analyse des désordres rencontrés ;
- Calcul à froid des planchers bois sondés.



Figure 1 - Vue du bâtiment sur Google Earth

## 2. MISSION DE STRUCTUREO

---

Une équipe du BET STRUCTUREO est intervenue sur site du 15 au 17 avril 2024. Des inspections visuelles, des relevés structurels ainsi que des sondages destructifs ont été réalisés sur les structures concernées par le projet.

### 2.1 Reconnaissance structurelle

Une reconnaissance structurelle de l'ensemble des zones concernées par le projet a été effectuée afin de comprendre le fonctionnement structurel de l'ouvrage et de relever les informations nécessaires à son recalcul.

Des sondages destructifs traversants ont été réalisés pour reconnaître le complexe de plancher et l'état des éléments bois.

### 2.2 Calcul de capacité portante

Les données récoltées sont utilisées pour calculer à froid les solives et les entrails des planchers sondés, dans le but de connaître les sections minimales acceptables.

### 2.3 Inspection visuelles des désordres

Les désordres rencontrés pendant l'intervention ont fait l'objet d'une étude visant à les décrire et à émettre une hypothèse sur leur origine.

### 3. DESCRIPTION GENERALE DE L'OUVRAGE

#### 3.1 Historique

Selon la carte disponible sur le site BatiParis, le bâtiment a été construit entre 1801 et 1850.

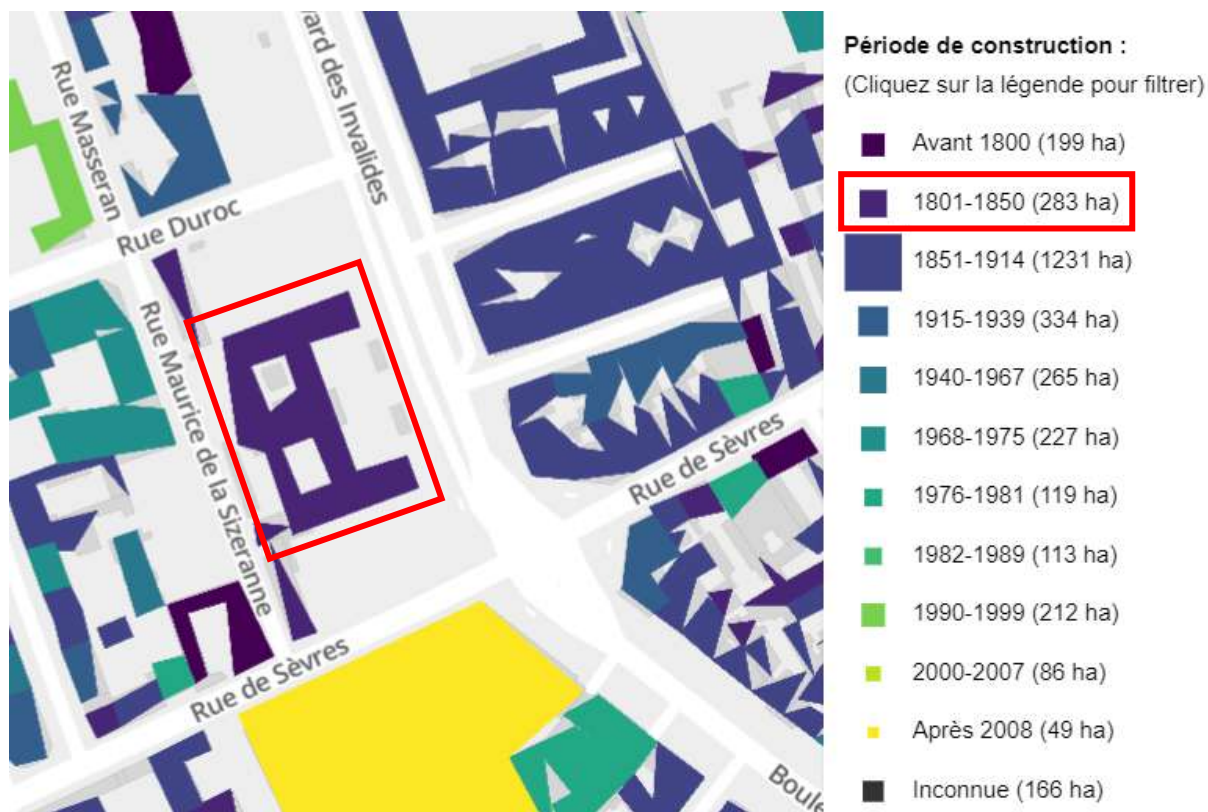


Figure 2 - Extrait de la carte du site BatiParis - INJA encadré en rouge

L'inscription gravée sur la façade du bâtiment précise la période de construction : 1839-1843.



Figure 3 - Photo des dates gravées en façade

### 3.2 Nomenclature des zones

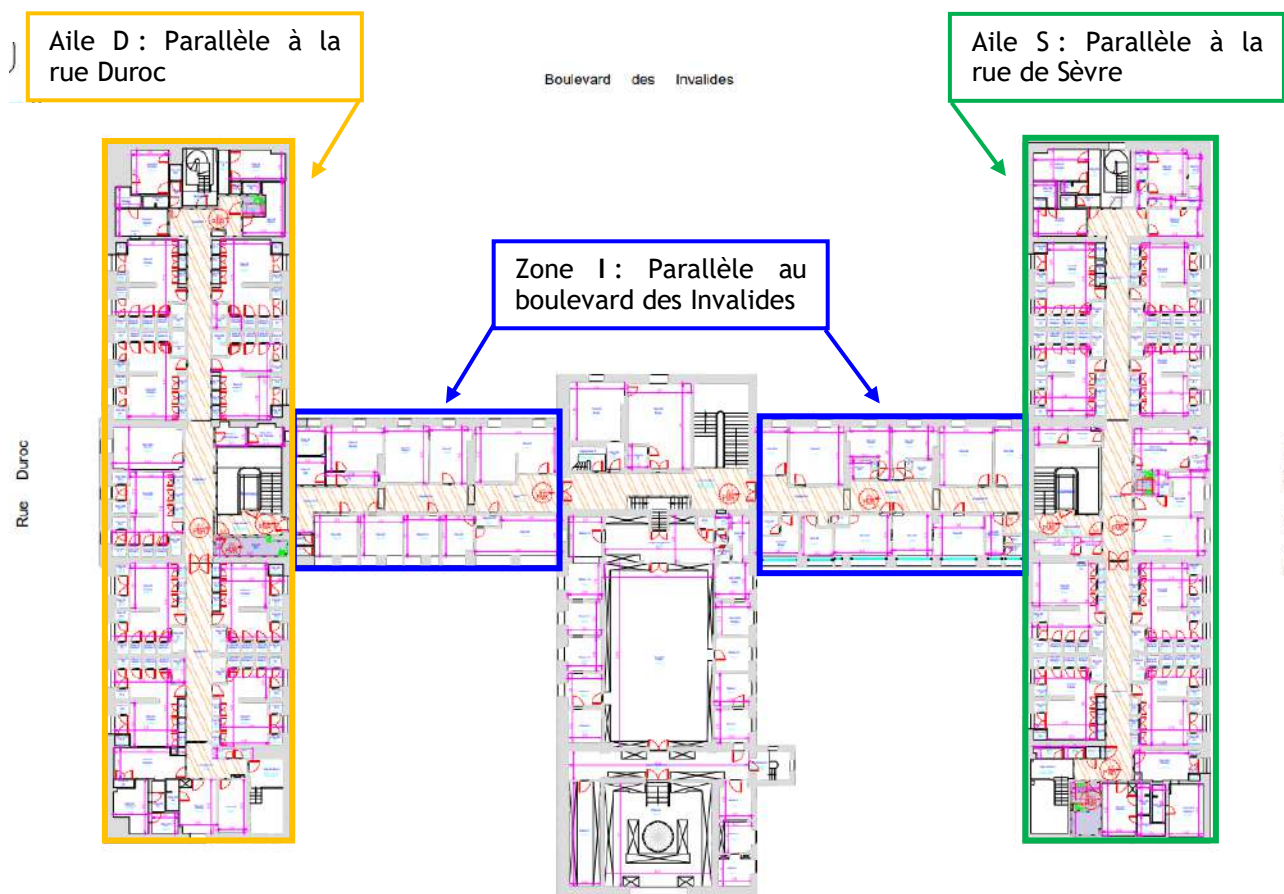


Figure 4 - Nomenclature des zones sur fond de plan géomètre R+3

#### 4. PRINCIPES STRUCTURELS DES COMBLES

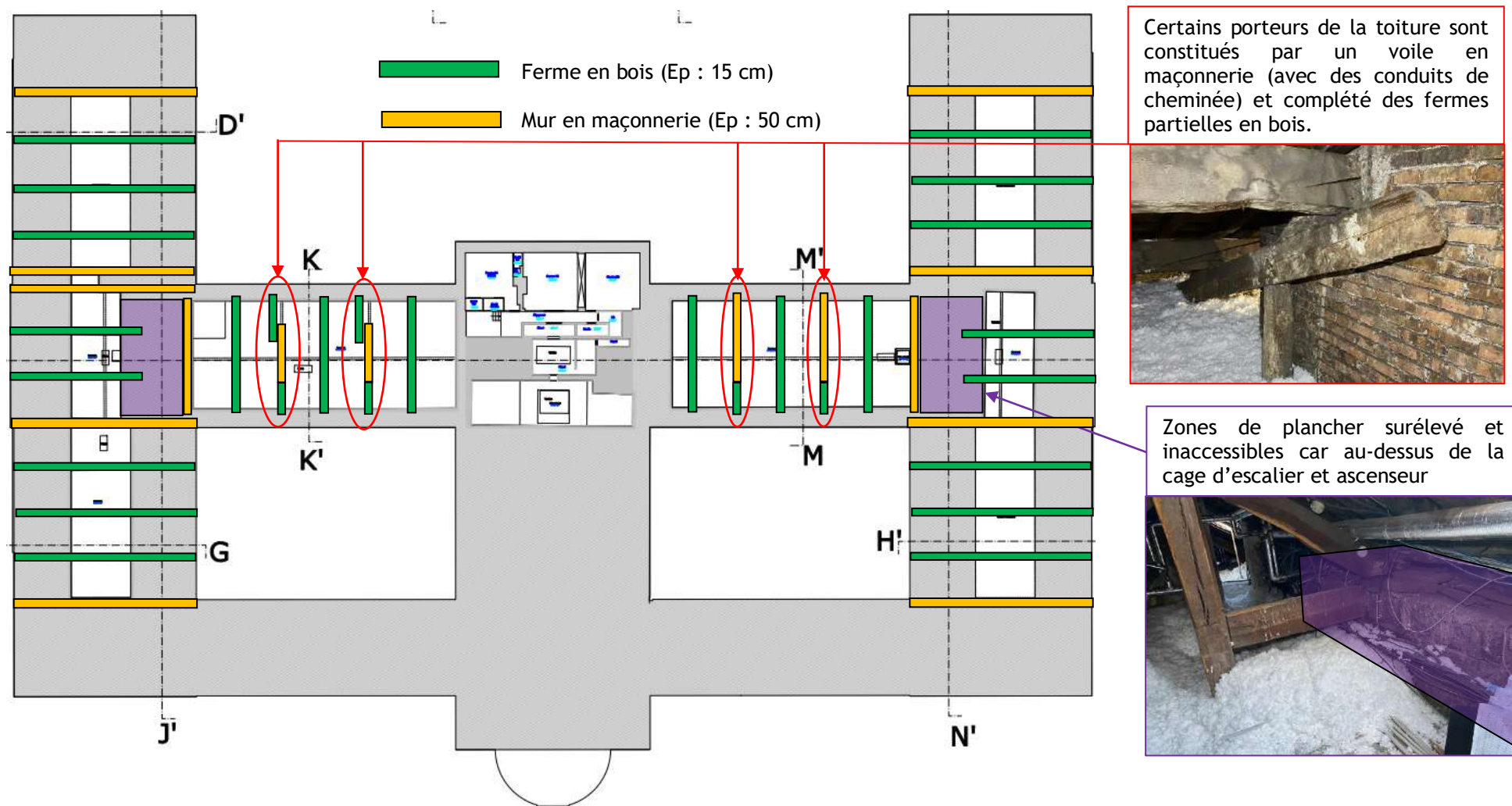


Figure 5 - Principe structurel sur fond de plan des combles géomètre - Vue de dessus

#### Solivages :

Les planchers bas des combles sont constitués de solives bois portant sur les entrails des fermes en bois et sur les murs en maçonneries (excepté dans les zones avec trémie).

Les assemblages entre les joues des entrails et les solives semblent être réalisés en tenon mortaise.

#### Espacement des fermes :

Les fermes et murs de maçonnerie sont espacés de 3,3 mètres en moyenne (variable entre 3,1 m et 3,6 m).

Les murs en maçonneries de pierre correspondent aux souches de cheminées visibles depuis l'extérieur du bâtiment (en toiture).

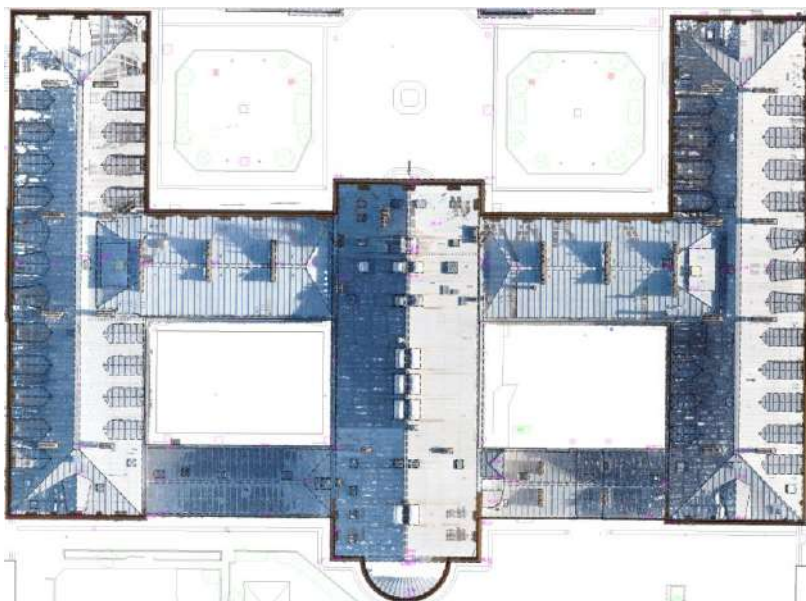


Figure 6 - Vue des souches de cheminées - Visuel de toiture géomètre



Figure 7 - Porteur composé d'une partie maçonnée et d'une ferme partiel (en vert) - Combles zone I

## 5. CHOIX DE PRESENTATION

---

### 5.1 Nomenclature des sondages

- R000 : Relevé radar (suivi d'un numéro unique)
- SX : Sondage destructif dans l'ailes S (parallèle à la rue Sèvre)
- DX : Sondage destructif dans l'ailes D (parallèle à la rue Duroc)
- IX : Sondage destructif dans la zone centrale I (parallèle au Boulevard des Invalides)

### 5.2 Abréviations utilisées

- BBM : Blocs de béton manufacturé (exemple : parpaing)
- Ø : Diamètre
- Esp : Espacement
- RDC : Niveau rez-de-chaussée
- R+1 : Etage 1
- R+2 : Etage 2
- R+3 : Etage 3
- PB : Plancher bas (le sol)
- PH : Plancher haut (le plafond)

### 5.3 Définition des résultats

- Dimensions solivages
  - Entre-axe : distance entre le milieu des largeurs de deux solives
  - Portée max : la plus grande des distances entre les entrants des fermes de la zone (cas sécuritaire)
- Dimensions entrants
  - Largeur de portée : distance moyenne entre les entrants + largeur de l'entrant
  - Portée : distance mesurée sur coupe géomètre des combles

### 5.4 Origine des résultats

Dans les tableaux des éléments structuraux, la couleur d'un résultat renseigne sur la méthode qui a permis de le déterminer :

- En **bleu**, résultat issu de l'analyse des documents d'archives (ou plan géomètre pour les dimensions)
- En **violet**, résultat issu des relevés par radar
- En **vert**, résultat issu de relevé direct (visuel, mètre ou laser-mètre, pied à coulisse)

Si un résultat est issu de la combinaison de plusieurs de ces méthodes, il prend la couleur de la méthode la plus fiable. Soit, dans l'ordre de la méthode la moins fiable à la plus fiable :

- **Analyse documents d'archives**
- **Relevé radar**
- **Relevé direct**

## 6. RESULTATS DES RECONNAISSANCES STRUCTURELLES

### 6.1 Localisation des investigations

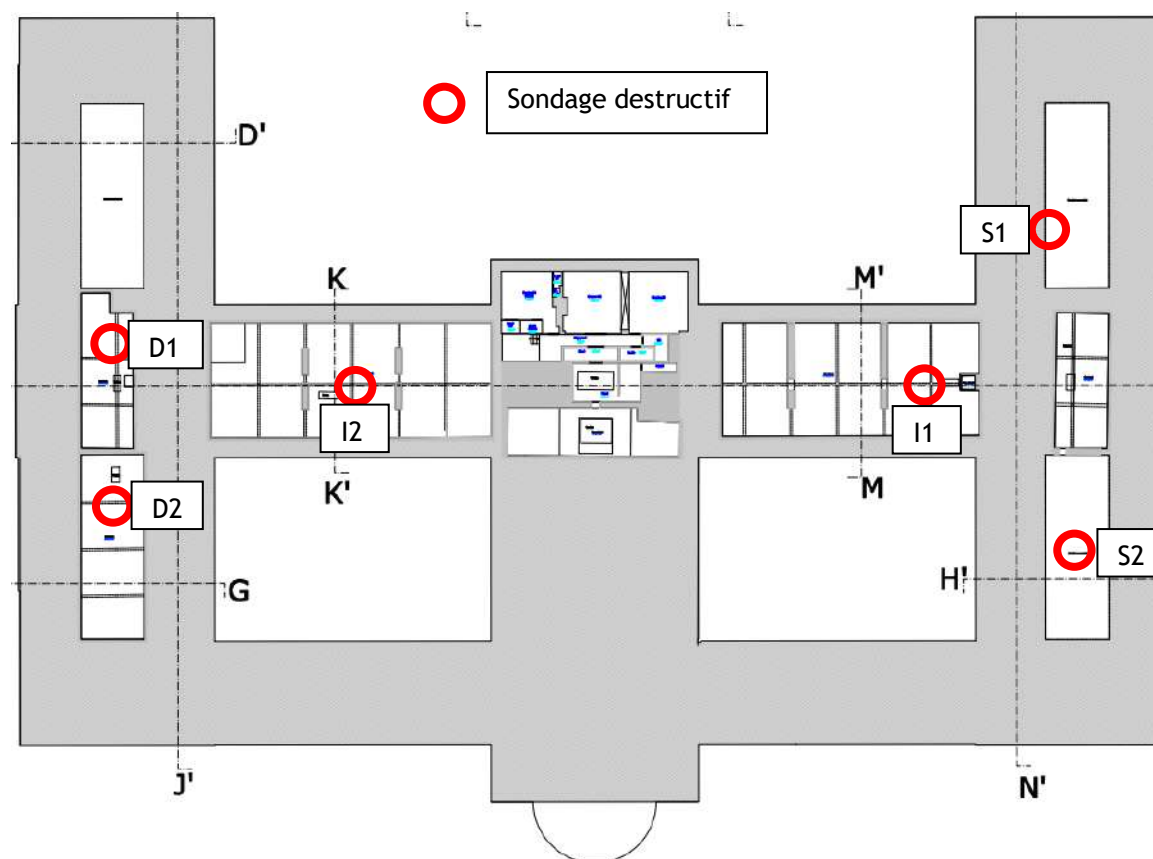


Figure 8 - Localisation des investigations sur fond de plan géomètre des combles (PB combles / PH R+3)

## 6.2 Relevé dimensionnel de la charpente

### 6.2.1 Fermes Zone I (Bâtiment central reliant les deux ailes)

0 : Localisation des fermes de la zone I, sur le plan des principes structurels --->

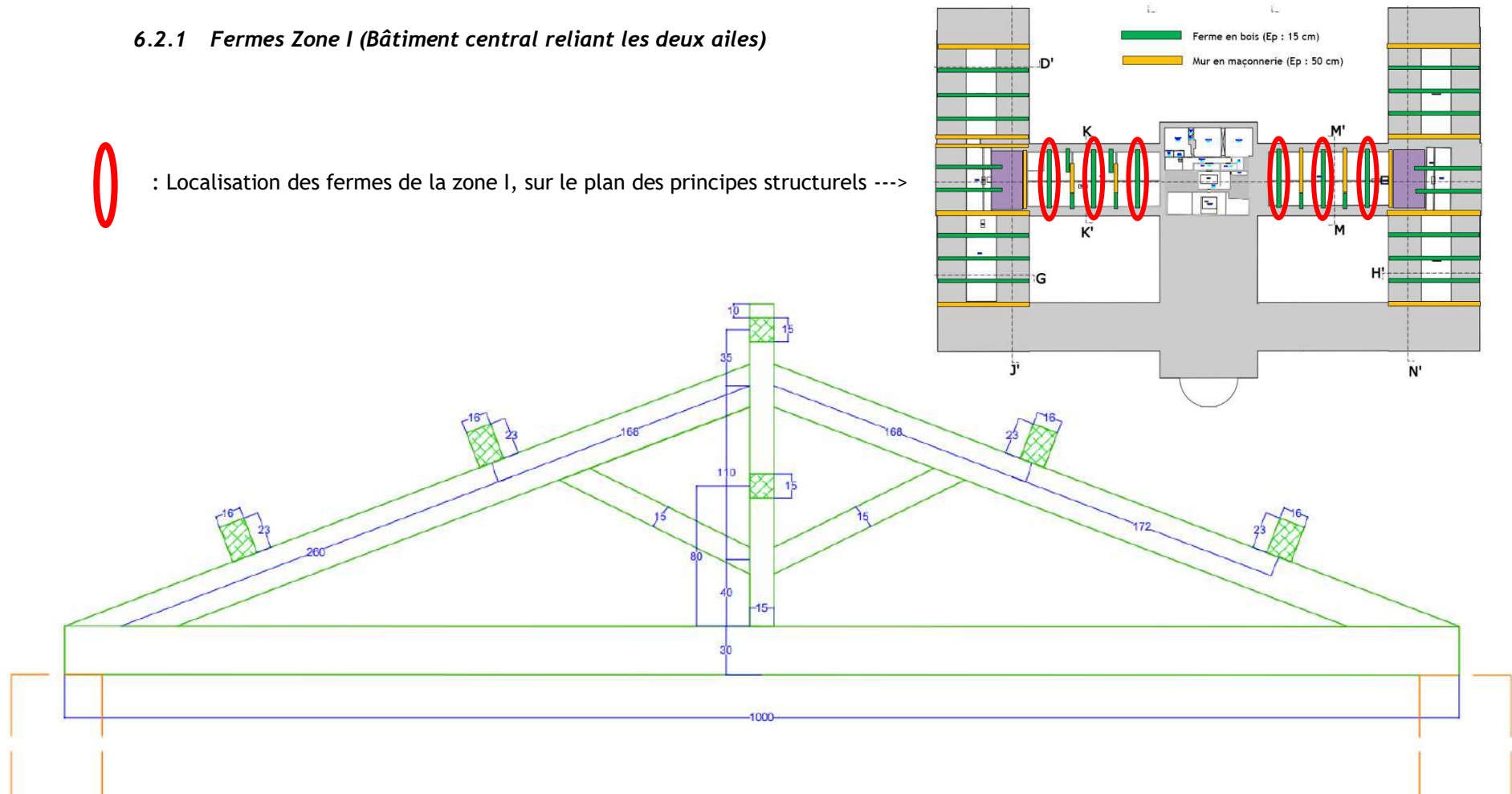



Figure 9 - Schéma type d'une ferme zone I - Dimensions en cm

### 6.2.2 Ferme aile (S et D) - partie courante

 : Localisation des fermes en partie courante des zones S et D, sur le plan des principes structurels --->

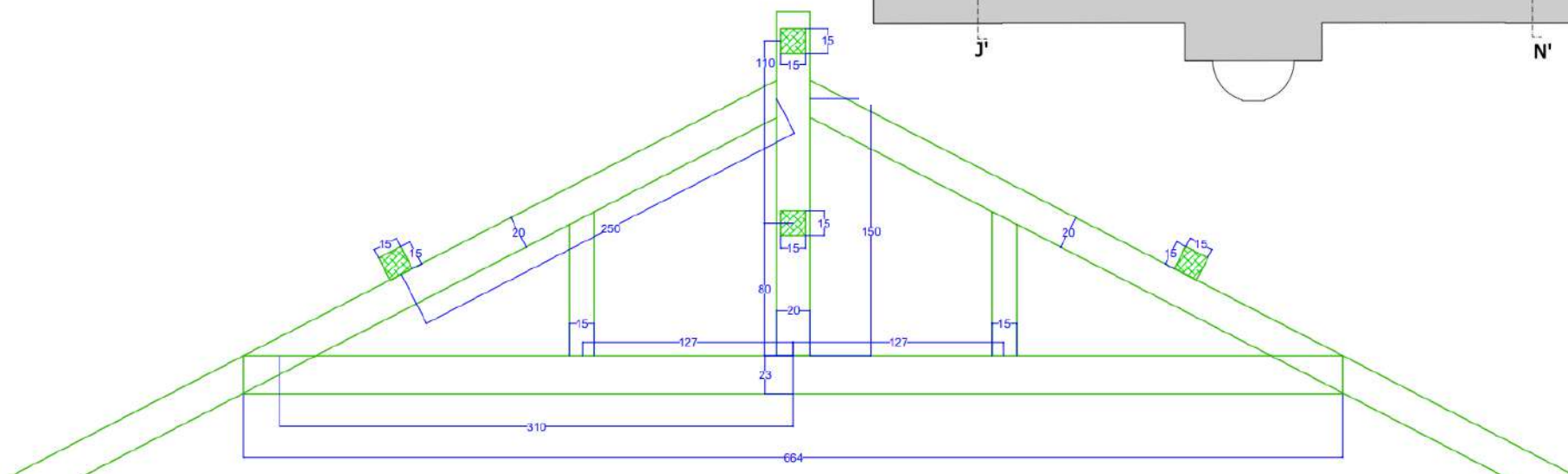
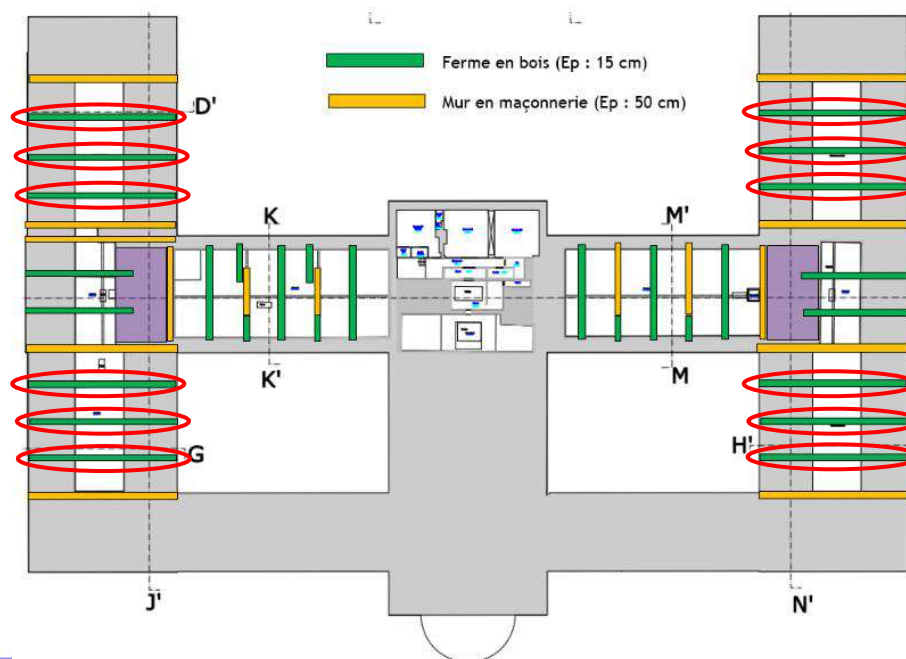


Figure 10 - Schéma type d'une ferme dans les ailes (S et D) - Dimensions en cm

### 6.2.1 Ferme aile (S et D) - partie centrale

○ : Localisation des fermes en partie centrale des zones S et D,  
sur le plan des principes structuraux --->

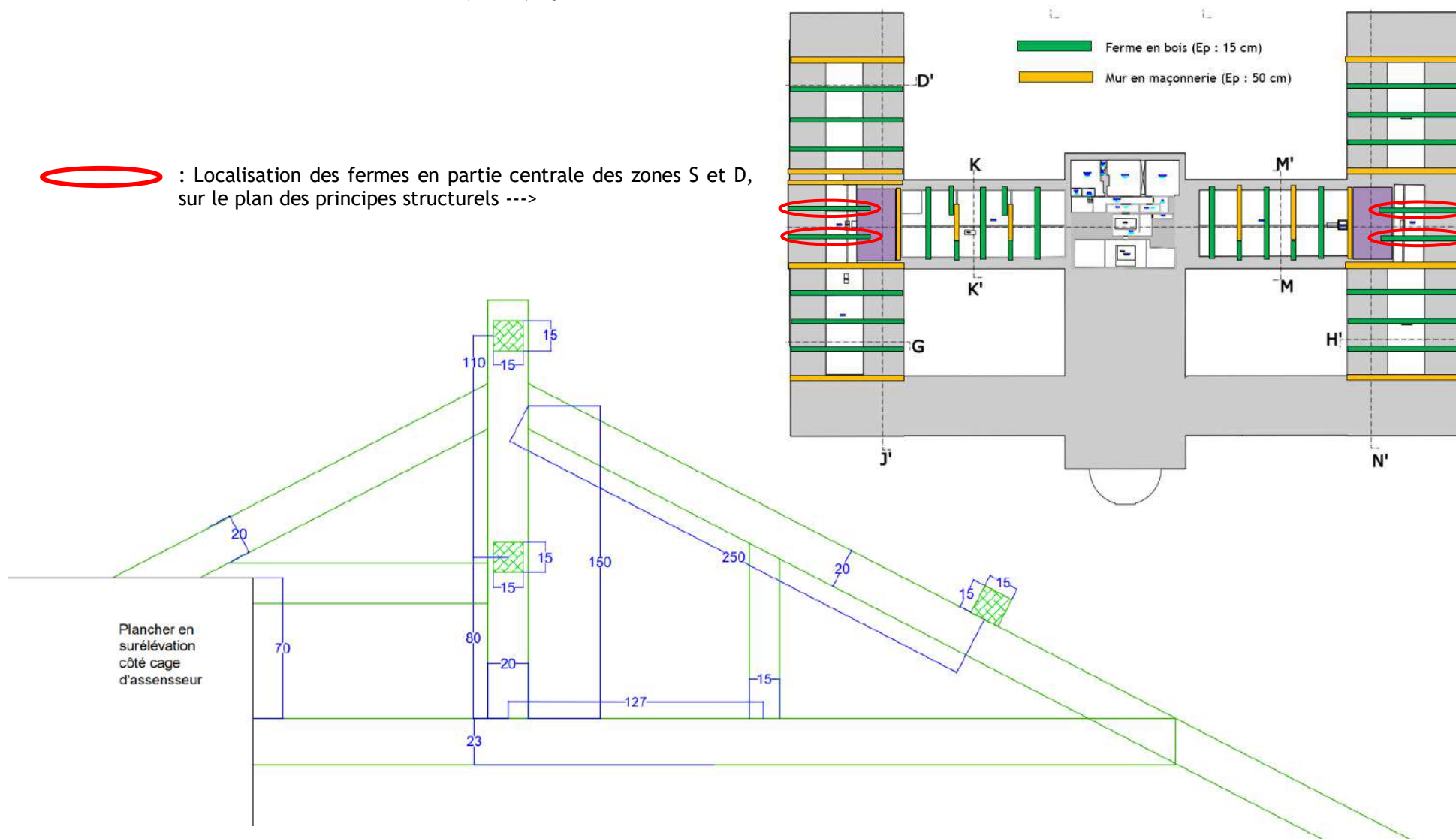


Figure 11 - Schéma type d'une ferme dans la partie centrale des ailes S et D - Dimensions en cm

### 6.2.2 Couverture

Le complexe de toiture reposant sur les pannes semble être homogène sur toutes les zones inspectées du bâtiment.

Une couverture en zinc est posée sur un voligeage en bois fixé dans les chevrons.

Volige :

- Epaisseur = 1 cm

Chevron :



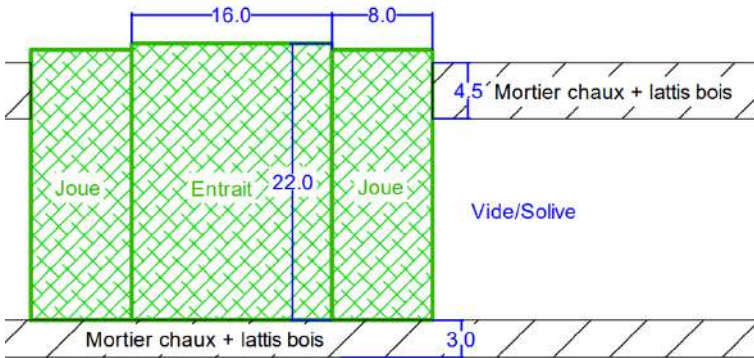
- Hauteur moyenne = 9 cm
- Largeur moyenne = 9 cm
- Entre-axe moyen = 39 cm



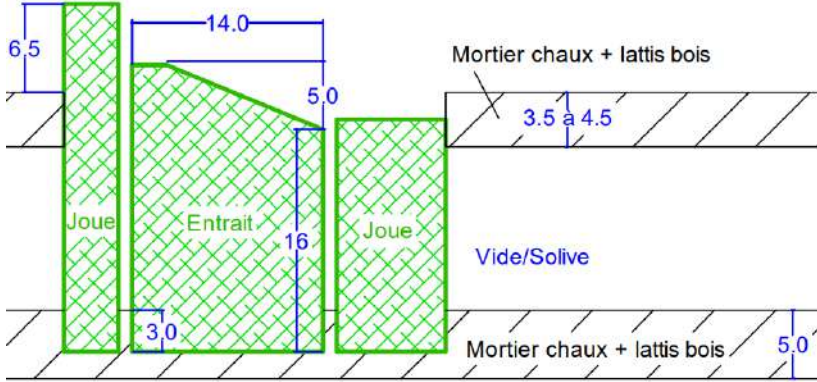




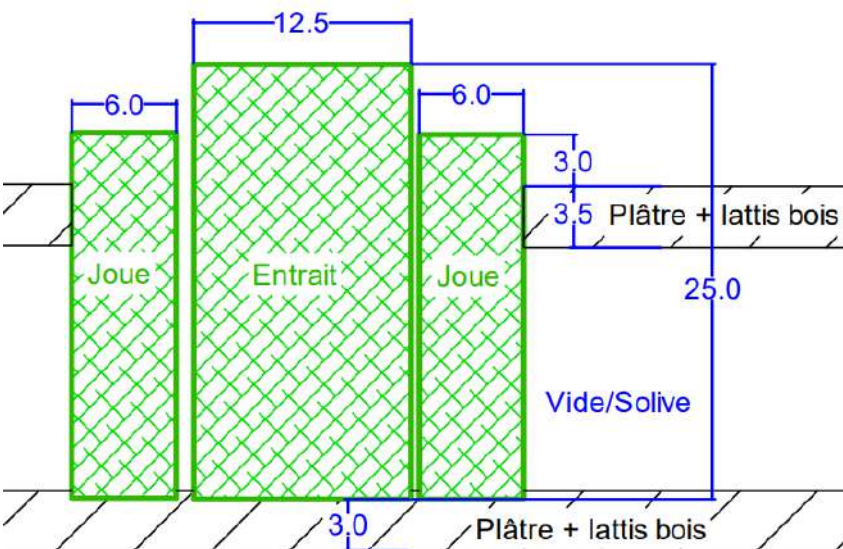
Figure 12 - Chevrons et voliges - Depuis les combles de l'aile S



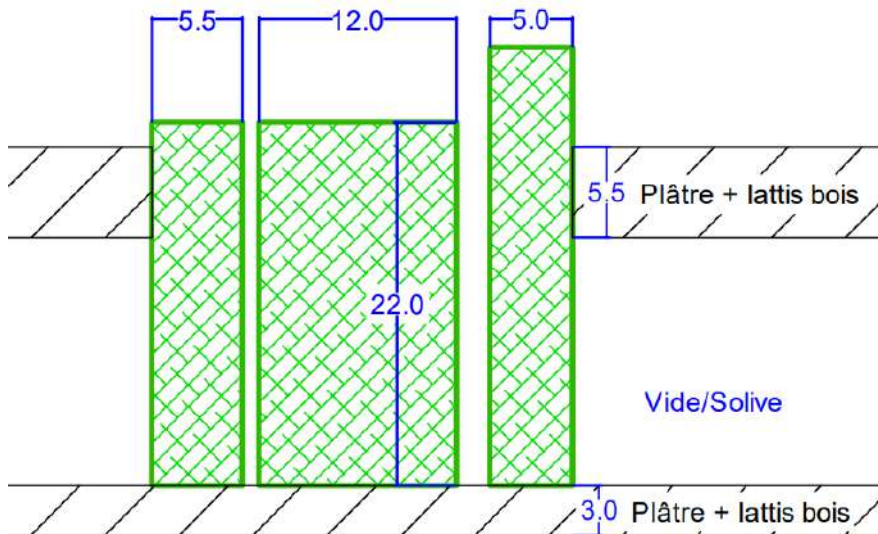
## 6.3 Reconnaissance des entrails

### 6.3.1 Sondages dans les ailes S et D




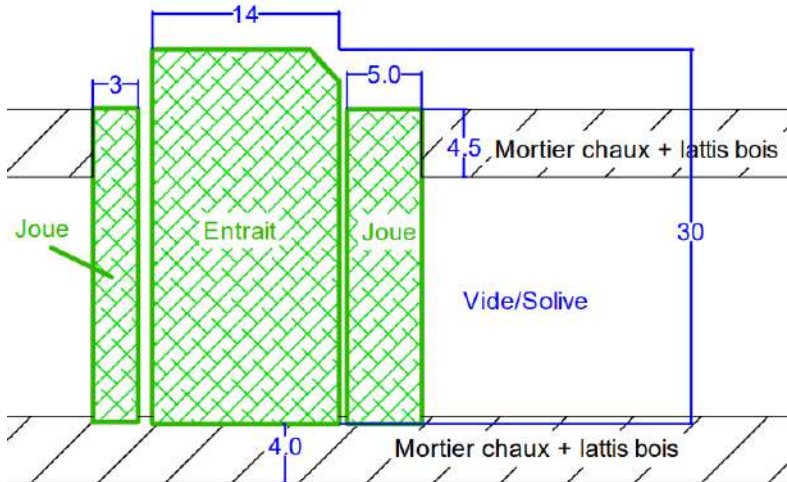
Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Entrait Bois - S1 - PH R+3	 		<p>Largeur : 160 mm Hauteur : 220 mm</p> <p>Largeur de portée : 3,5 m Portée : 6,8 m</p> <p>Ep du lattes bois + mortier de chaux en sous-face : 3 cm</p> <p>Ep du lattes bois + mortier de chaux au-dessus des solives : 4,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent</p> <p>Le lattes est porté par les solives perpendiculaires à l'entrail.</p>



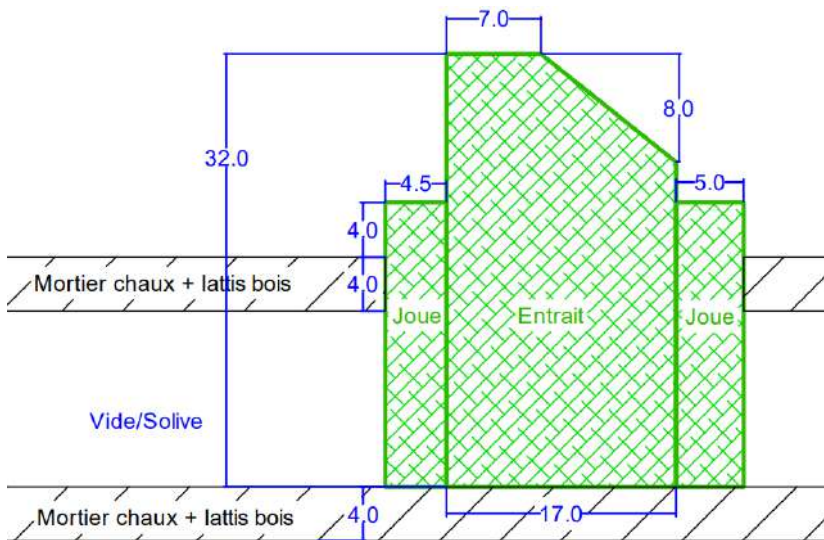
Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarque
Entrait Bois - S2 - PH R+3	 		<p>Largeur : 140 mm Hauteur : 210 mm</p> <p>Largeur de portée : 3,45 m Portée : 6,8 m</p> <p>Épaisseur du lattis bois + mortier de chaux en sous-face : 2 cm</p> <p>Ep du lattis bois + mortier de chaux au-dessus des solives : 3,5 à 4,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent.</p> <p>Le lattis est porté par les solives perpendiculaires à l'entrain.</p>

Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Entrait Bois - D1 - PH R+3	 		<p>Largeur : 125 mm Hauteur : 250 mm</p> <p>Largeur de portée : 3,3 m Portée : 6,8 m</p> <p>Épaisseur du lattes bois + plâtre en sous-face : 3 cm</p> <p>Ep du lattes bois + mortier de chaux au-dessus des solives : 3,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent.</p> <p>Le lattes est porté par les solives perpendiculaires à l'entrain.</p>

Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Entrait Bois - D2 - PH R+3	 		<p>Largeur : 120 mm Hauteur : 220 mm</p> <p>Largeur de portée : 3,4 m Portée : 6,8 m</p> <p>Epaisseur du lattes bois + plâtre en sous-face : 3 cm</p> <p>Ep du lattes bois + mortier de chaux au-dessus des solives : 5,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent.</p> <p>Le lattes est porté par les solives perpendiculaires à l'entrain.</p>



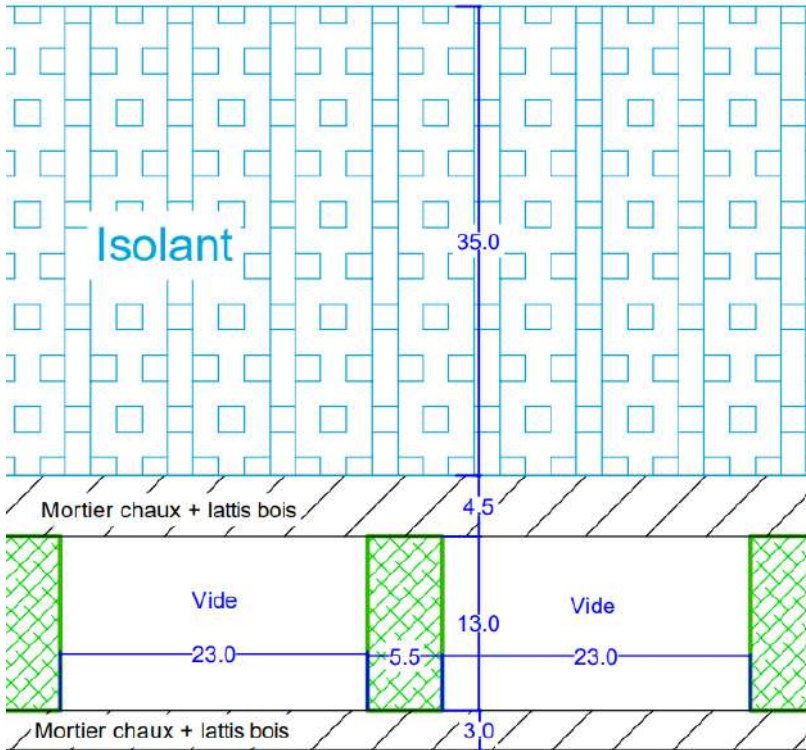
### 6.3.2 Sondages dans la partie centrale I



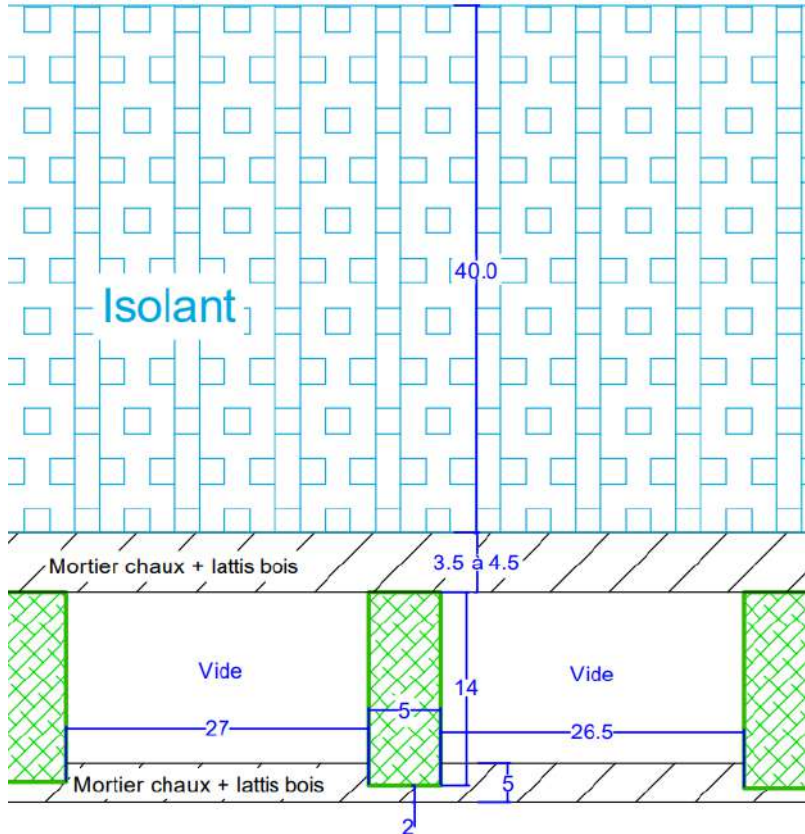
Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Entrait Bois - I1 - PH R+3	  		<p>Largeur : 140 mm Hauteur : 300 mm</p> <p>Largeur de portée : 3,4 m Portée : 9,9 m</p> <p>Epaisseur du lattes bois + mortier de chaux en sous-face : 4 cm</p> <p>Ep du lattes bois + mortier de chaux au-dessus des solives : 4,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent.</p> <p>Le lattes est porté par les solives perpendiculaires à l'entrait.</p>



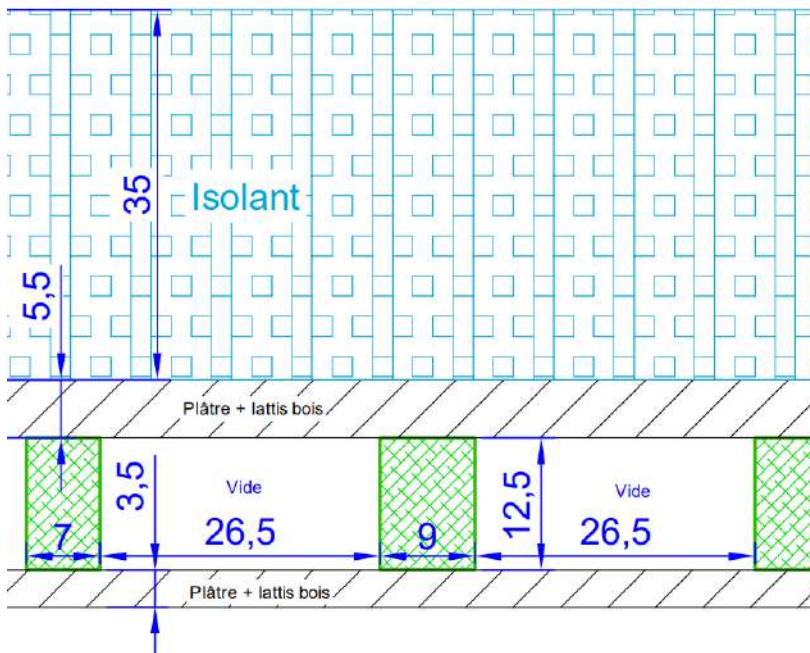
Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Entrait Bois - I2 - PH R+3	 		<p>Largeur : 17,0 mm Hauteur : 320 mm</p> <p>Largeur de portée : 3,3 m Portée : 9,9 m</p> <p>Epaisseur du latis bois + mortier de chaux en sous-face : 4 cm</p> <p>Ep du latis bois + mortier de chaux au-dessus des solives : 4 cm</p> <p>Traces noires en sous-face de l'entrail.</p> <p>Le latis est porté par les solives perpendiculaires à l'entrail.</p>



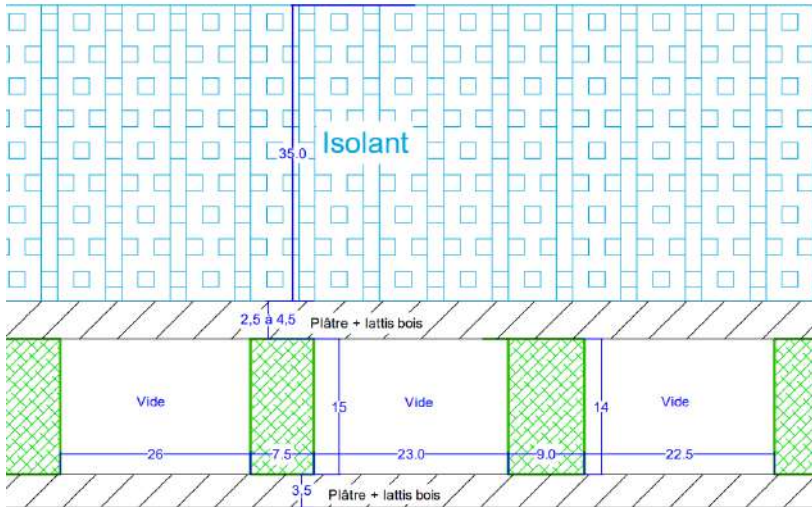
## 6.4 Reconnaissances des solivages

### 6.4.1 Sondages dans les ailes S et D



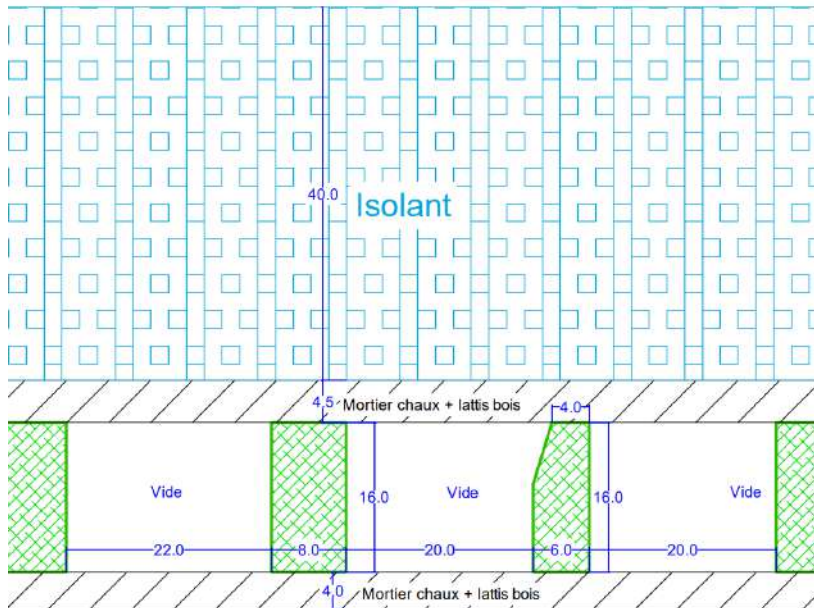
Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Solivage Bois - S1 - PH R+3	 		<p>Largeur moyenne : 55 mm Hauteur moyenne : 130 mm</p> <p>Entre-axe moyen : <math>230 + 55 = 285</math> mm Portée max : 3,4 m</p> <p>Ep isolant type ouate de cellulose : 35 cm</p> <p>Epaisseur du lattes bois + mortier de chaux au-dessus : 4,5 cm Epaisseur du lattes bois + mortier de chaux en sous-face : 3 cm</p> <p>Bois en bon état apparent</p>



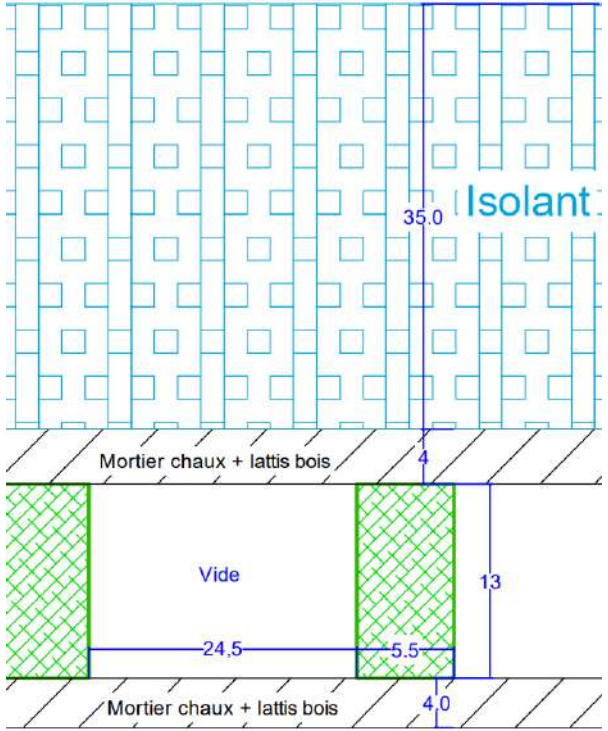

Elément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Solivage Bois - S2 - PH R+3	 	 <p>Isolant</p> <p>Mortier chaux + lattis bois</p> <p>Vide</p> <p>Mortier chaux + lattis bois</p> <p>40.0</p> <p>3.5 à 4.5</p> <p>14</p> <p>5</p> <p>27</p> <p>26.5</p> <p>5</p> <p>2</p>	<p>Largeur moyenne : 50 mm Hauteur moyenne : 140 mm</p> <p>Entre-axe moyen : <math>270 + 50 = 330</math> mm Portée max : 3,4 m</p> <p>Ep isolant type ouate de cellulose : 40 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + mortier de chaux au-dessus : 3,5 à 4,5 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + mortier de chaux en sous-face : 5 cm (dont 2cm sous solive)</p> <p>Bois en bon état apparent</p>

Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Solivage Bois - D1 - PH R+3	 		<p>Largeur moyenne : 80 mm Hauteur moyenne : 125 mm</p> <p>Entre-axe moyen : <math>265 + 80 = 345</math> mm Portée max : 3,2 m</p> <p>Ep isolant type ouate de cellulose : 35 cm</p> <p>Epaisseur du lattes bois + plâtre au-dessus : 5,5 cm</p> <p>Epaisseur du lattes bois + plâtre en sous-face : 3,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent</p>

Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Solivage Bois - D2 - PH R+3	 		<p>Largeur moyenne : 82 mm Hauteur moyenne : 145 mm</p> <p>Entre-axe moyen : <math>238 + 82 = 320</math> mm Portée max : 3,4 m</p> <p>Ep isolant type ouate de cellulose : 35 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + plâtre au-dessus : variable 2,5 à 4,5 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + plâtre en sous-face : 3,5 cm</p> <p>Bois en bon état apparent</p>

#### 6.4.2 Sondages dans la partie centrale I

Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Solivage Bois - I1 - PH R+3	 		<p>Largeur moyenne : 70 mm Hauteur moyenne : 160 mm</p> <p>Entre-axe moyen : <math>210 + 70 = 280</math> mm Portée : 3,4 m</p> <p>Ep isolant type ouate de cellulose : 40 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + mortier de chaux au-dessus : 4,5 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + mortier de chaux en sous-face : 4 cm</p> <p>Bois en bon état apparent</p>

Élément sondé	Photos	Coupe (cm)	Dimensions / Remarques
Solivage Bois - I2 - PH R+3	 		<p>Largeur moyenne : 55 mm Hauteur moyenne : 130 mm</p> <p>Entre-axe moyen : <math>245 + 55 = 300</math> mm Portée : 3,1 m</p> <p>Ep isolant type ouate de cellulose : 35 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + mortier de chaux au-dessus : 4 cm</p> <p>Epaisseur du lattis bois + mortier de chaux en sous-face : 4 cm</p> <p>Traces noires en sous-face du lattis bois :</p> 

## 7. CALCULS DE CAPACITE PORTANTE

### 7.1 Hypothèses de calcul

#### 7.1.1 Références

Les éléments ont été recalculés avec les normes des Eurocodes :

- Eurocode 0, NF EN 1990 : Bases de calcul des structures
- Eurocode 1, NF EN 1991 : Actions sur les structures
- Eurocode 5, NF EN 1995 : Conception et calcul des structures en bois

#### 7.1.2 Matériaux Bois

Le bois est considéré de classe D18 pour les solives et D24 pour les entrails des fermes.

Une précédente étude menée par Structureo en novembre 2023 sur un plancher bois de l'INJA (STO-23-318-RAPP-A-INJA-Diagnostic Plancher Bois-Paris VII) a déterminé l'essence de bois comme étant du **chêne** par analyse en laboratoire.

Symbole	Désignation	Unité	D18	D24
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	18	24
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm <sup>2</sup>	11	14
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction transversale	N/mm <sup>2</sup>	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm <sup>2</sup>	18	21
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression transversale	N/mm <sup>2</sup>	7,5	7,8
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm <sup>2</sup>	3,4	4,0
$E_{0,mean}$	Module moyen d'élasticité axiale	kN/mm <sup>2</sup>	9,5	10
$E_{0,05}$	Module élasticité axial 5 <sup>ème</sup> percentile	kN/mm <sup>2</sup>	8	8,5
$E_{90,mean}$	Module moyen d'élasticité transversale	kN/mm <sup>2</sup>	0,63	0,67
$G_{mean}$	Module moyen de cisaillement	kN/mm <sup>2</sup>	0,59	0,62
$\rho_k$	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	475	485
$\rho_{mean}$	Masse volumique moyenne	kg/m <sup>3</sup>	570	580

### 7.1.3 Modèle de calcul

Les solives sont considérées isostatiques (sur deux appuis articulés).

Les fermes ont été modélisées sur un logiciel de calcul aux éléments finis : Autodesk Robot Structural Analysis (RSA) dans le but d'obtenir les sollicitations des entrants.

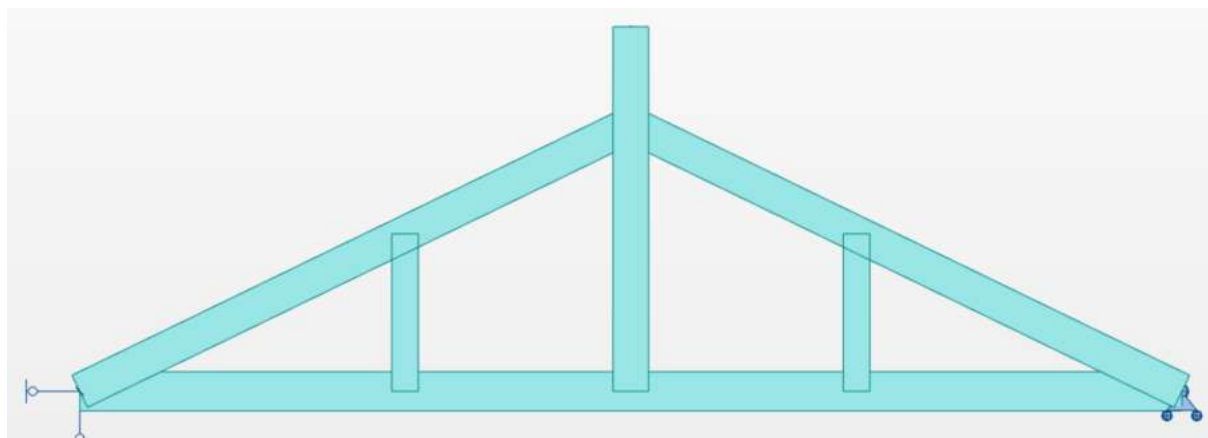


Figure 13 - Modèle RSA des fermes présentes dans les Ailes S et D

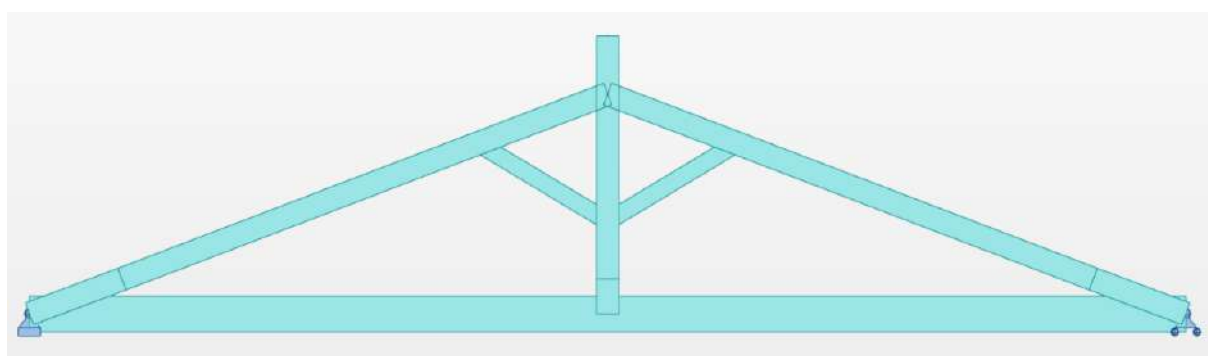


Figure 14 - Modèle RSA des fermes présentes dans la zone I (centrale)

Les barres sont toutes articulées les unes par rapport aux autres. Un appui est glissant, permettant de mettre l'entrait en traction.

*Nota : Les arbalétriers qui portent l'entrait retroussé ne rentrent pas dans l'objet de cette mission. Ainsi, les arbalétriers des fermes n'ont pas été vérifiés par le calcul.*

### 7.1.4 Charges

#### 7.1.4.1 Charges permanentes - G

Les poids considérés sont :

Matériaux	Poids volumique
Plâtre	11 kN/m <sup>3</sup>
Mortier de chaux	15 kN/m <sup>3</sup>
Isolant type ouate de cellulose	1 kN/m <sup>3</sup>
Bois	6 kN/m <sup>3</sup>

Charges additionnelles	Poids surfacique
Réseaux sur plancher des combles	0,5 kN/m <sup>2</sup>
Couverture en Zinc	0,3 kN/m <sup>2</sup>

#### 7.1.4.2 Charges d'exploitations - Q

Catégorie d'usage	Charge d'exploitation (kN/m <sup>2</sup> )
H : Charge d'entretien (appliqué aux plancher des combles)	0,8

#### 7.1.4.3 Charge de neige - S

##### - Charge de neige au sol :

Le bâtiment est situé en région A1, à une altitude inférieure à 200m, soit une charge de neige sur le sol  $s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$ .

##### - Coefficient de forme :

La toiture est considérée comme une toiture-terrasse avec une pente inférieure à 30, soit  $\mu_1 = 0,8$

##### - Charge de neige finale en toiture :

La charge finale due à la neige est calculée selon l'expression suivante :

$$S = s_k * \mu_k * C_e * C_t$$

Où  $C_e$  et  $C_t$ , les coefficients d'exposition et thermique, sont considérés égaux à 1.

$$\text{Soit } S = 0,36 \text{ kNm}^2$$

#### 7.1.4.4 Charge de vent - W

##### - Vitesse de vent de base :

Le bâtiment est situé en région 2, soit une vitesse de référence  $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$ .

##### - Catégorie de terrain :

Le bâtiment rentre dans la catégorie de terrain IV, soit  $z_0 = 1\text{m}$ , et  $z_{min} = 15\text{m}$ .

Les coefficients de direction et de saison sont pris égaux à 1.

##### - Vitesse moyenne :

La vitesse moyenne est égale à

$$V_{m,f}(z) = C_r(z) \times C_0(z) \times V_b = kr \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \times C_0(z) \times V_b = 13,3\text{m/s}$$

- Avec  $C_0$  le coefficient orographique pris égal à 1.
- Avec  $C_r$ , le coefficient de rugosité égale à 0,767

Et  $V_m = 18,41 \text{ m/s}$

- **Pression dynamique de pointe :**

Le bâtiment ne dépasse pas les 15 m, soit  $C_e = 1,45$

Soit  $q_p = 0,30 \text{ kN/m}^2$

- **Pression aérodynamique de vent en toiture :**

La charge de vent (charge descendante, de surpression) sur la toiture est par convention la charge positive sur cette face du bâtiment.

La pression aérodynamique de pointe agissant sur la toiture est donnée par l'expression suivante :

$$W_e(z) = q_p(z_e) * C_{pnet} = q_p(z_e) * (C_{pe} - C_{pi})$$

Pour une toiture à deux versants à  $30^\circ$  de pente, la valeur de  $C_{pe}$  pour la surpression maximal est limitée à :  $C_{pe} = + 0,7$

La valeur de pression de vent retenue en toiture est donc de :

$$W = + 0,21 \text{ kN/m}^2$$

#### 7.1.5 Combinaison de charge

Pour les calculs, il a été considéré les combinaisons de charge aux ELU :

- 1,35G
- 1,35G + 1,5Q
- 1,35G + 1,5S
- 1,35G + 1,5Q + 0,75S
- 1,35G + 1,5Q + 0,75S + 0,9 W

Avec :

G : Charges permanentes appliquées à la structure

Q : Charges d'exploitation appliquées à la structure

S : Charges de neige

W : Charges de vent

## 7.2 Vérifications structurelles des solivages

Les planchers des combles sont constitués de solives. Les solives sont portées par les entrails des fermes. Ainsi, ces deux types d'éléments ont été recalculés à froid dans la présente partie.

### 7.2.1 Solivages

Le tableau ci-dessous présente les taux de sollicitation obtenus pour les solivages tel que relevés dans chacun des 6 sondages.

Les résultats présentent une variabilité en fonction du sondage. Il semble que ces variations s'expliquent principalement par les techniques de construction qui n'était pas très régulières à l'époque de la construction.

	S1	S2	D1	D2	I1	I2
Taux de travail à l'ELU (%)	91	101	67	48	53	80

### 7.2.2 Solive médiane

Dans le but d'appréhender les solivages des combles d'un point de vue plus global, le calcul est fait sur une solive fictive avec les caractéristiques médianes relevées dans les six sondages.

<b>Géométrie</b>		
Largeur :	63	mm
Hauteur :	135	mm
Portée :	3,40	m
Entraxe horiz. :	0,305	m
Pente toiture:	0	°
	22,0	%
Longueur de deversement	3,40	m
Retrait :	NC	
<b>Matériau :</b>		
Classe de résistance :	D18	
Classe de service :	classe 1	
$f_{m,k}$ =	18	Mpa
$f_{v,k}$ =	3,5	Mpa
$\gamma_m$ =	1,3	
$\rho_{mean}$ =	570	kg/m3
$k_{def}$ =	0,6	
$E_{m,0}$ =	9500	Mpa
$E_{m,\infty}$ =	5937,5	Mpa

VERIFICATION			
3. VERIFICATION ELU			79%

Figure 15 - Hypothèses et résultats du calcul de la solive médiane

Selon les hypothèses présentées dans la partie §7.1 - Hypothèses de calcul, les solivages des combles sondées sont globalement bien dimensionnés pour une charge d'entretien à 0,8 kN/m<sup>2</sup>.

### 7.2.3 Section minimale

L'équarrissage minimal d'une solive ne dépassant pas les 100% de sollicitation a été déterminé par calcul itératif, en utilisant comme point de départ les hypothèses de calcul de la solive médiane et par réductions successives de la section de la solive (largeur et hauteur).

Finalement la réduction maximale est de 8 mm sur la hauteur et de 8 mm sur la largeur de la solive médiane.

Géométrie		
Largeur :	55	mm
Hauteur :	127	mm
Portée :	3,40	m
Entraxe horiz. :	0,305	m
Pente toiture:	0	°
	22,0	%
Longueur de deversement	3,40	m

VERIFICATION				
3. VERIFICATION ELU				100%

Figure 16 - Vérification de la section minimale admissible

Selon les hypothèses présentées dans la partie §7.1 - Hypothèses de calcul, la section minimale de la solive médiane est de : lg55 x ht127 mm<sup>2</sup>.

### 7.3 Vérifications structurelles des entrails

#### 7.3.1 Entrails des fermes des Ailes (S et D)

Les fermes des ailes S et D sont similaires, leur vérifications sont rassemblées dans cette présente partie par le calcul avec la section minimale relevée (D2) : lg120 x ht220 mm<sup>2</sup>.

Les sollicitations N : effort Normal de traction et My : Moment fléchissant sont obtenues avec le modèle RSA (Robot).

	G	Q	S	W+	W-		G	Q	S	W+
Nmax (kN)	-36,84	-10,54	-5,9	-3,4	0	Mymax (kNm)	7,50	2,40	0,89	0,52
Contrainte normale de traction/compression (MPa)	-1,41	-0,40	-0,23	-0,13	0	Contrainte normale de flexion (Mpa)	7,02	2,25	0,83	0,49

Figure 17 - Sollicitations et contraintes maximales de l'entrait

Combinaisons								$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	fc,0,d	Verification
1,35	G							10,46	0,00	1,88	0,6	11,1	9,7	98%
1,35	G	1,5	Q					14,18	0,00	2,48	0,9	16,6	14,5	88%
1,35	G	1,5	Q	0,75	S			14,87	0,00	2,6503	0,9	16,6	14,5	93%
1,35	G	0	Q	1,5	S	0	W+	11,84	0,00	2,22	0,9	16,6	14,5	74%
1,35	G	1,5	Q	0,75	S	0,9	W+	15,35	0,00	2,77	1,1	20,3	17,8	78%

Figure 18 - Taux de travail de l'entrait en flexion composée en fonction des combinaisons de charges

Selon les hypothèses présentées dans la partie §7.1 - Hypothèses de calcul, les entrails dans les fermes des ailes (S et D) sont en limite de sollicitation aux ELU (98%).

### 7.3.2 Section minimale - Zones ailes (S et D)

L'équarrissage minimale d'un entrait ne dépassant pas les 100% de sollicitation a été déterminé par calcul itératif, en utilisant comme point de départ les hypothèses de calcul de l'entrait de section minimale et par réduction successive de la largeur et de la hauteur de l'entrait.

Combinaisons								$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	fc,0,d	Verification
1,35	G							10,64	0,00	1,91	0,6	11,1	9,7	100%
1,35	G	1,5	Q					14,43	0,00	2,52	0,9	16,6	14,5	90%
1,35	G	1,5	Q	0,75	S			15,13	0,00	2,6848	0,9	16,6	14,5	94%
1,35	G	0	Q	1,5	S	0	W+	12,05	0,00	2,25	0,9	16,6	14,5	75%
1,35	G	1,5	Q	0,75	S	0,9	W+	15,62	0,00	2,80	1,1	20,3	17,8	79%

Selon les hypothèses présentées dans la partie §7.1 - Hypothèses de calcul, l'entrait de section minimale peut admettre une perte de section maximale de 1 mm sur la hauteur et de 1 mm sur la largeur

Soit une section minimale de : lg119 x ht219 mm².

### 7.3.3 Entrants des fermes de la zone centrale I

Les fermes de la zone I sont similaires, leur vérification est rassemblée dans cette présente partie par le calcul avec la section minimale relevée (I1) : lg140 x ht300 mm<sup>2</sup>.

Les sollicitations N : effort Normal de traction et My : Moment fléchissant sont obtenues avec le modèle RSA (Robot).

	G	Q	S	W		G	Q	S	W
Nmax (kN)	-78,4	-21,96	-11,12	-6,5	Mymax (kNm)	17,30	6,50	1,17	0,68
Contrainte normale de traction/compression (MPa)	-1,87	-0,52	-0,26	-0,15	Contrainte normale de flexion (Mpa)	8,24	3,10	0,56	0,32

Figure 19 - Sollicitations et contraintes maximales de l'entrait

Combinaisons								$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	fc,0,d	Verification
1,35	G							11,12	0,00	2,52	0,6	11,1	9,7	107%
1,35	G	1,5	Q					15,76	0,00	3,30	0,9	16,6	14,5	100%
	G	1,5	Q	0,75	S			16,18	0,00	3,5029	0,9	16,6	14,5	103%
	G	0	Q	1,5	S	0	W+	11,96	0,00	2,92	0,9	16,6	14,5	76%
	G	1,5	Q	0,75	S	0,9	W+	16,47	0,00	3,64	1,1	20,3	17,8	85%

Figure 20 - Taux de travail de l'entrait en flexion composée en fonction des combinaisons de charges

Selon les hypothèses présentées dans la partie §7.1 - Hypothèses de calcul, les entrants dans les fermes de la partie centrale (Zone I) sont légèrement sursollicités (107%).

**Les fermes de la zone I n'admettent pas de réduction de section possible.**

## 8. DESORDRES RELEVES

---

### 8.1 Classification des désordres

L'ensemble des pathologies visibles sont relevées et classées par ordre de gravité suivant les principes du référentiel IQOA (Imagerie Qualité Ouvrage d'art) et sont caractérisées par cinq (5) classes, 1, 2, 2E, 3 et 3U, dont les définitions sont rassemblées ci-dessous :

- Classe 1 : partie d'ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant ;
- Classe 2 : partie d'ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence ;
- Classe 2E : partie d'ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé URGENT, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3 ;
- Classe 3 : partie d'ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation mais sans caractère d'urgence ;
- Classe 3U : partie d'ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation URGENTS liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.

Les travaux d'entretien spécialisé des classes 2 et 2E portent :

- Sur les équipements et les éléments de protection de la structure (peinture, étanchéité) ;
- Et sur les altérations très localisées et superficielles de la structure dues à son vieillissement (défauts mineurs).

## 8.2 Description

Le seul type de désordre rencontré est la présence de fissure dans le revêtement en sous-face du plancher des combles (PH R+3).

Le désordre est catégorisé en classe 2 (élément de protection présente un défaut).

Les fissures sont positionnées le long de la sous-face des entrails (ferme bois) dans les circulations.



Figure 21 - Fissure zone I (centrale) - Sondage I2 - PH R+3



Figure 22 - Fissure Aile D - Sondage D2 - PH R+3

### 8.3 Localisation

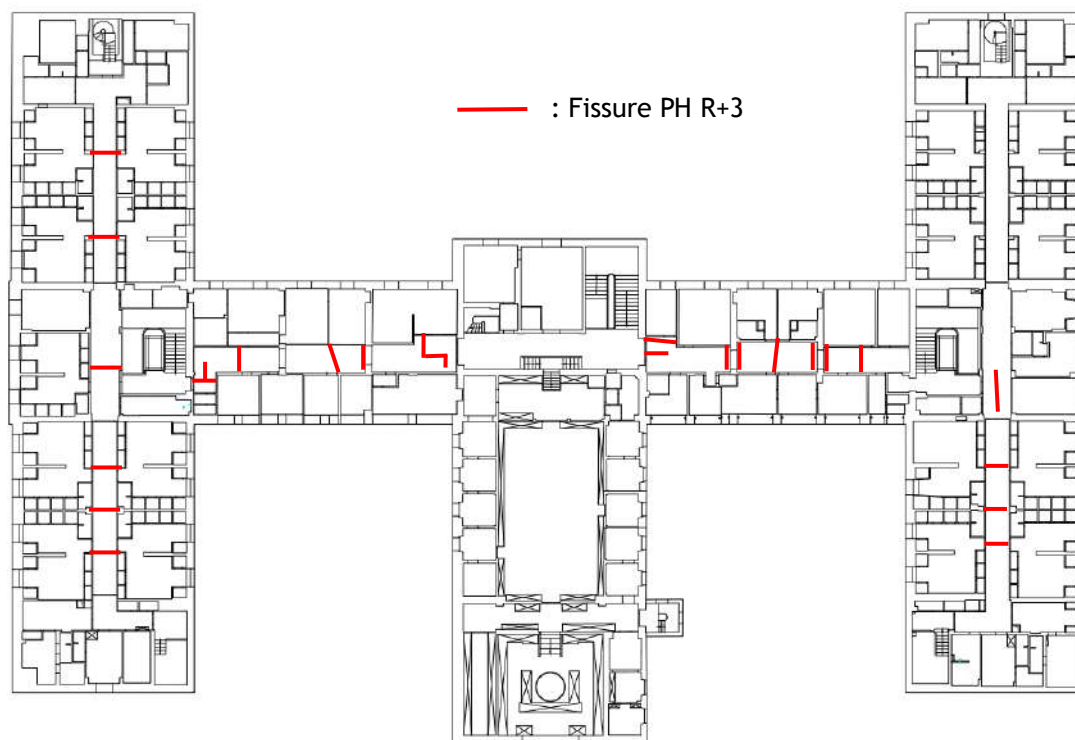


Figure 23 - Localisation des fissures au PH R+3 - Fond de plan géomètre

#### **8.4 Origine probable**

Il peut s'agir d'un fléchissement important des entrails.

Etant donné que ces charpentes ont probablement été posées vers 1840, le phénomène de fluage (augmentation de la déformation sous charge constante) a eu le temps de former des flèches importantes.

Ce phénomène est peut-être combiné à l'augmentation de la section des entrails dû à une augmentation de l'humidité du bois dans le passé.

Dans ces cas, les déformations ne remettent pas en cause la solidité des entrails.

#### **8.5 Préconisations**

La présence d'humidité permet le développement des champignons.

Il est préconisé de veiller à l'absence de fuite de la toiture et des réseaux présents dans les combles.

Les fissures présentes dans le pâtre/enduit de chaux, remet en cause la capacité coupe-feu de la protection. Il faut considérer ces désordres dans les calculs aux feu.

## 9. CONCLUSIONS

L'intervention réalisée par STRUCTUREO en avril 2024 à l'Institut national des jeunes aveugles (56 Bd des Invalides, 75007 Paris) permet d'obtenir les conclusions suivantes.

### 9.1 Principes structurels

Le bâtiment semble avoir été construit vers 1840.

Le plancher des combles est constitué de solives en bois enduites en surface et en sous-face. Les solives portent sur les entrails des fermes et sur les voiles en maçonneries.

Deux types de fermes en bois sont distinguées :

- Les fermes des ailes (Zones S et D), à entrail retoussé ;
- Les fermes de la zone centrale (Zone I).

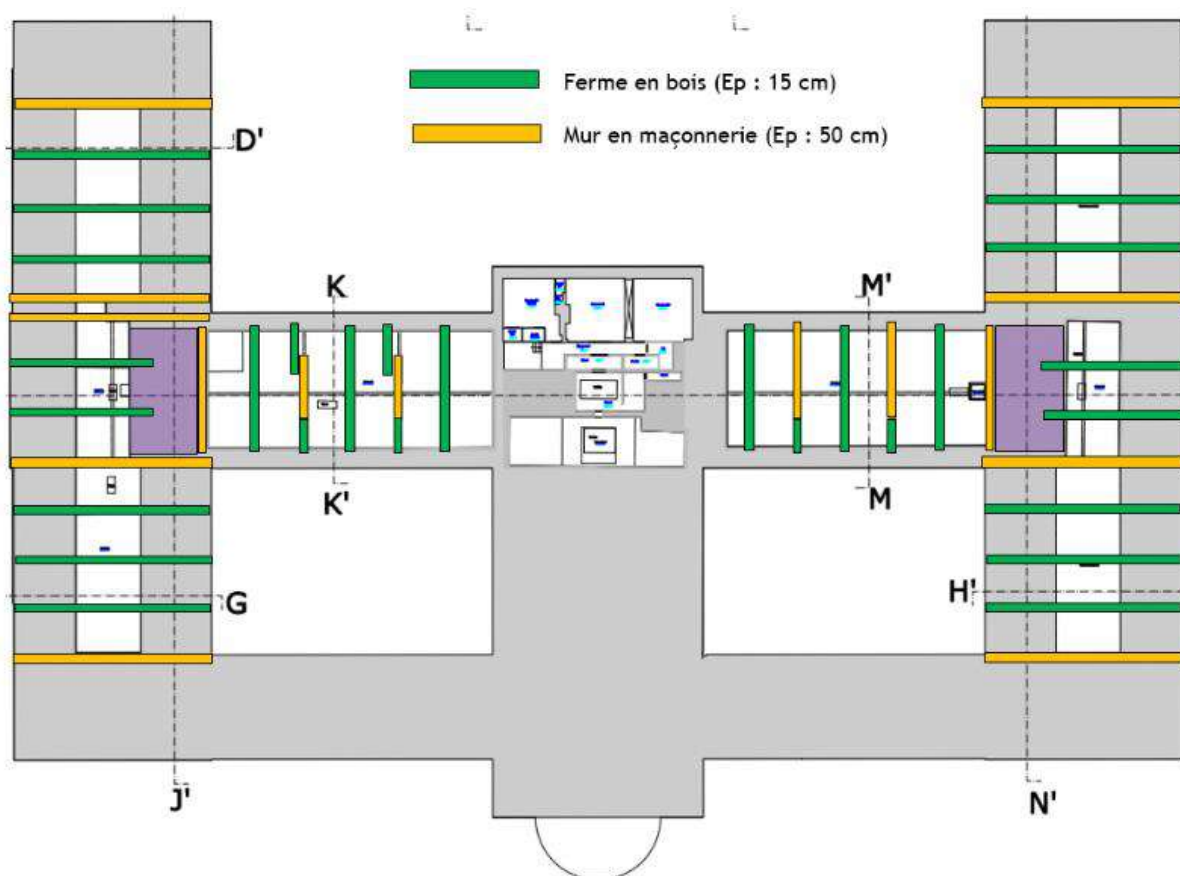


Figure 24 - Plan des principes structurels sur fond de plan géomètre des combles

### 9.2 Sections minimales

Selon les hypothèses présentées dans la partie §7.1 - Hypothèses de calcul et après calcul à froid aux ELU :

- La section minimale des solives est de :  $lg55 \times ht127 \text{ mm}^2$  ;
- La section minimale des entrails des fermes des ailes (S et D) de :  $lg119 \times ht219 \text{ mm}^2$  ;
- Les fermes de la zone I (centrale) n'admettent pas de réduction de section possible.

### 9.3 Préconisations

Des fissures sont visibles en sous-face du plancher des combles (PH R+3).

Il est préconisé de veiller à l'absence de fuite de la toiture et des réseaux présents dans les combles.

Plus de détails dans la partie §8 - Désordres relevés.

De plus, des tâches noires ont été observées en sous-face des solives et de l'entrait d'un sondage (I2). Ces traces peuvent correspondre à un champignon type *Chaetomium* spp.

Ainsi, dans le but d'assurer la pérennité de la structure, il est préconisé de réaliser des prélèvements et analyses laboratoires (mycologique et entomologique) des éléments en bois du bâtiment. Ceux-ci dans le but de définir un éventuel traitement.