



domaine national de Chambord



Agence
Maël de Quelen
Architecte en Chef des Monuments Historiques



ATELIER ERGON
INGENIERIE

CHÂTEAU DE CHAMBORD

LOIR-ET-CHER, 41

Maître d'oeuvre : Agence Maël de Quelen, ACMH

Maître d'ouvrage : Domaine National de Chambord

AILE FRANÇOIS 1^{ER} ET TOUR ROBERT DE PARME - TRAVAUX PRIORITAIRES DE CONSOLIDATIONS ET REPRISES STRUCTURELLES

Phase Avant-projet sommaire - APS - Notice structure

Décembre 2025



© Photo Atelier Ergon

25060-41

> SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	1
II.	CONTEXTE DE L'ÉTUDE	2
III.	CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC STRUCTUREL	8
IV.	ÉTUDE DE L'ÉTAT PROJETÉ	12
V.	PROGRAMME DE TRAVAUX	44
VI.	RÉFÉRENCES ET SUIVI	61
VII.	ANNEXES	62



I. INTRODUCTION

La présente étude d'avant-projet sommaire structurel concerne l'aile François 1^{er} et la tour Robert de Parme, ensemble situé au nord-est du château de Chambord, dans le département de Loir-et-Cher (41). L'étude s'inscrit dans le cadre d'une étude menée par l'agence Maël de Quelen, ACMH pour le domaine national de Chambord, maître d'ouvrage.

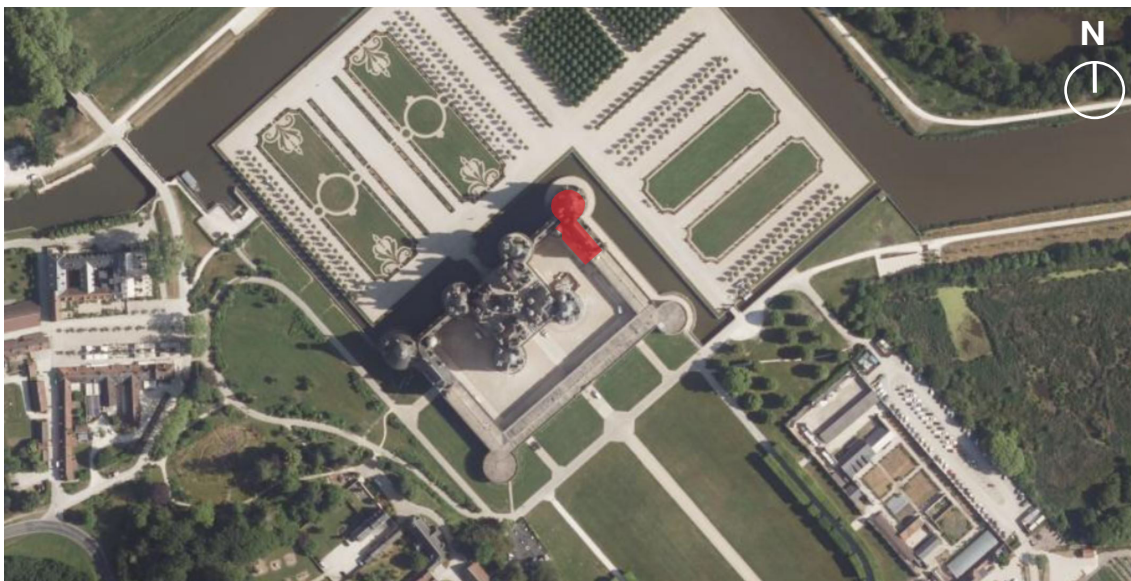
L'étude d'avant-projet sommaire vise à esquisser les travaux de confortement structurels nécessaires afin d'une part, de palier les désordres constatés au cours des précédentes phases de diagnostic et d'autre part, de répondre aux aménagements projetés définis au stade de la présente étude.



II. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

1. OBJET DE L'ÉTUDE

Parmi les édifices les plus remarquables de la Renaissance, le château de Chambord est classé au titre des Monuments Historiques dès la première liste de 1840, avec une extension de la protection à l'ensemble du domaine en 1997. Le château fait partie du Patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis 1981 et le domaine est classé Domaine National. Son rattachement à la couronne de France remonte à 1498, avec l'accession au trône de Louis d'Orléans devenu Louis XII.



Localisation de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme, Château de Chambord
Vue aérienne Géoportail

La présente mission d'avant-projet sommaire concerne l'aile François 1^{er} ainsi que la tour Robert de Parme, situées à l'angle nord-est du château. Elle fait suite à une première étude structurelle d'avant-projet sommaire menée par l'agence Chatillon, architectes.

L'aile François 1^{er} présente des **désordres structurels importants** qui se manifestent principalement par des fissures situées à la jonction entre les façades (sur cour et sur douve) et les refends intérieurs (principaux et secondaires). D'une manière générale, il s'agit de fissures situées principalement aux étages supérieurs, au droit des linteaux de baie qui longent les deux façades. A la suite du constat de ces désordres structurels, la direction du domaine national de Chambord a condamné l'accès du public aux étages de l'aile François 1^{er} dans l'attente de la mise en place de mesures d'urgences pour sécurisation de la zone, puis de la réalisation des études et travaux correspondants en vue de la réouverture au public.

Pour sa part, la **tour Robert de Parme** présente également des **désordres structurels conséquents** qui affectent essentiellement les élévations en maçonnerie, principalement au droit de la vis d'escalier principale et au droit de certains appuis de poutres de planchers. Par ailleurs et pour l'aile François 1^{er} comme pour la tour Robert de Parme, de nombreux planchers présentent un sous-dimensionnement vis-à-vis des usages actuels et projetés.

Il est à noter que cette étude d'avant-projet sommaire vise :

- D'une part, à répondre aux désordres qui affectent les structures ;
- Et d'autre part, à étudier l'impact du projet d'aménagement sur les structures de l'édifice défini au stade de la présente étude.

2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

NF EN 1990 : **Eurocodes structuraux** - Bases de calcul des structures

NF EN 1990 / NA - Annexe Nationale Française à la NF EN 1990

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

NF EN 1991-1-1 / NA - Annexe Nationale Française à la NF EN 1991-1-1

NF EN 1993-1-1 : **Eurocode 3** - Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments.

NF EN 1993-1-1 / NA - Annexe Nationale Française à la NF EN 1993-1-1

NF EN 1995-1-1 : **Eurocode 5** - Conception et calcul des structures en bois - NF EN 1995-1-1 /

NA - Annexe Nationale Française à la NF EN 1995-1-1

NF EN 1996-1-1 : **Eurocode 6** - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 1-1 : règles générales - Règles pour maçonnerie armée et non armée

NF EN 1996-1-1 / NA - Annexe Nationale Française à la NF EN 1996-1-1

NF EN 1997-1 : **Eurocode 7** - Calcul géotechnique - Partie 1 : règles générales



3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

a. Neige

Valeurs réglementaires :

Région :	A1
Altitude :	80 m
Charge caractéristique de neige sur le sol, S_k :	0,45 kN/m ²
Valeur de calcul de la charge exceptionnelle de neige sur le sol	Sans Objet
Ce coefficient d'exposition	1
Ct coefficient thermique	1

b. Vent

Région	Région 2	Chambord
Hauteur (z)	~ 31 m	Hauteur du faîtage
vb0	24 m/s	
Catégorie	Terrain II	Rase campagne
coeff. De direction	1	Valeur recommandée = 1
coeff. De saison	1	Valeur recommandée = 1
C0(z)	1	Valeur recommandée = 1
Z0	0,05 m	
Z0min	2 m	
Pression dynamique (z)	qp(z) = 0,978	kPa

4. CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET GÉOLOGIQUE

a. Géologie et hydrogéologie

Les cartes du BRGM indiquent que le château de Chambord est localisé au sein d'une formation géologique superficielle de type alluvions (Fz). Le BRGM indique également la présence d'une couche sous-jacente de Calcaire de Pithiviers.

D'après la mission géotechnique menée au cours de la phase précédente de diagnostic par l'entreprise INFRANEO à l'aide d'investigations géologiques et géophysiques, la géologie du site relevée peut être résumée comme suit :

- Couche superficielle : Remblais, sols remaniés de nature graveleux, limoneux et argileux
- Première couche intermédiaire : Argiles vasardes de couleur marron, grisâtre
- Seconde couche intermédiaire : Calcaires sableux
- Substratum : Marnes légèrement sableuses.

L'étude renseigne également sur le caractère pentu des couches de sol intermédiaires (calcaires sableux), présentant une inclinaison depuis la cour et en direction des douves.

D'un point de vue hydrologique, les niveaux d'eaux ont été constatés de manière générale à une profondeur d'environ 2,70 m. Il est toutefois important de noter que la rivière Cosson située à proximité de l'ensemble étudié présente un battement de nappe saisonnier.

b. Aléas géotechniques et risques naturels

> REMONTÉES DE NAPPES

D'après les cartes du BRGM, le site est classé en **zone d'inondations potentielles** des cours d'eau.

> RETRAIT/GONFLEMENT DES ARGILES

D'après les cartes du BRGM, le site est classé en **zone d'exposition faible** vis-à-vis du risque de retrait et de gonflement des argiles.

> CAVITÉS SOUTERRAINES

D'après les cartes du BRGM, **il existe une cavité souterraine** abandonnée non minière (cavité n° CENAA0010852) sous la tour Robert de Parme.

> ALÉA SISMIQUE

D'après la carte de zonage sismique, le site est **inscrit dans la zone de sismicité « très faible »**.

Zone de sismicité :	Très faible
Prescription parasismique :	Sans objet

5. CONTEXTE HISTORIQUE

La construction du château remonte au début XVI^e siècle. En 1519, François 1^{er} acquiert près de 4000 hectares de terrains constituant le domaine pour y faire construire un château, principalement pour les activités de chasse. La construction primitive débute par le donjon et très rapidement en 1526, le projet s'agrandit par l'adjonction de deux ailes latérales, dont l'aile François 1^{er} qui sera construite entre 1538 et 1544.

Des ouvrages ont été successivement adossés aux structures primitives, il est possible de noter principalement :

- L'Oratoire Royal, érigé à l'interface ouest entre la tour Robert de Parme et la galerie de liaison, construit à partir de 1540 ;
- L'escalier François 1^{er}, érigé à l'interface est entre l'aile François 1^{er}, la tour Robert de Parme et la galerie de liaison, ajouté à partir de 1545.

L'emprise du domaine et du château sera par la suite agrandie, principalement à deux reprises : En 1645, par Gaston d'Orléans frère de Louis XIII, devenu propriétaire du domaine, qui étend son emprise et la matérialise par l'actuel mur de clôture de plus de 32 kilomètres de long achevé en 1660, puis par Louis XIV qui souhaite achever le projet de François 1^{er} et confie en 1682 à J-H. Mansart les travaux de l'aile ouest, les écuries, la toiture et la chapelle ainsi que l'aménagement du domaine. Les écuries seront achevées plus tard, par le maréchal de Saxe, à qui Louis XV avait accordé Chambord.

C'est à cette période du XVII^e siècle sous Gaston d'Orléans que des changements majeurs sont effectués au sein de l'aile François 1^{er} qui menace ruine suite à son inoccupation prolongée, notamment par :

- La création d'un cloisonnement à l'aide de murs de refends principaux et secondaires ;
- Le percements de baies supplémentaires sur la façade nord (travée des pièces 0.5.3 - 1.5.3 - 2.5.3) suite au recoupement des grandes pièces primitives ;
- Le percement d'une série de portes à l'interface entre l'aile François 1^{er} et la tour Robert de Parme, au droit du mur gouttereau sur cour, entre les pièces X.5.5 et X.5.5.a ;
- Le très probable ajout des cloisons des combles de la tour Robert de Parme, servant également d'appui à l'enrayure basse de la charpente.

Au cours de sa riche histoire, de nombreux remaniements plus modestes seront menés, il est possible de noter particulièrement :

- La création / le déplacement de nombreuses cheminées au sein des murs gouttereaux, des pignons ou des refends ;

- La création de baies supplémentaires sur la façade nord au cours du XVIII^e siècle au sein de la pièce 1.5.2.

Le château est abandonné à la Révolution. Le mobilier est vendu mais le monument échappe à la destruction. Napoléon en fait don en 1809 au maréchal Berthier et l'ensemble du Domaine sera par la suite offert en 1821 au duc de Bordeaux, petit-fils du roi Charles X.

Une première campagne de restauration est menée entre 1900 et 1914.

Le domaine devient propriété de l'Etat en 1930 après mise sous séquestre en 1915 aux héritiers du duc de Bordeaux engagés aux côtés des Autrichiens.

Une nouvelle campagne de restauration démarre à partir de 1950 et comprend notamment, la consolidation de certains planchers et l'achèvement de l'escalier situé sous l'oratoire, qui permet l'accès à la fausse braie sur le flanc sud de la tour Robert de Parme.

Les charpentes sont également consolidées à partir de la fin des années 1960.

Au cours d'une visite en 2003, le plancher d'une pièce située à l'entresol du niveau rez-de-chaussée de la tour Robert de Parme (plancher-bas de la pièce 0.5.8.e) s'effondre au droit de la vis d'escalier principale, vraisemblablement suite à la présence de pourrissements fongiques au sein de la structure en bois du plancher.

L'installation du dépôt lapidaire en 2017 à l'intérieur de la tour Robert de Parme conduit au renforcement du sol de cette pièce en rez-de-chaussée.

L'établissement public du Domaine National de Chambord est créé en 2005.



III. CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC STRUCTUREL

1. SYNTHÈSE DES DÉSORDRES

Les désordres structurels constatés sur l'**aile François 1^{er}** se traduisent principalement par des **fissures et ouvertures des joints dans les murs de refends**. Ces désordres sont plus importants côté douve et aux niveaux supérieurs de l'aile.

L'analyse des déformations a mis en évidence **un dévers significatif de la façade sur douve**, jusqu'à 16 cm en tête de mur, plus accentué au centre de l'élévation. Le mur sur cour présente un léger dévers vers l'intérieur de l'édifice (vers les douves), sur la majorité de son linéaire.

L'**écartement constaté entre les planchers** des niveaux supérieurs **et la façade sur douve** est sans doute une conséquence du dévers de la façade. Il reflète également un défaut de liaison entre planchers et maçonneries.

Des tirants ont été identifiés dans l'épaisseur des planchers, au droit de chaque mur de refend (principal comme secondaires). Ces ouvrages peuvent correspondre à des renforts postérieurs à la construction de l'édifice et ainsi traduire le caractère ancien de ces désordres.

Les désordres structurels constatés sur la **tour Robert de Parme** sont pour leur part plutôt concentrés au sein de la **vis d'escalier principale** suivant **trois zones de fissurations distinctes** (verticales et/ou obliques) et par les **nombreuses fissurations au droit de certains appuis de poutres maîtresses de planchers** (mur de refend principal).

2. INTERPRÉTATION DES PATHOLOGIES

Le diagnostic structurel l'aile François 1^{er} et la tour Robert de Parme s'est appuyé sur différentes approches pour aboutir à une interprétation des désordres :

- Compréhension des dispositions constructives en superstructures (relevés sur site, sondages et recherches documentaires) ;
- Analyse des déformations réelles sur la base du nuage de points ;
- Relevé, réalisation de cartographies et analyse des désordres ;
- Étude de l'interaction sol / structure (sur la base de sondages géotechniques, géophysiques et reconnaissances de fondation) ;
- Calcul de descente de charges sur les principaux murs porteurs de l'édifice ;
- Analyse structurelle de la charpente en bois de l'aile François 1^{er} ;
- Analyse du comportement structurel général de l'aile François 1^{er} par modélisation aux éléments finis ;
- Diagnostic général des planchers.

a. Aile François 1^{er}

La synthèse de ces différentes approches permet d'attribuer les désordres constatés à des **causes principalement constructives, probablement accentuées par le contexte géotechnique.**

> Origines constructives

L'étude des dispositions constructives a mis en évidence les faiblesses suivantes qui ont sans doute favorisé l'apparition des désordres :

- Défaut d'harpage, quasi-inexistant, entre les murs de refend (principal et secondaires) avec la façade sur douve ;
- La présence de nombreuses ouvertures dans les refends, au droit des deux façades ;
- L'élancement des façades (1 m de large par 19 m de haut), accentué côté douve par la présence de doubles hauteurs ;
- Faiblesse de l'effet diaphragme des planchers qui portent de refend à refend et qui maintiennent ainsi très peu les façades sur douve ;
- Poussées latérales de la charpente constituée de chevrons formant fermes avec entrails retroussés générant de efforts latéraux sur les murs de façade.

L'étude structurelle complémentaire de la charpente bois a permis d'évaluer les efforts latéraux générés et leur impact sur la stabilité des murs de façade. L'étude a également confirmé l'importance des efforts horizontaux (appliqués sur les arases supérieures des murs de façade) que les charpentes sans entrails- bas entraînent.

La modélisation numérique aux éléments finis, ne tenant pas compte du défaut d'harpage et des problématiques d'interaction sol/structure, a tout de même mis en évidence des déplacements significatifs sur les murs de façade. Elle a également démontré des zones de contraintes excessives en traction, cohérentes avec les désordres relevés. En outre, la modélisation en mode dégradé (absence de liaisons entre les refends et le mur gouttereau sur douves), a montré que le mur sur douves entraîne dans son dévers (vers le vide) le mur sur cour et ce, par le biais des tirants. Cette analyse confirme que **le comportement de la structure, au vu de ces dispositions constructives, est suffisant pour générer des désordres sur les ouvrages existants.**

> Origines géotechniques

Les investigations géotechniques et géophysiques ont mis en évidence un contexte favorable à l'apparition de désordres cohérents avec ceux observés sur l'édifice. Ce contexte est favorisé par les constats suivants :

- La **distribution déséquilibrée des substrats** entre douve et cour : couches de remblais et d'argiles plus profondes côté cour. Il en résulte que la plateforme maçonnée faisant office de radier de **fondation est ancrée dans des faciès différents** entre douve (ancrage dans argiles)



et cour (ancrage dans calcaires sableux). Ces faciès ne présentent pas le même comportement mécanique, ni la même sensibilité au phénomène de battement de la nappe (cohésion modifiée, frottement, densité des matériaux, déjàgeage).

- La **possible altération de la plateforme d'assise** du château baignant vraisemblablement dans la nappe phréatique. Ce point constitue néanmoins une hypothèse qu'il convient de vérifier par des investigations complémentaires.

Ainsi, les mécanismes observés sur les refends de l'aile François 1^{er} sont vraisemblablement liés à un défaut de stabilité des façades très élancées et peu maintenues par les murs de refend et les planchers. Ces mécanismes, sans doute anciens, peuvent avoir été aggravés par une faiblesse d'ancrage des fondations côté douve. Cette fragilité d'ordre géotechnique constitue une source de potentielle évolution des pathologies.

b. Tour Robert de Parme

Les désordres constatés dans la Tour Robert de Parme peuvent être pour leur part associés à des **causes principalement constructives et pour certaines, accentuées par des remaniements.**

> Escalier à vis principal

L'analyse constructive de l'escalier a mis en évidence les particularités suivantes qui ont sans doute favorisé l'apparition des désordres :

- L'élancement très important et les épaisseurs variables des élévations de la vis d'escalier ;
- Des défauts d'harpage :
 - > Entre le mur de refend principal et la façade sur douve ;
 - > Et entre le mur de refend secondaire et les vis d'escaliers secondaires superposées ;
- L'élancement des façades, accentué côté nord-est par la présence de doubles hauteurs et accentué côté nord-ouest par la présence de la grande vis d'escalier principale ;
- La présence de nombreuses ouvertures superposées dans la vis d'escalier principale diminuant la rigidité de la maçonnerie au droit de ces baies.

> Appuis de poutres maîtresses de plancher

L'étude des dispositions constructives des planchers a permis de constater un contexte favorable à la survenue de désordres, à savoir :

- L'absence de sommiers support des poutres maîtresses de plancher favorisant une mauvaise transmission des efforts et engendrant une fissuration de la maçonnerie au droit de ces appuis ;
- La présence localisée d'importants remplissages au sein des planchers remaniés, à l'aide de matériaux relativement denses de type béton - ciment - sable ayant pu accentuer les charges primitives et aggraver les premières fissurations.

IV. ÉTUDE DE L'ÉTAT PROJETÉ

1. RAPPEL DU PROJET

a. Dispositions générales

Les interventions projetées prévoient la restauration de l'aile François 1er et de la tour Robert de Parme du château de Chambord. Il est retenu au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire que :

- Les cheminées ne sont pas remises en feu ;
- Le restaurant conserve son emplacement actuel ;
- La création d'un noyau d'ascenseur est envisagé au sein de la travée X.5.3 et fait l'objet d'une étude de faisabilité par l'agence Maël de Quelen, ACMH ;
- Les niveaux entresols ne sont pas prévus ouverts au public ;
- Les combles sont prévus ouverts au public ;
- Il n'est pas prévu la mise en place de sanitaires supplémentaires ;
- Le château de Chambord est un établissement recevant du public (ERP) de première catégorie et de classe Y.

b. Dispositions particulières

> CHARGES D'EXPLOITATION

Le projet de restauration de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme établi par le maître d'ouvrage en collaboration avec l'agence Maël de Quelen, ACMH, retient une maximisation des charges d'exploitation au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire, au regard des dispositions constructives des planchers. Les charges d'exploitations projetées sont donc définies par pièce, en considérant les charges maximales que peuvent supporter les différents éléments de structures, à savoir poutres maîtresses de planchers, solives et solives d'enchevêtrements, suivant les dispositions constructives présentes.

Nota : Au stade de la présente étude, ces charges ne considèrent pas les vérifications des maçonneries supports des planchers, vérifications qui devront être effectuées dans les phases d'études ultérieures.

> CRITÈRES DE COMPORTEMENT AU FEU

En tant qu'un ERP de première catégorie de classe Y, présentant des hauteurs de façades supérieures à 8 m, les structures de l'édifice doivent présenter selon les normes en vigueur une résistance au feu de type REI 90 min. Les planchers doivent donc présenter une résistance au feu R = 90 min et un coupe-feu EI = 90 min.



Nota : Il est important de noter que l'ensemble des dispositions ci-dessus est valable dans la limite de définition actuelle de la programmation, notamment dans l'absence de locaux à risques supérieurs, au niveau moyen.

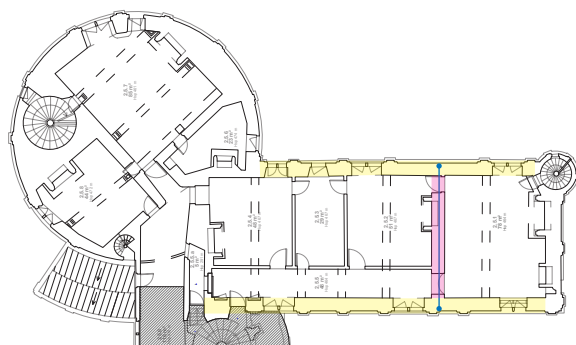
> **MODIFICATION DE REVÊTEMENT**

Dans le cadre de l'ouverture au public des combles de l'aile François 1er et de la tour Robert de Parme, le projet développé par l'agence Maël de Quelen, ACMH prévoit la pose d'un revêtement en tomettes de terre cuite à l'instar de la majorité des planchers de l'édifice et la mise à niveau du niveau combles dans la limite du périmètre de la présente étude.

2. RENFORCEMENT DU REFEND PRINCIPAL

a. Dispositions générales

Afin d'améliorer la liaison structurelle entre le mur de refend principal et les murs gouttereaux, un clouage horizontal continu est préconisé.



Clouage, vue en plan

Vue en plan géomètre, annotations Atelier Ergon

Le clouage proposé est adapté aux dispositions constructives et notamment à la présence des nombreux passages de portes et conduits de cheminées. Toutefois, les conduits de cheminées issus des foyers des entresols seront traversés par le clouage.

b. Détermination des charges à reprendre

- Hypothèses des surfaces en maçonneries des murs gouttereaux

(les baies ne sont pas déduites des charges à reprendre)

- > Epaisseur moyenne : 1,05 m
- > Hauteur d'influence maximale : 3,70 m
- > Largeur d'influence : 8,42 m
- > Densité de la maçonnerie (essais phase diagnostic) : 1367 kg/m³

- Détermination des charges à reprendre

La façade ne présente actuellement pas un dévers significatif. Pour les besoins du prédimensionnement, un dévers de 15 % est retenu à titre d'hypothèse et seul le poids propre est pris en compte, les façades ne présentant d'efforts de vent depuis l'intérieur de l'édifice.

$$F_{E,d,s} = E_p \times h_t \times l_{ar} \times \rho \times \% \text{ de reprise}$$

$$F_{E,d,s} = 1,05 \text{ m} \times 3,70 \text{ m} \times 8,42 \text{ m} \times 1367 \text{ kg/m}^3 \times 15 \%$$

$$F_{E,d,s} = 450 \text{ kN} \times 15 \%$$

$$F_{E,d,s} = 68 \text{ kN}$$

Par conséquent, chaque tirant devra reprendre au maximum 68 kN.

> ÉTATS LIMITES ULTIMES (ELU)

La sécurité vis-à-vis de états Limites Ultimes (ELU) concerne la capacité des structures à éviter les effondrements, les pertes d'équilibre et les perturbations graves, totales ou partielles, qui pourraient compromettre la sécurité des personnes, entraîner la perte de bien, provoquer de graves dommages environnementaux ou mettre l'ouvrage hors service.

Les combinaisons de charge aux états Limites Ultimes (ELU) sont définies comme suit :

$$F_{E,d,u} = \Sigma(\gamma_j G_{jk} + \gamma_p P_k + \gamma_{1k} Q_{1k}) + \Sigma(\gamma_i Q_{0i} \psi_{0i} Q_{ik})$$

Avec : G_k = Actions permanentes,

P_k = Actions de précontrainte,

Q_k = Actions variables,

γ_j = Coefficient de sécurité déterminé selon le tableau ci-dessous.

Situation durable ou transitoire (**Eq. 6.10**)

Situation de projet durables et transitoires	Actions permanentes		Action variable dominante	Actions variables d'accompagnement	
	Défavorable	Favorable		Principale (le cas échéant)	Autres
Eq. 6.10	1,35 G _{kj,sup}	1,0 G _{kj,inf}	1,5 Q _{k,1} ou 0 si favorable	sans objet	1,5Ψ _{0,i} Q _{k,i} ou 0 si favorable

Tableau A1.2(A) - valeurs de calcul d'actions (EQU) (Ensemble)
Norme EN 1991-1-1

Dans le cadre de cette étude, aucune précontrainte ni charge d'exploitation n'a été prise en compte. Le coefficient de sécurité retenu est $\gamma = 1,35$. Ainsi, la force au ELU est donnée par :

$$F_{E,d,u} = 1,35 \times F_{E,d,s}$$

$$F_{E,d,u} = 1,35 \times 68 \text{ kN}$$

$$F_{E,d,u} = 92 \text{ kN}$$

Par conséquent, chaque tirant devra reprendre au maximum 92 kN.

> ÉTATS LIMITES DE SERVICE (ELS)

La sécurité vis-à-vis des états limites de service (ELS) concerne la capacité de garantir les performances prévues pour les conditions d'exploitation.

Les combinaisons de charge aux modèles limites en service ELS sont définies comme suit :

- Combinaison rare (ou caractéristique)

$$F_d = \Sigma(G_{jk} + P_k + Q_{1k}) + \Sigma(\Psi_{0i}Q_{ik})$$

- Combinaison fréquente

$$F_d = \Sigma(G_{jk} + P_k + Q_{1k}) + \Sigma(\Psi_{2i}Q_{ik})$$

- Combinaison quasi permanente

$$F_d = \Sigma(G_{jk} + P_k) + \Sigma(\Psi_{2i}Q_{ik})$$

Avec : G_k = Actions permanentes,

P_k = Actions de précontrainte,

Q_k = Actions variables,

Ψ = Coefficient minorateur défini selon les catégories d'usage

Dans le cadre de cette étude, aucune précontrainte ni charge d'exploitation n'a été prise en compte.

Pour la façade sud, chaque tirant doit reprendre une charge équivalente à :

$$F_{E,d,s} = 68 \text{ kN}$$

c. Prédimensionnement des renforts du refend principal

Pour définir les sections d'ancrage (A) des tirants, il est nécessaire de calculer la section minimale requise en fonction de deux critères :

> LA CONTRAINTE

Cette vérification consiste à dimensionner la section d'ancrage en fonction des efforts appliqués sur chaque tirant aux ELU par rapport à la limite élastique du matériau choisi :

$$A = F_{e,d,u} / f_{s,d} = 92\,000 \text{ N} / 152 \text{ N/mm}^2 = 585 \text{ mm}^2$$

> L'ALLONGEMENT

Cette vérification consiste à dimensionner la section d'ancrage en fonction des efforts appliqués sur chaque tirant aux ELS, en prenant en compte le module d'Young du matériau choisi et une limite d'allongement fixée à 2‰.

$$A = F_{e,d,s} / (E_{s275} \times 0,002) = 68\,000 \text{ N} / (195\,000 \text{ N/mm}^2 \times 0,002) = 175 \text{ mm}^2$$

La section d'ancrage minimale retenue correspond à la plus grande des deux valeurs calculées. Pour utiliser une section standard disponible dans le commerce, une section de 804 mm² est adoptée, correspondant à un diamètre de barre d'ancrage de 32 mm.

d. Détermination des longueurs d'ancrage

La résistance à la traction d'un élément d'ancrage est donnée par la formule suivante :

$$F_{E,d,u} = \pi \times \varnothing \times L_b \times f_{bd}$$

Avec : $F_{E,d,u}$ = Effort de traction dans la barre d'ancrage à l'ELU

\varnothing = Diamètre de la barre d'ancrage,

L_b = Longueur d'ancrage,

f_{bd} = Contrainte ultime d'adhérence entre la résine utilisée et la maçonnerie.

En l'absence d'essai de traction préalable, il est recommandé de prendre $f_{bd} = 0,2$.

La longueur d'ancrage calculée est donc de 4,5 m minimum, un ancrage continu sera pris ici en compte.

3. RENFORCEMENTS DE PLANCHERS

La précédente étude de diagnostic et les études d'avant-projets sommaire ont mis en avant la présence localisée de planchers sous-dimensionnés, vis-à-vis des critères de portances à chaud et/ou à froid projetés et vis-à-vis des charges appliquées. Elles correspondent aux charges permanentes et d'exploitations, existantes et projetées. Ces dernières sont maximisées pour l'ensemble des planchers afin d'obtenir les portances maximales au regard des dispositions constructives des planchers et des possibilités de renforcements offertes. Les résultats des calculs se basent sur les hypothèses prises en compte pour les caractéristiques mécaniques usuelles des bois de type D30. **Les vérifications des maçonneries (élévations et fondations) ne sont pas étudiées au stade de la présente étude. Une attention particulière sera portée au cours des phases d'études ultérieures sur les appuis des planchers à proximité des baies et sur les refends de faible épaisseur.**

Les calculs réalisés correspondent à une vérification de l'ensemble des planchers. La résistance mécanique des planchers a été étudiée selon des critères de justification limités, mais représentatifs du comportement global des structures. Les hypothèses de calculs découlent d'analyses et d'interpolations des informations recueillies lors des visites, des campagnes de sondages réalisées et du relevé 3D du château. Dans le cadre des phases suivantes d'études, il sera nécessaire de confirmer certaines des hypothèses utilisées par analogies à l'aide des sondages complémentaires (à réaliser principalement sur les poutres et notamment les poutres armées complexes) et à l'aide des analyses sur les bois. Au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire, ces investigations sont en cours.

Il est toutefois important de noter que **de plusieurs planchers sont considérés comme sous-dimensionnés uniquement vis-à-vis de la présence de revêtements ou de cloisons fragiles sur ces structures.**

Par ailleurs, les prescriptions vis-à-vis du critère coupe-feu des planchers imposent également la réalisation de certains remaniements au sein des structures horizontales. Ces remaniements pourront soit :

- Être mutualisés avec les renforcements structurels de planchers quand ils sont nécessaires ;
- Prendre la forme de remplissage à l'aide de matériaux coupe-feu type plâtre ou chape sèche quand les renforcements structurels ne sont pas nécessaires.



a. Hypothèses

> HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES

• Méthodologie et hypothèses générales

La géométrie des structures porteuses et du complexe des planchers a été estimée selon la méthodologie suivante :

- Les observations sur site lors des visites ont permis, dans la majorité des cas, d'identifier le fonctionnement global des planchers : identification de l'emplacement et du sens de portée des poutres principales et des solives et localisation de tirefond en métal induisant la présence très probable d'un renfort, présence d'habillage, etc.
- Les reconnaissances représentent un échantillon global des complexes des planchers : remplissage, support des revêtements, présence/absence de plafonds, etc. La structure des planchers non-visible en raison des habillages divers a été extrapolée à partir des sondages qui ont contribué à éclaircir une majorité des incertitudes. Néanmoins, des extrapolations et conjectures ont été inévitables sur certaines zones car l'absence de relevés et l'invisibilité des structures n'ont pas permis de confirmer l'ensemble des dispositions constructives.
- L'ensemble des relevés a été recoupé avec des extraits du nuage de points afin de valider les dimensions et épaisseurs globales des complexes de planchers et des retombées des solives et des poutres visibles.
- Pour déterminer les portées de calcul des poutres et solives, il a été retenu la portée la plus importante ainsi que l'entraxe le plus défavorable pour chaque pièce.

Solives bois

Des hypothèses spécifiques ont été retenues pour les solives en bois des planchers :

- Les sections et entraxes des solives ont été déterminés suivant les relevés des sondages.
- Dans le cas des planchers non-sondés, une hauteur, une largeur et un entraxe moyens ont été calculés et considérés à partir de l'ensemble des relevés effectués dans cette zone du château.

Poutres bois

Les sections des poutres en bois massif sont très similaires en fonction des portées. La géométrie de ces poutres a été déterminée selon les cas :

- Les dimensions des poutres ont été définies par les relevés des sondages ou par des mesures sur le nuage de point.
- La hauteur des poutres bois avec des renforts métalliques a été déduite en fonction de la hauteur totale du complexe et la hauteur du profilé métallique.

> **HYPOTHÈSES DES MATÉRIAUX**

Des hypothèses ont été émises sur les charges (permanentes, exploitation) à l'aide des reconnaissances visuelles sur site, de la programmation envisagée au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire (établie par le maître d'ouvrage en collaboration avec l'agence Maël de Quelen, ACMH), des sondages de reconnaissance structurelle et des données standards pour les ouvrages patrimoniaux.

• **Bois massif**

Désignation	Valeur
Classe	D30
Matériau	Bois massif
Masse volumique moyenne	6,5 kN/m ³
γ_m	1,3
k_{def}	0,8 - local sous abri, <u>non chauffé</u>
ψ_2	0,6 si musée - 0,8 si stockage
k_h	1
$E_{0,mean}$	11000
$f_{m,k}$	30
$E_{0,05}$	9,2

Tableau - Caractéristiques mécaniques des poutres en bois massif
Norme EN 1995-1-1

• **Métal profilés laminés**

Le moment résistant en flexion a été calculé à partir du module de résistance élastique pour toutes les classes de sections. La capacité plastique des profilés de classe 1 et 2 a été négligée dans les calculs.

Désignation	Valeur
Nuance d'acier	S 235
ν	Acier
ρ	7850
E	210000
f_y	235
f_u	360
γ_{M0}	1,0
Module de la section	W_{el}

Tableau - Caractéristiques mécaniques des poutres en métal laminées
Norme EN 1993-1-1

>



- **LVL**

Désignation	Valeur
ρ	510 kg/m ³
E	10500 MPa
γ_M	1,2
REI90	A partir des panneaux de 69 mm

Tableau - Caractéristiques mécaniques des panneaux LVL
Fiche technique LVL

- **Résine**

Désignation	Valeur
ρ	1000 kg/m ³
E	8 000 MPa
$f_{erc,v,k}$	10 MPa
$f_{erc,c,k}$	25 MPa
γ_{erc}	1,5

Tableau - Caractéristiques mécaniques de la résine (béton de résine)
Fiche technique résine

- **Chape sèche**

Désignation	Valeur
ρ_{plaque}	1200 kg/m ³
$\rho_{\text{mortier égalisation (support)}}$	350 kg/m ³
EI90	Plaque 20 mm + mortier égalisation 60 mm

Tableau - Caractéristiques mécaniques de la chape sèche
Fiche technique résine

> **HYPOTHÈSES DES CHARGES**

- **Charges permanentes**

Les charges permanentes des planchers ont été calculées en fonctions des relevés des sondages de reconnaissance et d'interpolations :

- Les complexes de plancher sondés ont pu être calculés avec des hypothèses affinées sur les épaisseurs de chaque élément composant le complexe supérieur du plancher. Ce complexe est composé de diverses couches variables suivant les sondages : revêtements, remplissages, lambourdes, etc.

- Des hypothèses ont été définies pour le complexe supérieur des planchers non-sondés. La valeur de la charge permanente hors poids propre de la structure porteuse a été considéré égale à un sondage présentant le même revêtement et d'une épaisseur similaire ou légèrement plus importante.
- Les épaisseurs des remplissages ont été augmentées de l'épaisseur des planches pour considérer le remplissage entre les planches ainsi que pour prendre en compte une surcharge induite par la déformée des poutres. En effet, l'épaisseur des remplissages est plus importante au centre des planchers par rapport celle au niveau des appuis.

L'ensemble des masses volumiques retenues pour le calcul des charges permanentes est détaillé ci-dessous :

- **Charges d'exploitations**

Matériaux	Masse volumique ou charge au m ²
Ciment	22,0 kN/m ³
Sable	18,0 kN/m ³
Panneau bois LVL	5,1 kN/m ³
Béton de résine	10,0 kN/m ³
Plaque plâtre type Fermacell (yc mortier égalisation)	5,6 kN/m ³
Chape allégée	8,0 kN/m ³
Plâtre	11,0 kN/m ³
Terre	18,0 kN/m ³
Chape de pose	17,0 kN/m ³
Remplissage (mortier béton)	17,0 kN/m ³
Tomettes	16,5 kN/m ³
Pierre (dallage)	20,0 kN/m ³

Tableau - Masses volumiques des matériaux
Tableau Atelier Ergon



Les catégories d'usage retenues sont celles communiquée par l'agence Maël de Quelen, ACMH, et envisagée au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire.

Catégories de la surface chargée	Usage spécifique	Exemples
A	Habitations, résidentiel	Pièce des bâtiments et maisons d'habitation; chambres et salles des hôpitaux; chambres d'hôtels et de foyers; cuisines et sanitaires.
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D1)	C1: Espaces équipés de tables, etc., par exemple: écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salle de lecture, salle de réception.
		C2: Espaces équipés de sièges fixes, par exemple: églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente.
		C3: Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes, par exemple: salles de musée, salles d'exposition, etc., et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares.
		C4: Espaces permettant des activités physiques, par exemple: dancings, salles de gymnastique, scènes.
		C5: Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes, par exemple: bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare.
D	Commerces	D1: Commerces de détail courants
		D2: Grands magasins
E	Stockages	E1: Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises
H	Toiture inaccessible sauf pour entretien et réparations courants	

Tableau - catégories d'usages

Norme EN 1991-1-1

Les surfaces chargées relevant des catégories indiquées dans le Tableau 6.1 doivent être calculées en utilisant les valeurs caractéristiques q_k (charge uniformément répartie).

Catégorie de la surface chargée	Charge uniformément répartie	Usages concernés
Catégorie A : Habitation		
- Planchers	1,5	
- Escaliers	2,5	
- Balcons	3,5	
Catégorie B : Bureaux	2,5	Administration Les circulations et sanitaires associées
Catégorie C : Lieux de réunion		
-C1	2,5	
-C2	4,0	
-C3	4,0	Muséale, Enseignement - Salles ouvertes sur demande Sans affectation - Les circulations et sanitaires associées à ces salles
-C4	5,0	
-C5	5,0	
Catégorie D : Commerces		
-D1	5,0	
-D2	5,0	
Catégorie E : Stockages		
-E1	7,5	Locaux techniques

Tableau - Charges d'exploitation associées à l'usage des salles du château
Norme EN 1991-1-1

> **HYPOTHÈSES DES DÉFORMATIONS DES STRUCTURES**

Les vérifications par le calcul menées sur les planchers sont principalement basées sur les relevés sur site réalisés par le bureau d'études Atelier Ergon, à la suite la campagne des reconnaissances structurelles des planchers. A ce titre, il est important de rappeler les limites de représentativité des analyses structurelles réalisées. En effet, les vérifications structurelles réalisées dans le cadre de cette étude ne peuvent prétendre à un caractère exhaustif étant donné le caractère ponctuel des sondages. Aussi, il n'est pas exclu que des variations dans les dispositions constructives puissent exister en dehors des zones reconnues par les sondages.



Les déformations des planchers existants peuvent être vérifiées selon trois critères :

- le premier à long terme sous l'ensemble des charges (ELS-final),
- le second à court terme sous les surcharges d'exploitation (ELS-instantané),
- le troisième à long terme et/ou court terme sous l'ensemble des charges à la suite de l'application des charges de second œuvre fragile (ELS-fragile).

Les déformations à long terme sont des déformations permanentes et continues, qui se produisent au fil du temps en raison de divers facteurs tels que la fluage (la déformation plastique à long terme des matériaux), la relaxation (la perte progressive de la contrainte dans un matériau sous charge constante) et d'autres phénomènes. Ces déformations à long terme peuvent être dues à des facteurs environnementaux comme l'humidité, la température et le retrait / dilatation des matériaux. Dans ce cas, la flèche calculée sous l'ensemble des charges permanentes et d'exploitations, est limitée au 200^{ème} de la portée (L/200). Pour expliquer l'ensemble des déformations acquises sur le long terme, l'ELS_{final} sera utilisé.

Les déformations à court terme sont liées aux déformations élastiques immédiates d'une structure en réponse à des charges appliquées. Ces déformations sont généralement temporaires et réversibles. Elles se produisent immédiatement après l'application de la charge et disparaissent lorsque la charge est retirée. Les déformations à court terme sont principalement influencées par les propriétés élastiques des matériaux et la rigidité de la structure. Le critère de flèche (sans fluage) est calculé sous les seules charges d'exploitation, et la valeur limite est fixée au 300^{ème} de la portée (L/300). Pour comprendre le comportement des structures au vue des charges d'exploitations actuelles et projetées, l'ELS_{instantané} sera à privilégier.

Les éléments de second œuvre fragiles (non structuraux) supportent une déformation à court terme et à long terme très faibles. La déformation des planchers à la suite de la pose de ces éléments correspond à la somme de la déformation instantanée et de la déformation différée de la structure. La déformation instantanée sous les charges permanentes appliquées en aval de la mise en place des éléments fragiles sur la structure n'est pas considérée dans le calcul. Cette déformation à long terme est calculée sous l'ensemble des charges permanentes et d'exploitation. Ces déformations induites par les éléments fragiles sont exprimées par le calcul de la flèche fragile qui doit respecter les valeurs limites suivantes :

- Au 500^{ème} de la portée (L/500) dans le cas des structures bois ;
- Dans le cas des structures en métal, au 250^{ème} de la portée (L/250) pour la vérification de la flèche à long terme et au 350^{ème} de la portée (L/350) pour la vérification de la flèche dû au actions variables ;

Il est à souligner que les résultats qui suivent sont valables uniquement sous réserve du bon état de conservation des structures en métal et en bois ainsi que des assemblages et des appuis.

b. Renforts structurels des plancher

Plusieurs types de renforcements sont prévus en fonction des éléments et des dispositions constructives observées. Les renforts concernent :

- **Les poutres maîtresses de plancher (hors poutres armées)** : Il s'agit :
 - Soit d'un renforcement depuis l'extrados de la poutre par la mise en oeuvre d'une table de compression, en béton de résine ou système équivalent, connectée aux arases supérieures des poutres ;
 - Soit d'un renforcement depuis le dessus du plancher pour certains planchers-bas des combles, par la mise en place de profilés métalliques reprenant la totalité des charges issues des solivages (charges permanentes et d'exploitation). En variante, ces renforcements métalliques depuis le dessus des planchers pourront être remplacés par la création d'un plancher indépendant pour le niveau des combles.
- **Les poutres armées** : Il s'agit de la mise en oeuvre de poutres métalliques de type PRS, entourant les poutres armées existantes pour augmenter leur capacité portante. Ces renforcements pourront prendre place en partie haute des poutres armées et au droit des arbalétriers afin de reprendre directement toutes les charges issues des solivages.
- **Les solivages** : Il s'agit de mettre en oeuvre une table de compression en bois de type LVL ou système équivalent, connectée aux arases supérieures des solives.

c. Amélioration du comportement au feu des planchers

L'étude des dispositions constructives des planchers a permis de mettre en avant :

- Des sous-dimensionnements vis-à-vis de la stabilité à froid,
- Des sous-dimensionnements vis-à-vis de la stabilité à chaud ;
- L'insuffisance localisée du critère coupe-feu.

Outre les renforcements structurels nécessaires pour augmenter la capacité portante à froid et à chaud des planchers, il donc est indispensable d'adapter les complexes de planchers afin d'atteindre le critère coupe-feu de 90 min requis.

De par leur nature, les renforts structurels par table de compression en bois de type LVL présentent des caractéristiques coupe-feu de l'ordre de 90 min à partir d'une épaisseur de 69 mm.



Ainsi, deux cas de figure sont détaillés au stade de la présente étude APS :

- Si les structures de planchers ne présentent pas le degré coupe-feu de type EI = 90 min et qu'un renforcement structurel (par table de compression en bois de type LVL) pour augmentation de la capacité portante à froid et/ou à chaud est d'ores et déjà prévu, il a été retenu d'augmenter l'épaisseur des panneaux LVL pour atteindre le degré coupe-feu requis.

Si les structures de planchers ne présentent pas le degré coupe-feu de type EI = 90 min et qu'aucun renforcement structurel (par table de compression en bois de type LVL) pour augmentation de la capacité portante à froid et/ou à chaud n'est nécessaire, il a été retenu de purger le complexe de remplissage existant afin de le remplacer par des matériaux plus adaptés. Il est ici prévu de mettre en place des plaques de plâtre de type chape sèche d'au moins 20 mm, disposé sur un mortier d'égalisation d'au moins 60 mm d'épaisseur. Si nécessaire, le comblement du remplissage sera assuré par une chape allégée.

Par ailleurs, le béton de résine ne présentant pas de résistance au feu, il doit être englobé dans un complexe de plancher présentant une protection au feu de type EI 90 minutes.

d. Prédimensionnement des renforts de charpente

• Modèles de calcul

L'ensemble des planchers étudiés est composé de solives et de poutres dont les conditions d'appuis sont similaires :

- Les poutres principales reposent sur les murs en maçonnerie ;
- Les solives sont appuyées sur les poutres principales dans certains cas par l'intermédiaire de lambourdes ou sur des murs en maçonnerie.

Au vu des dispositions d'appui observées et des déformées, les poutres et solives ont été calculés avec des conditions d'appui **isostatiques** pour tous les planchers.

> POUTRES ET SOLIVES BOIS

Les poutres et les solives en bois massif ont été calculées selon les mêmes critères de vérifications :

ELU

- La vérification de la résistance en flexion constitue le principal critère de vérification ;
- La vérification du déversement pris en compte : les sections ayant un rapport hauteur/largeur très proche de 1 dans la majorité des cas, le déversement n'est pas dimensionnant. Les cartographies de résultats n'intègrent pas cette vérification ;

- La vérification à l'effort tranchant n'a pas été ajoutée et les calculs ne tiennent pas compte des éventuelles réductions des sections des poutres sur appuis.

ELS

- La vérification de la flèche totale n'a pas été considérée dans les cartographies. L'impact du fluage sur des structures anciens est très limité par rapport aux structures neuves ;
- La vérification de la flèche instantanée constitue le critère à l'ELS intégré aux cartographies de résultats ;
- La vérification de la flèche de second oeuvre a été aussi ajoutée aux cartographies.

FEU

- Les justifications au feu ont été réalisées avec la méthode de la section réduite efficace non carbonisée ;
- La vérification de la stabilité au feu a été menée pour une durée de 90 min ;
- Le nombre de faces exposées a été déterminé selon le complexe supérieur : la présence d'une chape de remplissage a été considérée comme élément de protection de la face supérieure des poutres et des solives. Ainsi, 3 faces ont été considérées pour le calcul au lieu de 4 faces dans les autres cas.

Nota : Au stade de la présente étude, les calculs suivants ne prennent pas en compte les vérifications suivantes :

- Les surcharges appliquées sur les maçonneries supports et les contraintes associées ;
- Les linçoirs et chevêtres bois ;
- La présence de réseaux techniques projetés au sein des renforts de planchers ;
- Les cloisons disposées sur les planchers.

En revanche, les solives d'enchevêtrures, aux sections relativement défavorables, sont prises en compte dans le cadre des vérifications effectuées.



> RÉSISTANCE À FROID : DIMENSIONNEMENT DES RENFORTS À L'ELU (HORS POUTRES ARMÉES)

• Plancher-haut RDC

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS					
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELU - Vérification action moyen terme		Vérification déversment des poutres			
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Cas dimensionnant à l'ELU	Considéé dans les cartographies
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER										
Plancher bas Entresol RDC = plancher-haut RDC										
0.5.1.e (cloisons)	Solives bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.1.e_S	-	Hypothèse	27%	> 1000	27%	> 1000	non	non
	Poutres principales bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.1.e_P			96%	794	96%	794	non	non
0.5.5.e	Solives bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.5.e_S	-	Sondage	32%	> 1000	32%	> 1000	non	non
0.5.5.a.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.5.a.e_S	-	Hypothèse	27%	> 1000	27%	> 1000	non	non
0.5.6.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.6.e_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	59%	> 1000	59%	> 1000	non	non
0.5.8.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.8.e_S	Nuage de points	Sondage	23%	> 1000	23%	> 1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-E0_0.5.8.e_P			61%	803	61%	803	non	non

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELU - Plancher-haut RDC

Tableau Atelier Ergon

• Plancher-haut ENTRESOL - RDC

HYPOTHESES				VERIFICATION DES PLANCHERS						
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELU - Vérification action moyen terme		Vérification déversment des poutres			
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Cas dimensionnant à l'ELU	Considéé dans les cartographies
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER										
Plancher haut entresol RDC = plancher-bas R+1										
1.5.0	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.0_S	-	Hypothèse	12%	>1000	12%	>1000	non	non
1.5.1-A	Solives bois	SPL-03-R1-FR1_1.5.1.A_S	-	Sondage	35%	>1000	35%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPL-03-R1-FR1_1.5.1.A_P		Sondage	63%	986	63%	986	non	non
1.5.1-B	Solives bois	SPL-02-R1-FR1_1.5.1.B_S	-	Sondage	48%	>1000	48%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPL-02-R1-FR1_1.5.1.B_P		Sondage	63%	955	63%	955	non	non
1.5.2	Solives bois	SPO-02-R1_1.5.2_S	Nuage de points	Sondage	24%	>1000	24%	>1000	non	non
1.5.3	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.3_S	-	Hypothèse	21%	>1000	21%	>1000	non	non
1.5.4	Solives bois	SPO-02-R1_1.5.4_S	-	Hypothèse	61%	>1000	61%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-02-R1_1.5.4_P		Hypothèse	63%	921	63%	921	non	non
1.5.5	Solives bois	SPA-01-E0-FR1	-	Sondage	18%	>1000	18%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPA-01-E0-FR1		Sondage	8%	>1000	8%	>1000	non	non
1.5.6	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.6_S	-	Hypothèse	51%	>1000	51%	>1000	non	non
1.5.7	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.7_S	Nuage de points	Sondage	27%	>1000	27%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-R1_1.5.7_P	Nuage de points	Sondage	58%	>1000	58%	>1000	non	non
1.5.8	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.8_S	SPO-01-E2	Hypothèse	74%	>1000	74%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-R1_1.5.8_P	SPO-01-E2	Hypothèse	133%	176	133%	176	non	non

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELU - Plancher-haut Entresol RDC

Tableau Atelier Ergon

• **Plancher-haut R+1**

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS					
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELU - Vérification action moyen terme		Vérification déversment des poutres			
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Cas dimensionnant à l'ELU	Considéré dans les cartographies
ZONE C : AILE FRANÇOIS 1ER										
Plancher bas Entresol R+1 = plancher-haut R+1										
1.5.0.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.0.e_S	-	Hypothèse	27%	>1000	27%	>1000	non	non
1.5.1.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.1.e_S	-	Hypothèse	29%	>1000	29%	>1000	non	non
1.5.3.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.3.e_S	-	Sondage	30%	>1000	30%	>1000	non	non
1.5.5.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1	-	Hypothèse	32%	>1000	32%	>1000	non	non
1.5.6.e	Solives bois	SPO-01-E1_1.5.6.e_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	45%	>1000	45%	>1000	non	non
1.5.8.e	Solives bois	SPO-01-E1_1.5.8.e_S	Nuage de points	Sondage	26%	>1000	26%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-E1_1.5.8.e_P	Nuage de points	Sondage	53%	>1000	53%	>1000	non	non

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELU - Plancher-haut R+1
Tableau Atelier Ergon

• **Plancher-haut ENTRESOL - R+1**

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS					
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELU - Vérification action moyen terme		Vérification déversment des poutres			
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Cas dimensionnant à l'ELU	Considéré dans les cartographies
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER										
Plancher bas R+2 = Plancher-haut entresol R+1										
2.5.0	Solives bois	SPL-01-R2_2.5.0_S	Nuage de points	Sondage	17%	>1000	17%	>1000	non	non
2.5.1	Solives bois	SPL-05-R2-FR1_2.5.1_S		Sondage	74%	>1000	74%	>1000	non	non
2.5.2	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.2_S	Nuage de points	Sondage	37%	>1000	37%	>1000	non	non
2.5.3	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.3_S	-	Hypothèse	20%	>1000	20%	>1000	non	non
2.5.4	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.4_S	-	Hypothèse	13%	>1000	13%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-02-R2_2.5.4_P		Hypothèse	58%	>1000	58%	>1000	non	non
2.5.5	Solives bois	SPA-03-E1-FR1_2.5.5_S	Nuage de points	Sondage	16%	>1000	16%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPA-03-E1-FR1	Nuage de points	Sondage	17%	>1000	17%	>1000	non	non
2.5.6	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.6_S	-	Hypothèse	44%	>1000	44%	>1000	non	non
2.5.7	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.7_S	Nuage de points	Sondage	16%	>1000	16%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-R2_2.5.7_P	Nuage de points	Sondage	54%	>1000	54%	>1000	non	non
2.5.8	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.8_S	-	Hypothèse	38%	>1000	38%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-R2_2.5.8_P		Hypothèse	68%	755	68%	755	non	non

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELU - Plancher-haut Entresol R+1
Tableau Atelier Ergon

• Plancher-haut R+2

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS					
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELU - Vérification action moyen terme		Vérification déversment des poutres			
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Cas dimensionnant à l'ELU	Considééré dans les cartographies
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER										
Plancher bas entresol comble R+3 = Plancher-haut R+2										
3.5.0	Solives bois	SPL-01-E2_3.5.0_S	Nuage de points	Sondage	23%	>1000	23%	>1000	non	non
3.5.1	Solives bois	SPC-03-CO-FR1_3.5.1_S	SPC-03-CO-FR1	Sondage	47%	>1000	47%	>1000	non	non
3.5.2	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.2_S	SPC-04-CO-FR1	Sondage	49%	>1000	49%	>1000	non	non
3.5.3	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.3_S	-	Hypothèse	25%	>1000	25%	>1000	non	non
3.5.4	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.4_S	Nuage de points	Hypothèse	49%	>1000	49%	>1000	non	non
3.5.5	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.5_S	Nuage de points	Hypothèse	23%	>1000	23%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPC-04-CO-FR1	Nuage de points	Hypothèse	11%	>1000	11%	>1000	non	non
3.5.6	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.6_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	47%	>1000	47%	>1000	non	non
3.5.7	Solives bois	SPO-02-E2_3.5.7_S	Nuage de points	Sondage	20%	>1000	20%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-02-E2_3.5.7_P	Nuage de points	Sondage	79%	648	79%	648	non	non
3.5.8	Solives bois	SPO-01-E2_3.5.8_S	Nuage de points	Sondage	47%	>1000	47%	>1000	non	non
	Poutres principales bois	SPO-01-E2_3.5.8_P	Nuage de points	Sondage	65%	847	65%	847	non	non

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELU - Plancher-haut R+2

Tableau Atelier Ergon

> RÉSISTANCE À FROID : DIMENSIONNEMENT DES RENFORTS À L'ELS (HORS POUTRES ARMÉES)

• Plancher-haut RDC

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS							
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELS - Flèche Finale Bois : L/200 Métal : L / 200		ELS - Flèche instantanée Bois : L/300 Métal : L / 350		ELS - Flèche de sd œuvre (revêtements fragiles) Bois : L/500 Flèche totale Métal : L / 250		ELS - Flèche de sd œuvre Bois : aucune Flèche instantanée Métal : L / 350	
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER												
Plancher bas Entresol RDC = plancher-haut RDC												
0.5.1.e (cloisons)	Solives bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.1.e_S	-	Hypothèse	30%	>1000	22%	>1000	67%	>1000		
	Poutres principales bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.1.e_P			139%	471	95%	789	298%	177		
0.5.5.e	Solives bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.5.e_S	-	Sondage	44%	>1000	31%	>1000	95%	794		
0.5.5.a.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.5.a.e_S	-	Hypothèse	37%	>1000	23%	>1000	73%	590		
0.5.6.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.6.e_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	89%	972	57%	>1000	195%	0		
0.5.8.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.8.e_S	Nuage de points	Sondage	29%	>1000	18%	>1000	57%	786		
	Poutres principales bois	SPO-01-E0_0.5.8.e_P			57%	922	33%	>1000	109%	356		

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELS - Plancher-haut RDC

Tableau Atelier Ergon

• **Plancher-haut ENTRESOL - RDC**

HYPOTHESES				VERIFICATION DES PLANCHERS									
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELS - Flèche Finale Bois : L/200 Métal : L / 200		ELS - Flèche instantanée Bois : L/300 Métal : L / 350		ELS - Flèche de sd œuvre (revêtements fragiles) Bois : L/500 Flèche totale Métal : L / 250		ELS - Flèche de sd œuvre Bois : aucune Flèche instantanée Métal : L / 350		
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER													
Plancher haut entresol RDC = plancher-bas R+1													
1.5.0	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.0_S	-	Hypothèse	12%	>1000	9%	>1000	25%	>1000			
1.5.1-A	Solives bois	SPL-03-R1-FR1_1.5.1.A_S	-	Sondage	55%	>1000	25%	>1000	96%	423			
	Poutres principales bois	SPL-03-R1-FR1_1.5.1.A_P	-	Sondage	53%	>1000	18%	>1000	84%	539			
1.5.1-B	Solives bois	SPL-02-R1-FR1_1.5.1.B_S	-	Sondage	63%	>1000	40%	>1000					
	Poutres principales bois	SPL-02-R1-FR1_1.5.1.B_P	-	Sondage	55%	>1000	19%	>1000					
1.5.2	Solives bois	SPO-02-R1_1.5.2_S	Nuage de points	Sondage	25%	>1000	14%	>1000	50%	>1000			
1.5.3	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.3_S	-	Hypothèse	27%	>1000	17%	>1000					
1.5.4	Solives bois	SPO-02-R1_1.5.4_S	-	Hypothèse	91%	525	52%	>1000	182%	0			
	Poutres principales bois	SPO-02-R1_1.5.4_P	-	Hypothèse	64%	985	25%	>1000	105%	366			
1.5.5	Solives bois	SPA-01-E0-FR1	-	Sondage	22%	>1000	11%	>1000	39%	>1000			
	Poutres principales bois	SPA-01-E0-FR1	-	Sondage	3%	>1000	2%	>1000	6%	>1000			
1.5.6	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.6_S	-	Hypothèse	41%	>1000	23%	>1000	83%	909			
1.5.7	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.7_S	Nuage de points	Sondage	37%	>1000	23%	>1000	73%	587			
	Poutres principales bois	SPO-01-R1_1.5.7_P	Nuage de points	Sondage	55%	>1000	22%	>1000	92%	463			
1.5.8	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.8_S	SPO-01-E2	Hypothèse	81%	>1000	49%	>1000	169%	0			
	Poutres principales bois	SPO-01-R1_1.5.8_P	SPO-01-E2	Hypothèse	154%	26	58%	684	251%	0			

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELS - Plancher-haut Entresol - RDC
Tableau Atelier Ergon

• **Plancher-haut R+1**

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS							
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELS -Flèche Finale Bois : L/200 Métal : L / 200		ELS -Flèche instantanée Bois : L/300 Métal : L / 350		ELS -Flèche de sd œuvre (revêtements fragiles) Bois : L/500 Flèche totale Métal : L / 250		ELS -Flèche de sd œuvre Bois : aucune Flèche instantanée Métal : L / 350	
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER												
Plancher bas Entresol R+1 = plancher-haut R+1												
1.5.0.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.0.e_S	-	Hypothèse	35%	>1000	16%	>1000	60%	811		
1.5.1.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.1.e_S	-	Hypothèse	33%	>1000	19%	>1000	65%	>1000		
1.5.3.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.3.e_S	-	Sondage	42%	>1000	19%	>1000	73%	631		
1.5.5.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1	-	Hypothèse	38%	>1000	21%	>1000	75%	>1000		
1.5.6.e	Solives bois	SPO-01-E1_1.5.6.e_S	ENCHEVETURE	Hypothèse	64%	>1000	32%	>1000	122%	208		
1.5.8.e	Solives bois	SPO-01-E1_1.5.8.e_S	Nuage de points	Sondage	35%	>1000	23%	>1000	71%	608		
	Poutres principales bois	SPO-01-E1_1.5.8.e_P	Nuage de points	Sondage	43%	>1000	19%	>1000	74%	628		

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELS - Plancher-haut R+1
Tableau Atelier Ergon



• Plancher-haut ENTRESOL - R+1

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS							
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELS -Flèche Finale Bois : L/200 Métal : L / 200		ELS -Flèche instantanée Bois : L/300 Métal : L / 350		ELS -Flèche de sd œuvre (revêtements fragiles) Bois : L/500 Flèche totale Métal : L / 250		ELS -Flèche de sd œuvre Bois : aucune Flèche instantanée Métal : L / 350	
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER												
Plancher bas R+2 = Plancher-haut entresol R+1												
2.5.0	Solives bois	SPL-01-R2_2.5.0_S	Nuage de points	Sondage	21%	>1000	13%	>1000	41%	>1000		
2.5.1	Solives bois	SPL-05-R2-FR1_2.5.1_S		Sondage	88%	770	40%	>1000	163%	0		
2.5.2	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.2_S	Nuage de points	Sondage	39%	>1000	20%	>1000	76%	831		
2.5.3	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.3_S	-	Hypothèse	25%	>1000	16%	>1000	50%	920		
2.5.4	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.4_S	-	Hypothèse	11%	>1000	6%	>1000	22%	>1000		
	Poutres principales bois	SPO-02-R2_2.5.4_P		Hypothèse	59%	>1000	24%	>1000	98%	415		
2.5.5	Solives bois	SPA-03-E1-FR1_2.5.5_S	Nuage de points	Sondage	19%	>1000	12%	>1000	37%	>1000		
	Poutres principales bois	SPA-03-E1-FR1	Nuage de points	Sondage	8%	>1000	3%	>1000	13%	>1000		
2.5.6	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.6_S	-	Hypothèse	58%	>1000	34%	>1000	116%	237		
2.5.7	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.7_S	Nuage de points	Sondage	18%	>1000	9%	>1000	33%	>1000		
	Poutres principales bois	SPO-01-R2_2.5.7_P	Nuage de points	Sondage	47%	>1000	16%	>1000	74%	659		
2.5.8	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.8_S	-	Hypothèse	37%	>1000	21%	>1000	75%	882		
	Poutres principales bois	SPO-01-R2_2.5.8_P		Hypothèse	69%	792	32%	>1000	120%	296		

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELS - Plancher-haut Entresol - R+1

Tableau Atelier Ergon

• Plancher-haut R+2

HYPOTHESES					VERIFICATION DES PLANCHERS							
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	ELS -Flèche Finale Bois : L/200 Métal : L / 200		ELS -Flèche instantanée Bois : L/300 Métal : L / 350		ELS -Flèche de sd œuvre (revêtements fragiles) Bois : L/500 Flèche totale Métal: L / 250		ELS -Flèche de sd œuvre Bois : aucune Flèche instantanée Métal : L / 350	
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)	Taux de Travail	Capacité portante maximale q (kg/m²)
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER												
Plancher bas entresol comble R+3 = Plancher-haut R+2												
3.5.0	Solives bois	SPL-01-E2_3.5.0_S	Nuage de points	Sondage	31%	>1000	18%	>1000	60%	755		
3.5.1	Solives bois	SPC-03-CO-FR1_3.5.1_S	SPC-03-CO-FR1	Sondage	70%	>1000	40%	>1000	141%	23		
3.5.2	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.2_S	SPC-04-CO-FR1	Sondage	56%	>1000	26%	>1000	103%	355		
3.5.3	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.3_S	-	Hypothèse	33%	>1000	19%	>1000	63%	720		
3.5.4	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.4_S	Nuage de points	Hypothèse	51%	>1000	27%	>1000	100%	402		
3.5.5	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.5_S	Nuage de points	Hypothèse	28%	>1000	15%	>1000	51%	934		
	Poutres principales bois	SPC-04-CO-FR1	Nuage de points	Hypothèse	5%	>1000	2%	>1000	9%	>1000		
3.5.6	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.6_S	ENCHEVETURE	Hypothèse	70%	>1000	32%	>1000	128%	151		
3.5.7	Solives bois	SPO-02-E2_3.5.7_S	Nuage de points	Sondage	24%	>1000	12%	>1000	43%	>1000		
	Poutres principales bois	SPO-02-E2_3.5.7_P	Nuage de points	Sondage	85%	601	31%	>1000	137%	209		
3.5.8	Solives bois	SPO-01-E2_3.5.8_S	Nuage de points	Sondage	56%	>1000	31%	>1000	112%	241		
	Poutres principales bois	SPO-01-E2_3.5.8_P	Nuage de points	Sondage	61%	>1000	26%	>1000	103%	380		

Tableau - Vérifications des planchers à froid et à l'ELS - Plancher-haut R+2

Tableau Atelier Ergon

> RÉSISTANCE À CHAUD : DIMENSIONNEMENT DES RENFORTS (HORS POUTRES ARMÉES)

• Plancher-haut RDC

HYPOTHESES					VERIFICATION
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	Vérification en situation accidentelle Incendie SF 90 min
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Durée d'exposition à la flamme maximale
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER					0 min
Plancher bas Entresol RDC = plancher-haut RDC					
0.5.1.e (cloisons)	Solives bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.1.e_S	-	Hypothèse	90 min
	Poutres principales bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.1.e_P			90 min
0.5.5.e	Solives bois	SPL-01-E0-FR1_0.5.5.e_S	-	Sondage	90 min
0.5.5.a.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.5.a.e_S	-	Hypothèse	90 min
0.5.6.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.6.e_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	90 min
0.5.8.e	Solives bois	SPO-01-E0_0.5.8.e_S	Nuage de points	Sondage	90 min
	Poutres principales bois	SPO-01-E0_0.5.8.e_P			120 min

Tableau - Vérifications des planchers à chaud - Plancher-haut RDC

Tableau Atelier Ergon

• Plancher-haut ENTRESOL - RDC

HYPOTHESES					VERIFICATION
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	Vérification en situation accidentelle Incendie SF 90 min
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Durée d'expostion à la flamme maximale
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER					0 min
Plancher haut entresol RDC = plancher-bas R+1					
1.5.0	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.0_S	-	Hypothèse	90 min
1.5.1-A	Solives bois	SPL-03-R1-FR1_1.5.1.A_S	-	Sondage	120 min
	Poutres principales bois	SPL-03-R1-FR1_1.5.1.A_P		Sondage	120 min
1.5.1-B	Solives bois	SPL-02-R1-FR1_1.5.1.B_S	-	Sondage	60 min
	Poutres principales bois	SPL-02-R1-FR1_1.5.1.B_P		Sondage	120 min
1.5.2	Solives bois	SPO-02-R1_1.5.2_S	Nuage de points	Sondage	90 min
1.5.3	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.3_S	-	Hypothèse	90 min
1.5.4	Solives bois	SPO-02-R1_1.5.4_S	-	Hypothèse	60 min
	Poutres principales bois	SPO-02-R1_1.5.4_P		Hypothèse	120 min
1.5.5	Solives bois	SPA-01-E0-FR1	-	Sondage	120 min
	Poutres principales bois	SPA-01-E0-FR1		Sondage	120 min
1.5.6	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.6_S	-	Hypothèse	60 min
1.5.7	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.7_S	Nuage de points	Sondage	90 min
	Poutres principales bois	SPO-01-R1_1.5.7_P	Nuage de points	Sondage	120 min
1.5.8	Solives bois	SPO-01-R1_1.5.8_S	SPO-01-E2	Hypothèse	30 min
	Poutres principales bois	SPO-01-R1_1.5.8_P	SPO-01-E2	Hypothèse	90 min

Tableau - Vérifications des planchers à chaud - Plancher-haut Entresol - RDC

Tableau Atelier Ergon



• Plancher-haut R+1

HYPOTHESES					VERIFICATION
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	Vérification en situation accidentelle Incendie SF 90 min
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Durée d'exposition à la flamme maximale
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER					0 min
Plancher bas Entresol R+1 = plancher-haut R+1					
1.5.0.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.0.e_S	-	Hypothèse	90 min
1.5.1.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.1.e_S	-	Hypothèse	90 min
1.5.3.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1_1.5.3.e_S	-	Sondage	90 min
1.5.5.e	Solives bois	SPL-04-E1-FR1	-	Hypothèse	90 min
1.5.6.e	Solives bois	SPO-01-E1_1.5.6.e_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	90 min
1.5.8.e	Solives bois	SPO-01-E1_1.5.8.e_S	Nuage de points	Sondage	90 min
	Poutres principales bois	SPO-01-E1_1.5.8.e_P	Nuage de points	Sondage	120 min

Tableau - Vérifications des planchers à chaud - Plancher-haut R+1

Tableau Atelier Ergon

• Plancher-haut ENTRESOL - R+1

HYPOTHESES					VERIFICATION
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	Vérification en situation accidentelle Incendie SF 90 min
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Durée d'expostion à la flamme maximale
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER					0 min
Plancher bas R+2 = Plancher-haut entresol R+1					
2.5.0	Solives bois	SPL-01-R2_2.5.0_S	Nuage de points	Sondage	120 min
2.5.1	Solives bois	SPL-05-R2-FR1_2.5.1_S		Sondage	60 min
2.5.2	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.2_S	Nuage de points	Sondage	90 min
2.5.3	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.3_S	-	Hypothèse	120 min
2.5.4	Solives bois	SPO-02-R2_2.5.4_S	-	Hypothèse	120 min
	Poutres principales bois	SPO-02-R2_2.5.4_P		Hypothèse	120 min
2.5.5	Solives bois	SPA-03-E1-FR1_2.5.5_S	Nuage de points	Sondage	120 min
	Poutres principales bois	SPA-03-E1-FR1	Nuage de points	Sondage	120 min
2.5.6	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.6_S	-	Hypothèse	90 min
2.5.7	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.7_S	Nuage de points	Sondage	120 min
	Poutres principales bois	SPO-01-R2_2.5.7_P	Nuage de points	Sondage	120 min
2.5.8	Solives bois	SPO-01-R2_2.5.8_S	-	Hypothèse	90 min
	Poutres principales bois	SPO-01-R2_2.5.8_P		Hypothèse	120 min

Tableau - Vérifications des planchers à chaud - Plancher-haut Entresol - R+1

Tableau Atelier Ergon

• Plancher-haut R+2

HYPOTHESES					VERIFICATION
NUMERO PIECE	TYPE DE STRUCTURE	SONDAGE DE REFERENCE		HYPOTHESE ou SONDAGE	Vérification en situation accidentelle Incendie SF 90 min
		Complexe supérieur / Structure	Structure		Durée d'exposition à la flamme maximale
ZONE C : AILE FRANCOIS 1ER					0 min
Plancher bas entresol comble R+3 = Plancher-haut R+2					0 min
3.5.0	Solives bois	SPL-01-E2_3.5.0_S	Nuage de points	Sondage	90 min
3.5.1	Solives bois	SPC-03-CO-FR1_3.5.1_S	SPC-03-CO-FR1	Sondage	90 min
3.5.2	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.2_S	SPC-04-CO-FR1	Sondage	60 min
3.5.3	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.3_S	-	Hypothèse	90 min
3.5.4	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.4_S	Nuage de points	Hypothèse	90 min
3.5.5	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.5_S	Nuage de points	Hypothèse	120 min
	Poutres principales bois	SPC-04-CO-FR1	Nuage de points	Hypothèse	120 min
3.5.6	Solives bois	SPC-04-CO-FR1_3.5.6_S	ENCHEVETRURE	Hypothèse	90 min
3.5.7	Solives bois	SPO-02-E2_3.5.7_S	Nuage de points	Sondage	120 min
	Poutres principales bois	SPO-02-E2_3.5.7_P	Nuage de points	Sondage	120 min
3.5.8	Solives bois	SPO-01-E2_3.5.8_S	Nuage de points	Sondage	90 min
	Poutres principales bois	SPO-01-E2_3.5.8_P	Nuage de points	Sondage	120 min

Tableau - Vérifications des planchers à chaud - Plancher-haut R+2

Tableau Atelier Ergon

> RÉSISTANCE À FROID : VÉRIFICATION ET CAPACITÉ PORTANTE À L'ELU ET À L'ELS DES RENFORTS MÉTALLIQUES DES POUTRES ARMÉES

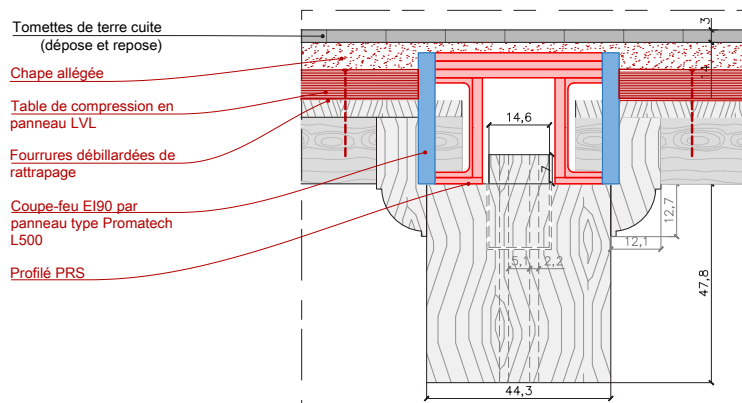
Au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire, les dispositions constructives des trois poutres armées identifiées ne sont pas totalement connues et n'ont pas permis de réaliser toutes les vérifications de capacité portante vis-à-vis des aménagements projetés.

Toutefois et dans l'attente de sondages complémentaires de reconnaissances de ces poutres au cours de la prochaine phase d'avant-projet détaillé, il est possible d'assimiler l'entrait des poutres armées en tant que poutres maîtresses de plancher classiques. En prenant en compte cette assimilation, la capacité portante vis-à-vis des complexes de plancher projetés des trois poutres armées identifiées n'est pas vérifiée ni à l'ELU, ni à l'ELS final, ni à l'ELS fragile.

Afin de pallier ces sous-dimensionnements, des renforcements des poutres armées (composées d'entrants et d'arbalétriers) sont prévus au sein des complexes de planchers existants à l'aide de profilés métalliques de type PRS. Ces derniers sont définis à ce stade dans la limite de connaissance

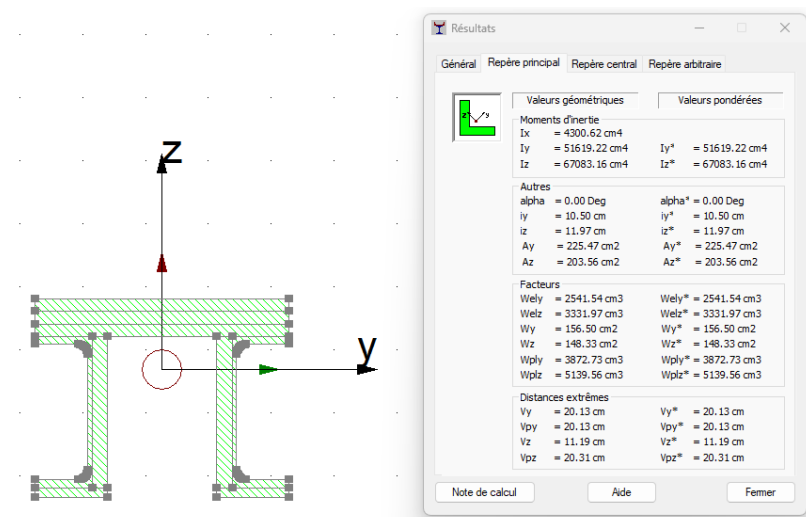


des poutres armées. Ils seront mis en oeuvre autour des arbalétriers et au droit de l'extrados des entrails. De cette manière, les solivages existants pourront directement prendre appui à l'intérieur des éléments de renforts projetés et être uniquement repris par les profilés métalliques. Dans ce sens, les poutres armées en bois existantes sont considérées au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire comme reprenant uniquement leur propre poids.



Renforcement type des poutres armées
Détail Atelier Ergon

Le profilé métallique PRS de nuance S235 possède les caractéristiques suivantes :



Renforcement type des poutres armées
Détail Atelier Ergon

Ce renfort a été dimensionné suivant la reprise des efforts du plancher 2.5.1 dont la poutre armée est la plus chargée des trois poutres armées identifiées au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire, à savoir :

- G = 298 kg/m²
- Q = 400 kg/m²

Certaines poutres de l'édifice n'étant pas encore reconnues, il est possible que d'autres poutres armées soient présentes au sein de l'édifice.

Les vérifications à l'ELU sont les suivantes :

σ (max) = 200,1 MPa < 235 MPa 85% VERIFIE

Mmax = 508,7 kN.m

Les vérifications à l'ELS sont les suivantes :

Flèche Finale L / 300 < L / 250 83% VERIFIE

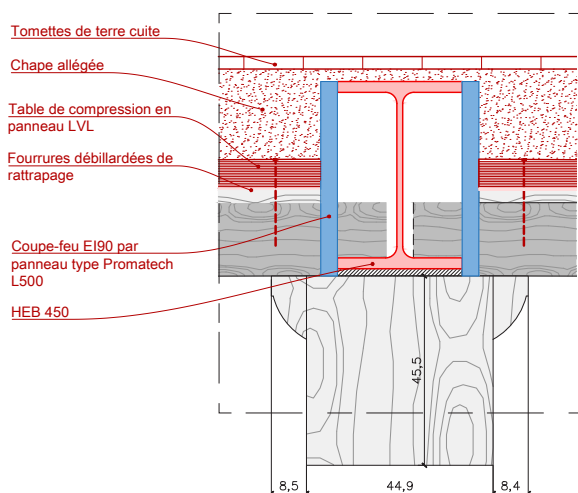
W fin (max) = 32,70 mm < 39,2 mm

Flèche instantanée L / 527 < L / 350 66% VERIFIE

W inst(Q) (max) = 18,61 mm < 28 mm

> **RÉSISTANCE À FROID : VÉRIFICATION ET CAPACITÉ PORTANTE À L'ELU ET À L'ELS DES RENFORTS MÉTALLIQUES DES POUTRES DU PLANCHER-HAUT R+2**

Il est proposé de renforcer les poutres de grande portée du plancher-haut R+2 par l'ajout de profilés métalliques de type HEB 450, de nuance S235, sur lesquels s'appuient les solives existantes, reprenant ainsi la totalité de la charge du plancher. Dans ce sens, les poutres en bois existantes sont considérées au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire comme reprenant uniquement leur propre poids.



Renforcement type des poutres du plancher-haut R+2

Détail Atelier Ergon

Ce renfort a été dimensionné suivant la reprise des efforts du plancher 3.5.1, dont la poutre est la plus chargée de cette zone, en prenant comme hypothèse une portée de 9,80 m et un plancher projeté comprenant un revêtement fragile constitué de tomettes, d'une chape de pose et d'une chape allégée :

- G = 610 kg/m²

- Q = 400 kg/m²



Les vérifications à l'ELU sont les suivantes :

σ (max) = 210,0 MPa < 235 MPa 89% VERIFIE

Mmax = 745,5 kN.m

Les vérifications à l'ELS sont les suivantes :

Flèche Finale L / 310 < L / 250 81% VERIFIE

W fin (max) = 31,59 mm < 39,2 mm

Flèche instantanée L / 815 < L / 350 43% VERIFIE

W inst(Q) (max) = 12,03 mm < 28 mm

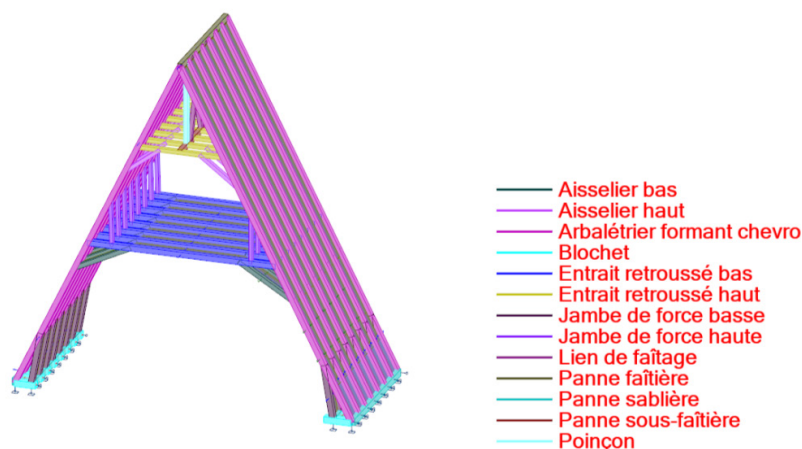
4. RENFORCEMENTS DE CHARPENTES

Le projet prévoit un renforcement des appuis de la charpente à chevrons formant fermes par la mise en place de tirants métalliques à proximité des fermes principales afin de neutraliser les efforts horizontaux qui s'appliquent sur les murs longitudinaux et ainsi participer à la stabilisation générale des murs gouttereaux. Ce principe comprend également la mise en oeuvre et la fixation de chaînages métalliques horizontaux sur les appuis des charpentes afin de les raidir et d'assurer l'interface avec les tirants nouvellement créés.

a. Hypothèses

> HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES

La géométrie du modèle s'appuie d'une part, sur le relevé en nuages de points réalisé et d'autre part, sur les relevés complémentaires des sections des bois réalisés sur site par le bureau d'études Atelier Ergon.



Charpente de l'aile François 1^{er}
Extrait modèle Atelier Ergon

> HYPOTHÈSES DES MATÉRIAUX

Dans le cadre du projet de mise en accessibilité des combles, le modèle étudié intègre le complexe de toiture existant.

L'ensemble des bois de la charpente est considéré de classe D30.

Matériaux	Masse volumique ou charge surfacique
Ardoise	0,41 kN/m ²
Bois	6,5 kN/m ³

Tableau - Masses volumiques des matériaux
Tableau Atelier Ergon

> HYPOTHÈSES DES CHARGES

• Charges permanentes

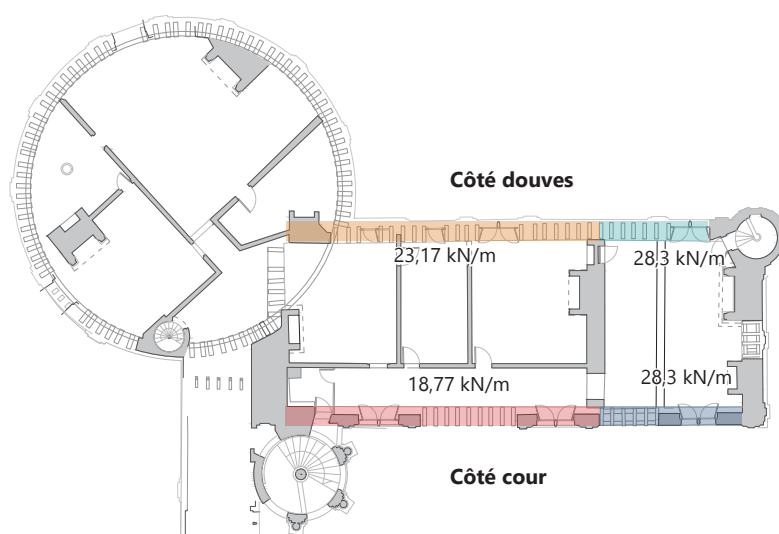
- Complexe de toiture existante

Les charges du complexe de toiture ont été calculées en considérant les dimensions suivantes :

- Couverture en ardoise 0,41 kN/m²
- Liteau = $0,06 \text{ [m]} \cdot 6,5 \text{ [kN/m}^3] \cdot 0,45 \text{ [m]} / 0,5 \text{ [m]}$ 0,32 kN/m²
- Planches support des ardoises = $0,025 \text{ [m]} \cdot 6,5 \text{ [kN/m}^3]$ 0,16 kN/m²

Total = 0,89 kN/m²

Les efforts horizontaux aux appuis de charpentes ont été estimés dans le cadre de la précédente étude de diagnostic :



Charpente de l'aille François 1^{er} - Plan de repérage - Composantes horizontales Fz à l'ELU

Plan et annotations Atelier Ergon

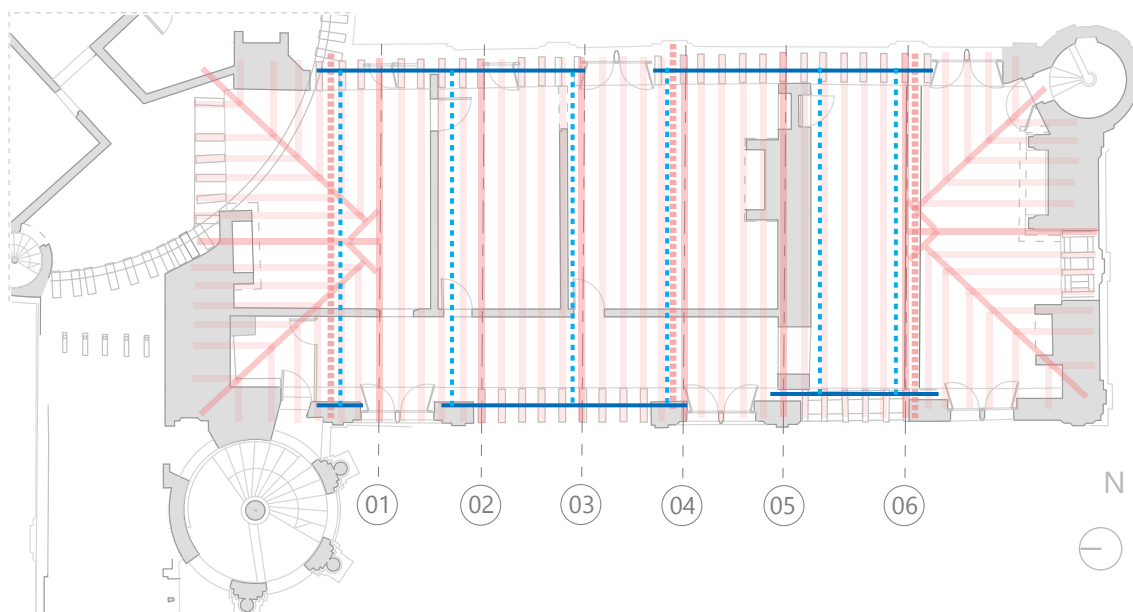


Aile François 1^{er} et tour Robert de Parme - Travaux prioritaires de consolidations et reprises structurales

Notice structure - Décembre 2025

Domaine National de Chambord - MOA > OPPIC - MOA déléguée > Agence Maël de Quelen - ACMH > Atelier Ergon - BE Structure

L'implantation prévisionnelle des renforcements par tirants et chaînages métalliques est présentée ci-dessous, tenant compte des contraintes liées aux lucarnes présentes au sein de la charpente.



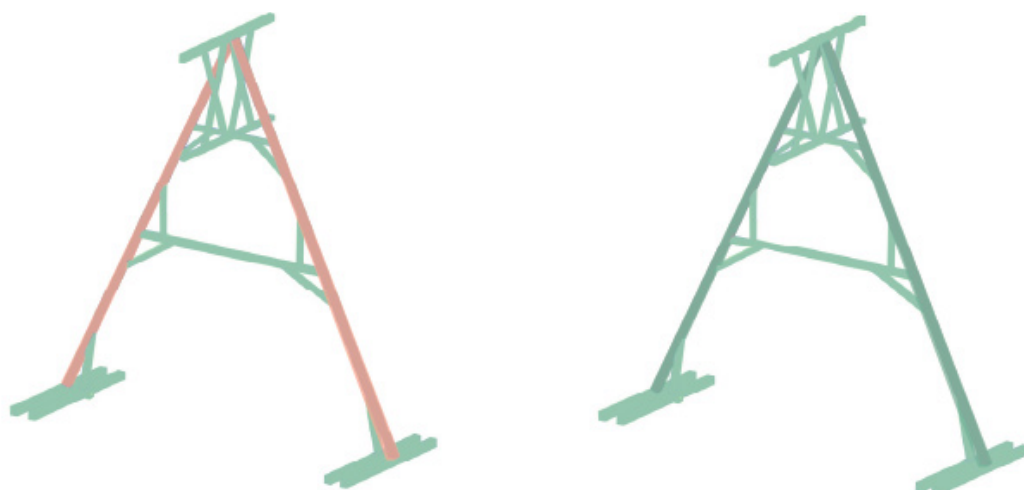
Légende :

- Ferme principale avec poinçon ou coyer/gousset
- - - Repérage des poutres du plancher-haut du R+2
- - - Tirant métallique
- Ferme secondaire sans poinçon
- Chaînage

Plan d'implantation des renforts de charpente (chaînages et tirants métalliques)
Analyse Atelier Ergon

b. Prédimensionnement des renforts de charpente

Avant renforcement, les résultats du comportement des structures existantes sont les suivants :



● Élément non vérifié à l'ELU : ratio 1.05

Vérification à l'ELU
Annotations Atelier Ergon

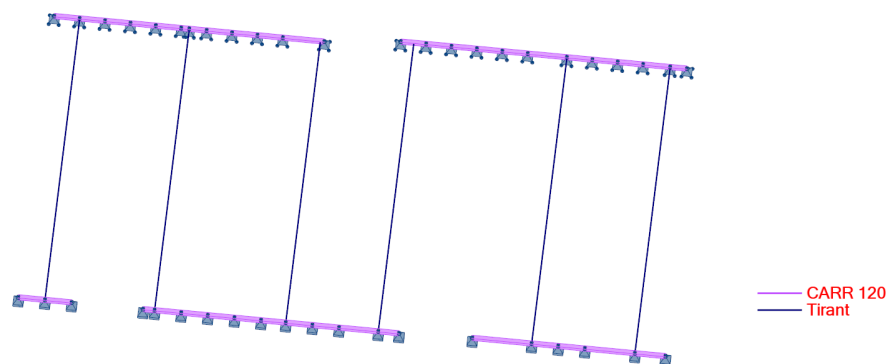
● Élément vérifié

Vérification à l'ELS
Annotations Atelier Ergon

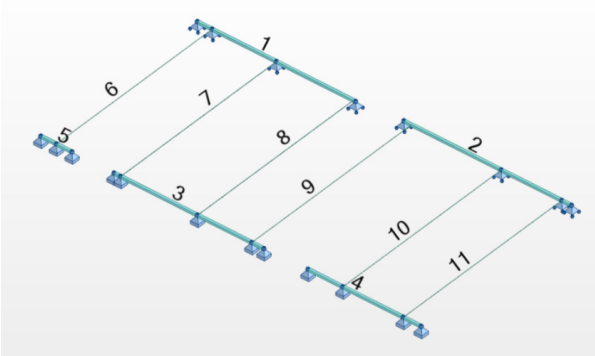
Les vérifications effectuées mettent en évidence une vérification de l'ensemble des éléments au critère de contrainte et de déformation (un ratio de 1,05 pour les chevrons est acceptable). Toutefois et afin de limiter au maximum les efforts appliqués sur les murs gouttereaux pour assurer leur stabilité, les renforcements de charpente suivants sont prédimensionnés.

En considérant les efforts horizontaux aux appuis des charpente suivant le plan d'implantation, il est prévu la mise en place :

- D'un chaînage métallique,
 - > Fixé sur les blochets ;
 - > Composé d'un profilé métallique en acier carré type S235 de section 120 x 120 x 3 mm ;
- D'un tirant en acier de diamètre 30 mm.



Renforcement des appuis de charpente - chaînage et tirants
Extrait modèle Atelier Ergon



Vue d'ensemble du modèle
Extrait modèle Atelier Ergon

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
1	CARR 120	Steel	243.52	243.52	0.52	2 ELU
2	CARR 120	Steel	258.08	258.08	0.66	2 ELU
3	CARR 120	Steel	230.72	230.72	0.44	2 ELU
4	CARR 120	Steel	174.18	174.18	0.24	2 ELU
5	CARR 120	Steel	48.01	48.01	0.03	2 ELU
6	Tirant	Steel	1338.68	1338.68	0.36	2 ELU
7	Tirant	Steel	1338.52	1338.52	0.77	2 ELU
8	Tirant	Steel	1338.52	1338.52	0.30	2 ELU
9	Tirant	Steel	1372.59	1372.59	0.41	2 ELU
10	Tirant	Steel	1361.64	1361.64	0.85	2 ELU
11	Tirant	Steel	1361.64	1361.64	0.26	2 ELU

Taux de travail du renforcement de la charpente de l'aile François 1^{er}
Extrait modèle Atelier Ergon

c. Renforts de charpente

Afin de répondre à l'objectif d'annuler les poussées issues des charpentes sur les murs gouttereaux, un principe de renforcement de type chaînages et tirants a été défini. Afin de le mettre en oeuvre et l'intégrer aux structures existantes et projetées, plusieurs variantes ont été envisagées au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire :

- Variante A : Tirants passant à travers les complexes de planchers projetés et à travers les pannes salières existantes à l'aide de percements localisés ;

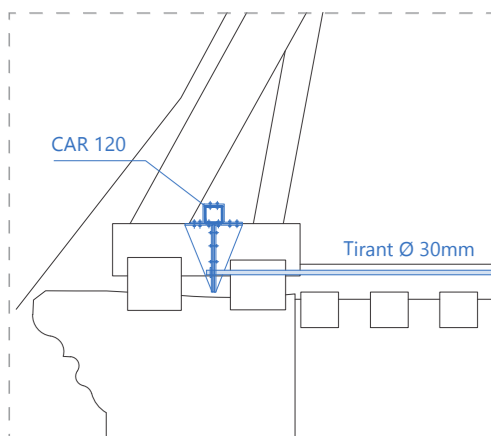


Schéma de principe en pied de charpente
Variante A - Échelle 1 : 50

Annotations Atelier Ergon

- Variante B : Tirants passant à travers les complexes de planchers projetés et décalés à l'aide d'assemblages métalliques par platines permettant d'abaisser le niveau des tirants au droit des sablières ;

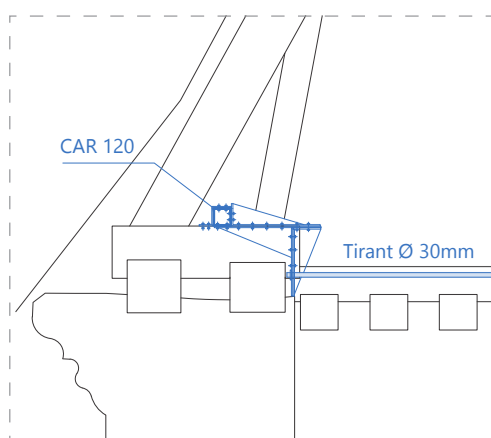


Schéma de principe en pied de charpente
Variante B - Échelle 1 : 50

Annotations Atelier Ergon

Nota : Les platines d'assemblages de la variante B présentent une excroissance vis-à-vis des structures en bois de la charpente.

V. PROGRAMME DE TRAVAUX

Le programme de travaux structurels décrit au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire ne comprend pas :

- La création d'accès PMR supplémentaires.
- L'impact des installations techniques sur les structures (charges exceptionnelles sur les structures, traversées de planchers, carreaux, fosses, siphons, réseaux enterrés divers, réservations, supports et planchers techniques, etc.). Il est rappelé qu'au stade de la présente étude APS, l'étude des installations techniques (CVC, plomberie, électricité, sécurité incendie) n'a pas été réalisée.
- L'impact des éventuelles installations scénographiques sur la structure (charges exceptionnelles, réservations, etc.).

1. INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES

1.1 Sondages de reconnaissances structurelles d'élévations en maçonnerie

Réalisation de sondages de reconnaissances structurelles des maçonneries au droit de la fissuration verticale des tableaux de baie sur fausse-braie de l'escalier à vis E503 par percements et auscultations endoscopiques afin d'identifier les dispositions constructives des maçonneries entre le mur de façade et le mur de refend principal, compris :

- Percements de la maçonnerie avec un diamètre réduit, ne dépassant pas 20 mm ;
- Inspection de la morphologie de la maçonnerie par caméra endoscopique à travers les percements réalisés ;
- Remise en état des parements par rebouchage des percements avec un mortier à la chaux, après la réalisation des auscultations par endoscope.

Localisation : Tour Robert de Parme, escalier à vis E503, tableaux de baies sur fausse-braie

2. INTERVENTIONS SUR LES MAÇONNERIES

2.1 Régénération de maçonneries de fondations

Régénération des maçonneries de fondations (maçonneries désorganisées, déjointoyées, présentant des vides ou un mortier peu adhérent / altéré) par passes alternées de 2 à 3 ml et jusqu'à une profondeur de 3 m par rapport au terrain naturel afin de redonner de la cohésion de la maçonnerie pour que les fondations retrouvent leur intégrité structurelle (actuellement menacée par le lessivage répété des maçonneries).

Une attention particulière sera portée aux zones de maçonneries comprises dans le battement de nappes, surfaces vraisemblablement plus altérées.



Ces prestations comprendront :

- Le décaissement préalable du terrain en phases afin de ne pas déstabiliser les maçonneries et les terres avoisinantes, y compris tous les moyens de soutènement provisoire du terrain, de maintien du mur de soutènement adjacent sur douve et de pompage des eaux et toutes dispositions d'éventuel accompagnement archéologique ;
- La dépose des éléments instables et éventuellement rapportés ;
- Les relancis en pierres et en harpage, de type similaire à l'existant ;
- Le rejointoiement au mortier de chaux compatible avec l'existant ;
- Le traitement par injection gravitaire contrôlée. Afin de réaliser ce contrôle strict, les injections feront l'objet d'un accompagnement géophysique de type auscultations géoradar ou tomographie sonique à ultrasons (ces mesures permettront en amont d'identifier les zones à traiter et à l'issue des travaux, de vérifier le comblement total des vides), compris :
 - > Mise en oeuvre d'un protocole d'injection (par essais de convenance, détermination du type de coulis, de la fluidité, de la viscosité, de la compatibilité des matériaux, du type d'injection gravitaire ou sous-pression, ou toutes autres sujétions) en cohérence avec les résultats des caractérisations physico-chimiques préalables des matériaux (pierres de taille, moellons et différents mortiers présents) ;
 - > Cartographie des vides en amont (via accompagnement géophysique) depuis le soubassement enterré extérieur ;
 - > Percements ;
 - > Injections gravitaires, horizontales, verticales et/ou obliques depuis le soubassement enterré des élévations ;
 - > Contrôle de l'efficacité des injections (via accompagnement géophysique) ;
 - > Fermeture des trous de forage à l'aide de mortier de chaux ;
 - > Toutes sujétions pour éviter les fuites d'injections dans la rivière.

Nota : Les investigations menées par l'entreprise Géolithe au cours de la précédente phase de diagnostic ont permis d'apprécier la qualité générale des maçonneries enterrées, voir rapport en annexe de la présente notice structurelle.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet structure : Aile François 1^{er} : Mur gouttereau nord (côté douve), depuis l'extérieur

2.2 Révision des dispositifs de renfort par tirants existants

Révision de l'ensemble des dispositifs de renforts par tirants existants, compris :

- Dépose préalable en conservation, numérotation et stockage des éléments composant les revêtements de plancher (tomettes ou parquets à haute valeur patrimoniale) ;
- Purge soignée des éventuels remplissages (augets, chape ou autre) si présents, pour accès au tirant, à réaliser par outillage manuel ou mécanique léger ;
- Évacuation des gravois ;

- Révision de la tension et des scellements des tirants ;
- Préparation de surface par brossage ;
- Application d'une protection anticorrosion sur toutes les faces des tirants ;
- Remise en place des remplissages purgés et réfection dito existant, selon nécessités, des éléments de support et/ou remplissage qui ne peuvent être reposés ;
- Repose du revêtement de sol.

Nota : Les complexes de planchers situés autour des tirants pourront être adaptés vis-à-vis des renforcements de planchers projetés. Au stade de la présente étude, certains tirants ont d'ores et déjà été identifiés comme présents au sein des renforcements de solivages projetés.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire, Aile François 1^{er} :

- > Plancher-haut niveau entresol RDC : 4 tirants,
- > Plancher-haut niveau entresol R+1 : 4 tirants]

2.3 Provision pour remplacement des dispositifs de renfort par tirants

Provision pour remplacement des dispositifs de renforts par tirants métalliques suivant état de conservation, compris :

- Toutes sujétions d'étaisements et butonnages préalables ;
- Dépose préalable en conservation et stockage des pierres de taille de parement des murs gouttereaux ;
- Dépose préalable en conservation, numérotation et stockage des éléments composant les revêtements de plancher (tomettes ou parquets à haute valeur patrimoniale) ;
- Purge soignée des éventuels remplissages (augets, chape ou autre) si présents, pour accès au tirant, à réaliser par outillage manuel ou mécanique léger ;
- Évacuation des gravois ;
- Extraction soignée des anciens dispositifs de renforts et notamment des ancrages dans les maçonneries ;
- Façonnage, fourniture et mise en oeuvre de nouveaux tirants en acier avec protection anticorrosion ;
- Percements par carottages et scellement dans la maçonnerie ;
- Mise en place de têtes de tirants ;
- Remise en place des remplissages purgés et réfection dito existant, selon nécessités, des éléments de support et/ou remplissage qui ne peuvent être reposés ;
- Repose du revêtement de sol ;
- Mise en place de têtes d'ancrages carrées ;
- Adaptation et repose des pierres de taille de parements préalablement déposées ;
- Rejointoiement soigné.

Localisation : Suivant état de conservation des tirants, Aile François 1^{er} : Planchers-haut niveaux entresol RDC et R+1 : provision 2 tirants



2.4 Renforcement du refend principal par clouage

Clouage du refend principal sur toute la hauteur des deux façades (sur douve et sur cour), entre ouvertures de baies et en évitant les conduits de cheminées principaux présents (les conduits de cheminées hors entresol seront privilégiés), compris :

- Dépose préalable en conservation et stockage des pierres de taille de parement des murs gouttereaux ;
- Forage à l'eau du trou, diamètre 80 mm, à l'outil de diamant jusqu'à des longueurs de 12 ml ;
- Mise en oeuvre d'une armature en acier inoxydable ou équivalent de diamètre 32 mm, y compris tout raccords intermédiaires ;
- Scellement à la résine époxy ou équivalent sous pression, contrôle de l'injection par la mise en oeuvre d'évents réguliers ;
- Mise en place de têtes d'ancrages carrées ;
- Adaptation et repose des pierres de taille de parements préalablement déposées ;
- Rejointoiement soigné.
- Adaptation et repose des pierres de taille de parements préalablement déposées ;
- Rejointoiement soigné.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire, Aile François 1^{er} : Refend principal, 5 tirants sur toute la hauteur des façades sur douve et sur cour

2.5 Renforcement de manteaux de cheminée par clouage

Renforcement des platebandes des manteaux de cheminée par la mise en oeuvre de tirants métalliques noyés dans la maçonnerie, compris :

- Forage à l'eau du trou et à l'outil de diamant, y compris conservation des carottes d'extrémités (10 cm environ) afin de les remettre en oeuvre après réalisation des tirants ;
- Mise en oeuvre d'une armature en acier inoxydable ou équivalent, y compris tout raccords intermédiaires ;
- Scellement à la résine époxy ou équivalent sous pression, contrôle de l'injection ;
- Mise en place de têtes d'ancrages carrées ;
- Pose du bouchon en pierre carotté ou fourniture et mise en place d'un bouchon en pierre de même nature ;
- Rejointoiement soigné ;
- Traitements des fissures situées au-dessus des manteaux de cheminées suivant postes 1.6 et 1.7.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire :

> Aile François 1^{er}, 5 unités : pièces 0.5.1 - 2.5.2 - 2.5.4 - 3.5.2 - 3.5.4 ;

> Tour Robert de Parme, 5 unités : pièces 0.5.6.e - 0.5.8.e - 1.5.6 - 1.5.6.e - 1.5.8.e

2.6 Traitement des fissures et ouvertures de joints principales

Traitement des fissures et ouvertures de joints principales dans les structures en maçonnerie par remaillage et goujonnage, sur l'ensemble des niveaux, compris :

- Dégagement des fissures ;
- Purge des mortiers,
- Dépose des éléments instables,
- Si présentes, traitement sans dépose et sans déstabiliser les anciennes agrafes métalliques par purge des mortiers existants, brossage, mise en place d'une protection anticorrosion sur toutes les faces et remise en état des parements par rebouchage des saignées avec un mortier à la chaux ;
- Goujonnage croisés à l'aide de joncs en fibre de verre ou de carbone scellés à la résine ou équivalents ;
- Si nécessaire, relancis de pierre de taille en remplacement de pierres fracturées, de type similaire à l'existant, en harpage ou en amélioration de l'harpage existant ;
- Relancis de pierre de taille en remplacement de pierres fracturées, de type similaire et en harpage avec l'existant ;
- Rejointoiement soigné ;
- Injection à faible pression de coulis de chaux.

Notas :

- D'une manière générale, une approche conservatrice avec goujonnage des pierres de taille sera préférée à un remplacement systématique des pierres fracturées par relancis.
- Dans le cas des murs de refends de l'aile François 1^{er}, les relancis seront toutefois préférés aux goujonnage et le traitement des fissures sera à effectuer sur les deux parements de la maçonnerie.
- Au stade de la présente étude, des agrafes ont été identifiées au sein des fissures en escalier présentent au sein de l'escalier E503.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet sommaire, aile François 1^{er} et Tour Robert de Parme

2.7 Traitement des fissures et ouvertures de joints secondaires

Traitement des fissures et ouvertures de joints secondaires dans les structures en maçonnerie par remaillage, sur l'ensemble des niveaux, compris :

- Dégagement des fissures ;
- Purge des mortiers,
- Dépose des éléments instables,
- Remaillage de la maçonnerie ;
- Rejointoiement soigné ;
- Injection à faible pression de coulis de chaux.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet sommaire, aile François 1^{er} et Tour Robert de Parme



2.8 Renforcement de linteaux de baie par plats métalliques

Renforcement de linteaux de baies par la mise en oeuvre de plats métalliques en acier inoxydable, scellées à la résine, compris :

- Toutes sujétions d'étalement préalable ;
- Si présents, dépose des plats métalliques existants ;
- Si nécessaire, dépose et repose des claveaux décomprimés, y compris toutes sujétions de goujonnage des claveaux fracturés, de relancis de claveaux en pierre de taille dito existant et de remaillage localisé de la maçonnerie ;
- Réalisation de nouvelles saignées ou adaptations des saignées existantes en sous-face des linteaux en pierre de taille ;
- Refouillement en parties hautes des tableaux de baie pour constitution d'une zone d'appui ;
- Nettoyage préalable des réservations avant mise en oeuvre des renforts ;
- Insertion des renforts métalliques en acier inoxydable, matage des appuis et scellement à la résine ;
- Rebouchage des saignées par mortier à la chaux ;
- Traitement des fissures et ouvertures de joints adjacentes aux linteaux préalablement renforcé (voir postes 1.6 et 1.7 suivant envergure des fissures).

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire :

> Aile François 1^{er}, 18 unités : Pièces 0.5.5 x 2 - 0.5.5.e x 2 (porte et cheminée) - 1.5.1 - 1.5.2 x 2 - 1.5.1.e - 1.5.5.e x 4 (baie, porte et cheminées) - 2.5.1 x 2 - 2.5.2 - 2.5.4 - 3.5.3 x 2 ;

> Tour Robert de Parme, 21 unités :

> pièces 0.5.7 (baie fausse baie) - 0.5.8 x 2 (porte et baie) - 0.5.8.e x 3 (portes et baie) - 1.5.8 - 1.5.6.e x 2 (portes) - 1.5.8.e (baie) - 2.5.7 x 2 (baies) - 2.5.8 x 2 (baie et porte) - 3.5.0 (porte) - 3.5.9 (porte) ;

> escalier E503 (portes niveaux RDC, Entresol RDC, R+1, Entresol R+1, R+2)

2.9 Provision pour traitement anticorrosion des renforcements de baies existants

Provision pour traitement anticorrosion des renforcements de baies existants corrodés et ne présentant pas de décompression de la maçonnerie, compris :

- Purge préalable des mortiers de remplissage des saignées altérés ;
- Brossage des plats métalliques jusqu'à élimination des traces de corrosion ;
- Traitement par peinture anticorrosion des plats métalliques ;
- Rebouchage des saignées par mortier à la chaux.

Localisation : En recherche, aile François 1^{er} et Tour Robert de Parme

2.10 Création de sommiers en pierre dure

Remplacement des appuis de poutres maîtresses de plancher au sein des élévations en pierre de taille par la mise en place de sommiers de répartition des charges en pierre dure afin d'améliorer la transmission des charges de planchers à la maçonnerie et afin de limiter les contraintes appliquées aux élévations, compris :

- Toutes sujétions préalables d'étalement de planchers ;
- Dépose préalable et en conservation des pierres de taille existantes et des pierres adjacentes ;
- Fourniture et mise en place de nouveaux sommiers en pierre de taille dure, compatibles et d'aspect similaire aux pierres existantes, y compris toutes sujétions d'adaptations de la fourrure et des pierres adjacentes pour permettre l'insertion des nouveaux sommiers ;
- Rejointoiement soigné.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire :

> En base : Aile François 1^{er}, 1 unité : 2.5.1. x 1

Tour Robert de Parme, 9 unités : pièces 0.5.8 x 1 - 0.5.8.e x 1 - 1.5.8.e x 2 - 2.5.7 x 1 - 2.5.8 x 2

> En provision : Tour Robert de Parme : 1.5.7 x 2 ;

> En provision : Aile François 1^{er} et tour Robert de Parme : Tous les autres appuis de poutres suivant confirmation des charges d'exploitations projetées

2.11 Consolidation des marches en pierre de taille d'escalier tournant fracturées

Consolidation des marches en pierre de taille d'escalier tournant fracturées par brochage, compris :

- Toutes dispositions d'étalement préalable ;
- Purge des mortiers et éventuels éléments instables ;
- Goujonnage à l'aide de joncs en fibre de verre ou de carbone scellés à la résine ou équivalents ;
- Ragréages ponctuels au mortier de chaux si nécessaire ;
- Injection des fissures par un mortier de chaux ;
- Révision des empochements des marches dans la maçonnerie en élévation ou sur le limon adjacent ;
- Rejointoiement des empochements et des interfaces entre marches à l'aide de mortier de chaux.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire :

> Aile François 1^{er}, 1 unité : escalier E502 : (plancher-haut niveau RDC) ;

> Tour Robert de Parme, 1 unité : escalier E503 : (plancher-haut niveau Entresol RDC)]



2.12 Remplacement des marches en pierre de taille d'escalier tournant lacunaires

Remplacement des marches en pierre de taille d'escalier tournant lacunaires, compris :

- Toutes dispositions d'étaieement préalable ;
- Remplacement des marches lacunaires par des pierres de taille de même nature, de caractéristiques mécaniques et d'aspect similaire, y compris goujonnage au droit de la vis centrale ;
- Révision des empochements des marches dans la maçonnerie en élévation ou sur le limon adjacent ;
- Rejointoiement des empochements et des interfaces entre marches à l'aide de mortier de chaux.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire, Tour Robert de Parme : escalier E505, R+1 / entresol R+1 : 3 unités

2.13 Révision des dalles de foyer de cheminée

Révision des dalles de foyer de cheminée, compris :

- Dépose préalable en conservation des dalles de foyer ;
- Dépose des remplissages en plâtre et briques ;
- Brossage et traitement anticorrosion des fentons, remplacement si nécessaire ;
- Réfection dito existant des remplissages ;
- Repose soignée et à l'identique des dalles de foyer.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire

> En Base : Aile François 1^{er} : plancher-haut de la pièce 1.5.1.e - 2.5.1

> En provision : Aile François 1^{er} et tour Robert de Parme : en recherche

2.14 Renforcement des refends pour la création d'une gaine d'ascenseur

Renforcement des refends en maçonneries de pierre de taille pour les besoins d'aménagement du projet (création d'une gaine d'ascenseur), dans le but de ne pas dégrader leur élancement et garantir leur stabilité. Les travaux comprendront au stade de la présente étude la mise en oeuvre de renforts métalliques scellés dans les maçonneries existantes de part et d'autre de la trémie du futur ascenseur. Ces profilés recevront des profilés perpendiculaires permettant de les relier et d'assurer le maintien vertical des refends. L'ensemble des éléments métalliques devra être protégé au feu.

Nota : Au stade de la présente étude, seule la mise en place des trémies pour la création d'une gaine d'ascenseur est prévue. Les travaux complémentaires de fondation et de création de la structure de l'ascenseur seront menés dans une tranche de travaux ultérieure. Aussi, le principe retenu pour la future structure est celui d'une ossature autoportante, qui permette par ailleurs de ne pas solliciter les structures existantes en superstructure.

Localisation : Aile François 1^{er} : refends de faible épaisseur de la travée des pièces X.5.3

3. INTERVENTIONS SUR LES PLANCHERS

3.1 Révision des planchers en bois

Révision des planchers en bois de l'ensemble de l'édifice, suivant état sanitaire préalable réalisé après dépose des revêtements et purges associés.

3.1.1 Relevé sanitaire préalable

- La réalisation d'un bilan sanitaire exhaustif des planchers en bois conservés, comprenant :
 - > La réalisation d'un diagnostic phytosanitaire des bois, à tous les niveaux de l'édifice et par un opérateur disposant des compétences requises, conformément à la norme NF P 03-200. Le diagnostic visera l'identification de l'ensemble des infestations fongiques et des attaques d'insectes xylophages, tout en précisant le statut des infestations (actives ou non-actives). Le diagnostic intégrera un examen visuel des parties visibles et accessibles, le sondage mécanique des bois, la réalisation de prélèvements et analyses de bois présentant une attaque fongique et les prescriptions de traitements préventifs et curatifs à réaliser sur les structures en bois des planchers.
 - > La réalisation d'un relevé d'état sanitaire exhaustif intégrant l'ensemble des défauts nuisant à la solidité des ouvrages (défauts d'assemblage, pourriture de bois, sections réduites, ruptures, amorces de cassures, corrosion d'éléments métalliques, défauts d'appui, etc.) ;

3.1.2 Travaux de révision des planchers

- Remplacement ponctuels de solives ou de poutres en parties courantes ou en about, présentant une altération avancée, par la mise en oeuvre de prothèses en bois de nature équivalente à celles existantes, compris toutes sujétions d'assemblage et de reprise associée des plafonds ;
- Remplacement complet de solives présentant une altération avancée (provision pour 2% de remplacement, à confirmer par les résultats de l'expertise des bois) ;
- Consolidations diverses en parties courantes ou en about de solives ou de poutres fracturées par mise en oeuvre d'un système de renforcement ;
- Provision pour le renforcement des appuis insuffisants de solives à l'aide de fixations de type tirefonds, fixés dans les poutres en bois ;
- Remaillage des gerces dans les éléments en bois existants, par mise en oeuvre de vis et injection des gerces à la résine ;
- Traitement préventif insecticide / fongicide de l'ensemble des éléments en bois des planchers par pulvérisation générale ;
- Provision pour le traitement curatif insecticide / fongicide par imprégnation des éléments présentant des pathologies parasitaires, à confirmer par les résultats de l'expertise des bois ;
- Dépose d'éléments divers ne participant pas à la solidité des ouvrages ;



- Révision des assemblages bois/bois ou bois/métal existant, comprenant le resserrage ou le remplacement ponctuel des chevilles d'assemblage présentant une mauvaise tenue et le renforcement partiel par ferrures, boulonnage et tout élément métallique compris percement, serrage et toutes sujétions de réalisation ;
- Traitement anticorrosion des éléments métalliques, compris préparation de surface par nettoyage et brossage ;

Une attention particulière sera portée aux lambourdes d'appui des solives sur les poutres maîtresses. Une révision systématique de ces dispositifs d'appui sera réalisée à travers un brochage des lambourdes, l'ajout de cales selon nécessités, le remplacement partiel de sections de bois, la révision des liernes et tous autres procédés permettant de rétablir un appui satisfaisant des solives sur les poutres maîtresses.

Localisation : Aile François 1^{er} et Tour Robert de Parme, planchers-hauts des niveaux RDC, ES RDC, R+1, ES R+1 et R+2

3.2 Renforcements structurels des planchers

Au stade de la présente phase d'avant-projet sommaire 2, deux campagnes de sondages de reconnaissances structurelles des planchers ont été réalisées. Ainsi, les vérifications générales de comportement des planchers (ELU, ELS et FEU) ont été effectuées sur la base de ces campagnes d'investigations. Par conséquent, les hypothèses de calculs des planchers non-sondés découlent d'analyses et d'interpolations des informations recueillies par les sondages et par les visites sur site. Les renforcements structurels seront par conséquent confirmés par la réalisation de sondages complémentaires de plancher au cours des prochaines phases d'études.

D'une manière générale, le parti d'intervention structurelle favorise une intervention minimale et, dans la mesure du possible, réversible sur les structures horizontales existantes. Il s'agira par ailleurs de privilégier les interventions qui ne présenteront pas d'impact visuel sur les ouvrages. Aussi, les solutions de reprise structurelle impliquant un renforcement par le dessous ne sont pas retenues étant donné l'absence de faux-plafonds. Par conséquent, des reprises structurelles par le dessus sont privilégiées au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire.

Les reprises structurelles par le dessus impliqueront des interventions sur les complexes de revêtement existants, majoritairement constitués de tomettes de terre cuite sur remplissage et de manière plus localisée, de parquets traditionnels sur lambourdes.

La méthodologie d'intervention intégrera les étapes suivantes :

- La réalisation d'études d'exécution (relevés géométriques de l'existant, notes de calcul, plans et détails d'exécution, fiches techniques, etc) ;
- Étaiements préalables et butonnage des élévations selon nécessités ;
- Documentation préalable des revêtements (relevés, numérotation, reportage photographique, etc.) ;
- Dépose soignée des revêtements au droit des zones d'intervention par un artisan qualifié (parquets ou tomettes), compris conditionnement et stockage provisoire ;
- Dégagement soigné des remplissages pour mise à nu de la structure, le cas échéant ;
- Relevé des structures existantes, compris des déformations réelles ;
- Mise en oeuvre des renforts sur les poutres et/ou les solives suivant protocoles précisés ci-après ;
- Si nécessaire, restitution des remplissages en plâtre ou équivalent pour obtenir le degré coupe-feu réglementaire ;
- Repose des revêtements existants suivant les dispositions initiales, compris toutes adaptations nécessaires en interface avec les éléments de renforts, adaptation de lambourdes, calage supplémentaires, remplissages, etc. ;
- Dépose des étaiements et mise en charge des structures.

3.2.1 Renforcements structurels des solivages par table de compression en bois

Renforcements structurels de solives en bois par la mise en oeuvre de table de compression en bois LVL type Kerto-Q ou équivalent, connectée aux sections existantes, compris nettoyage des extrados des poutres, éventuelle recoupe des abouts de solives, mise en oeuvre de fourrures débillardées de chêne massif ou en LVL pour rattrapage de la planéité des structures, mise en oeuvre de table de compression en panneaux de bois LVL type Kerto-Q ou équivalent, collage et connexion par vis aux sections existantes.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet sommaire, aile François 1^{er} et Tour Robert de Parme, planchers-hauts des niveaux RDC, ES RDC, R+1, ES R+1 et R+2

3.2.2 Renforcements structurels des poutres par table de compression en résine

Renforcements structurels de poutres maîtresses de plancher en bois par la mise en oeuvre d'une table de compression en béton de résine ou équivalent (LVL, etc.), connectée aux sections existantes, compris nettoyage des extrados des poutres, éventuelle recoupe des abouts de solives, ferrailage, coulage de table de compression en résine ou équivalent et éventuelle connexion aux sections existantes par joncs de fibre de verre / carbone ou équivalent.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet sommaire, aile François 1^{er} et Tour Robert de Parme, planchers-hauts des niveaux RDC, ES RDC, R+1, ES R+1 et R+2



3.2.3 Renforcements structurels des poutres par profilés métalliques

Renforcements structurels de poutres maîtresses du plancher-bas des combles en bois, par la mise en oeuvre de profilés métalliques de type HEB 450, reprenant l'ensemble des charges issues des solivages adjacents, compris dépose, adaptation et éventuelle recoupe des abouts de solives, compris mise en oeuvre des poutres métalliques en acier protégées contre le feu par peinture intumescentes, appuyées sur les murs gouttereaux, compris toutes dispositions d'appuis sur les maçonneries et toutes dispositions pour assurer la continuité de la protection au feu du plancher.

En variante au renforcement structurel des poutres maîtresses du plancher-bas des combles, création d'un plancher indépendant, constitué de poutres en bois de type lamellé collé (ou métal) et d'un solivage en bois, reprenant l'ensemble des charges d'exploitation du plancher, compris toutes dispositions d'appuis sur les maçonneries et toutes sujétions de protection au feu.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet sommaire, aile François 1er, plancher-haut du niveau R+2

3.2.4 Renforcements structurels des poutres armées en bois

Renforcements structurels des poutres armées en bois par la mise en place de profilés métalliques de type PRS entourant la poutre armée, compris dépose, adaptation et éventuelle recoupe des abouts de solives, mise en oeuvre des poutres métalliques protégées contre le feu par peinture intumescentes, appuyés sur les murs gouttereaux, disposés de part et d'autre des arbalétriers et toutes sujétions d'assemblage des profilés métalliques, compris toutes dispositions d'appuis sur les maçonneries et toutes sujétions de protection au feu du plancher.

Localisation : Suivant plans d'avant-projet sommaire, aile François 1er et Tour Robert de Parme, planchers-hauts des niveaux ES RDC et ES R+1

3.3 Reprise des appuis de poutres maîtresses en bois

Provision pour reprise des appuis de poutres maîtresses en bois par la greffe en bois, compris :

- Etalement préalable des planchers concernés ;
- Dépose d'éventuels renforts anciens ;
- Refouillements localisés de la maçonnerie pour dégagement des sections ;
- Bûchage des zones malsaines ;
- Mise en oeuvre de greffes en bois, assemblées par enture, de nature et de caractéristiques similaires à l'existant ;
- Restitution de la maçonnerie adjacente hourdée au mortier de chaux ;
- Injection de coulis de chaux dans la maçonnerie.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire

> En Base : Aile François 1^{er} : plancher-haut R+2, 2 appuis de poutres

> En provision : Aile François 1^{er} : plancher-haut R+2, 2 appuis de poutres

3.4 Remplacement de chevêtre en bois

Remplacement de chevêtre en bois au droit d'une baie, compris :

- Toutes sujétions d'étalement préalable du plancher ;
- Dépose de l'ancien chevêtre en bois détérioré ;
- Reprise des zones d'appui en parties hautes des tableaux de baies et refouillement si nécessaire ;
- Nettoyage préalable des réservations avant mise en oeuvre du nouveau linçoir ;
- Mise en place d'un nouveau chevêtre en bois de nature et de dimensions similaires à l'existant, compris toutes sujétions d'adaptations et de reprise des assemblages avec les solives conservées ;
- Matage des appuis ;
- Scellement au mortier de chaux.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire

> Aile François 1^{er} : baie sur cour de la pièce 1.5.1

3.5 Provision pour le renforcement de chevêtres en bois

Provision pour le renforcement de chevêtres en bois par mise en oeuvre de flasques en bois de type LVL ou équivalent, pour augmentation de leur capacité portante, compris dégagement préalable des dalles de cheminées, et remise en place dito existant après intervention.

Localisation : Provision pour le renforcement de 20% des chevêtres

3.6 Protections au feu des structures

Le critère de protection au feu retenu pour l'ensemble des planchers dans le cadre de la présente étude est EI 90 minutes.

Compte tenu de l'impossibilité de mettre en oeuvre des dispositifs de protection au feu par le dessous, pour des raisons de conservation patrimoniale et de limitation des impacts sur les structures existantes, le principe retenu consiste à assurer la protection au feu par le dessus des planchers. Cette approche implique que les structures doivent également garantir une stabilité au feu (R) équivalente au critère d'étanchéité au feu (EI).

Ainsi, l'ensemble des planchers doit répondre au critère **REI 90 minutes**.

Les solutions identifiées pour atteindre les exigences réglementaires sont les suivantes :

- Pose d'une chape sèche, constituée de plaques de sol sur une couche de nivellement, lorsque les planchers existants satisfont les critères de portance à froid ainsi que les exigences de stabilité au feu ;

Mise en oeuvre d'une table de compression en bois, type LVL (Kerto-Q ou équivalent), lorsque les planchers existants ne répondent pas aux critères de portance à froid et/ou de stabilité au feu.



Les travaux comprendront par ailleurs :

- Le traitement des rives, interfaces (poutres, tirants, etc.) et le calfeutrement afin de garantir la continuité de la protection au feu ;
- La mise en œuvre de protections au feu sur les structures métalliques conservées ou projetées, par encoffrement ou peinture intumescente, selon les contraintes techniques ou architecturales ;
- La réalisation d'avis de chantier, lorsque nécessaire, afin d'assurer la continuité de la protection, notamment aux interfaces entre solives et poutres.

Localisation : Ensembles des planchers de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme

3.5 Création de chevêtres en bois pour la future gaine d'ascenseur

Création de chevêtres en bois pour reprise des structures de planchers au droit des trémies à créer pour les besoins d'aménagement du projet (gaine d'ascenseur projetée), en parallèle des travaux de renforcements des refends en maçonneries adjacents, compris :

- Etalements préalables ;
- Purge du plancher jusqu'au solivage ;
- Numération et stockage soigné sur le site des revêtements de sols déposés (tomettes et parquets)-;
- Découpe soignée des sections de solives existantes ;
- Mise en œuvre de nouvelles sections formant chevêtres, de nature et de caractéristiques mécaniques similaires à l'existant, compris assemblages traditionnels, réutilisation et adaptation des bois déposés ;
- Provision pour le renforcement ou le remplacement des solives transformées en solives d'enchevêtrement ;
- Restitution des complexes de planchers autour du chevêtre créé ;
- Mise en place d'une fermeture en bois des trémies, compris toutes sujétions de continuité de la protection au feu des planchers.

Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire, Aile François 1^{er} : planchers de la travée des pièces X.5.3

4. CHARPENTES

4.1 Renforcement des appuis de la charpente

Renforcement des appuis de la charpente à chevrons formant fermes de l'aile François 1^{er} par la mise en place d'un système de tirants métalliques afin de neutraliser les efforts horizontaux résiduels qui s'appliquent sur les murs longitudinaux (murs gouttereaux). Les systèmes de renforcements projetés au droit des appuis de la charpente pourront être dissimulés derrière l'habillage en plâtre et au sein des nouvelles structures de planchers projetés.

Au stade de la présente étude d'avant-projet sommaire, deux variantes ont été étudiées :

- Variante A : Tirants passant à travers les complexes de planchers projetés et à travers les pannes salières existantes à l'aide de percements localisés ;
- Variante B : Tirants passant à travers les complexes de planchers projetés et décalés à l'aide d'assemblages métalliques par platines permettant d'abaisser le niveau des tirants au droit des sablières ;
- > Nota : Les platines d'assemblages de la variante B présentent une excroissance vis-à-vis des structures de charpente existantes.

Ces prestations comprendront :

- La mise en oeuvre et la fixation de chaînages métalliques horizontaux en acier de type S235 de profilés carré 120 x 120 x 3 mm, traités par peinture anticorrosion, fixés aux blochets par plats métalliques permettant d'assurer l'interface avec les tirants nouvellement créés ;
- La mise en oeuvre et la fixation des tirants en acier de type S235, de 30 mm de diamètre, traités anticorrosion par peinture thermolaquée ou par métallisation, y compris toutes dispositions d'assemblage et/ou d'adaptation des structures suivant la variante retenue.

Nota : Des trappes d'accès seront prévues dans les planchers afin de permettre le resserrage ultérieur des tirants.

[Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire, charpente de l'aile François 1^{er}]

4.2 Reprise des blochets fracturés

Reprise des blochets fracturés par remplacement en bois de nature similaire à l'existant, y compris toutes sujétions d'assemblages aux éléments existants.

[Localisation : Charpentes de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme]



4.3 Remplacements partiels localisés d'éléments en bois

Remplacements partiels localisés d'éléments en bois présentant une infestation importante, un pourrissement important ou des gerces trop importantes, par la mise en oeuvre de bois de nature et de sections identiques, compris assemblage et liaison à l'existant.

[Localisation : Suivant plans structure d'avant-projet sommaire, charpentes de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme]

4.4 Révision des assemblages

Révision des assemblages, compris :

- Contrôle systématique de l'ensemble des assemblages bois/bois et métalliques (chevilles, tirefonds, boulons, brides, pattes, etc.), serrage de ceux desserrés.

Provision de remplacement de ceux défectueux et complément de ceux manquants.

- Brossage et traitement anticorrosion des assemblages métalliques et des profilés de contreventements des charpentes.

[Localisation : Charpentes de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme]

4.5 Traitement curatif et préventif

Suite à la réalisation du diagnostic phytosanitaire préalable, traitement curatif et préventif des bois de charpente, compris :

- Traitement préventif insecticide / fongicide de l'ensemble des éléments bois par pulvérisation générale ;
- Provision pour traitement insecticide / fongicide par imprégnation des éléments présentant des pathologies parasitaires.

[Localisation : Charpentes de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme, en recherche suivant état sanitaire préalable par une entreprise spécialisée]

4.6 Traitement des gerces

Réparation des gerces sur les éléments de charpente suivant typologie et envergure, compris :

- Gerces faibles à modérées et non situées sur une pièce sollicitée au cisaillement : colmatage des gerces par un produit adapté, non rigide ;
- Gerces modérées situées sur des pièces sollicitées au cisaillement : brochage et injection des gerces par un produit adapté non rigide ;
- Gerces importantes situées sur des pièces sollicitées au cisaillement ou gerces pathologiques : remplacement complet ou partiel de la pièce concernée.

[Localisation : Charpentes de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme, en recherche]

4.7 Nettoyage des charpentes

Nettoyage des charpentes en bois, compris :

- Brossage des bois et suppression des couches détériorées et malsaines jusqu'à apparition du bois sain ;
- Dépoussiérage général et nettoyage des combles.

[Localisation : Charpentes de l'aile François 1^{er} et de la tour Robert de Parme]



VI. RÉFÉRENCES ET SUIVI

> DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- Carnet de plans existants, agence Maël de Quelen, AMCH ;
- Etude d'emplacement d'un ascenseur, agence Maël de Quelen, AMCH ;
- Etude historique du château de Chambord, agence Chatillon architectes, ACMH.

> SUIVI

Document réalisé par : Tristan Nève, Léa Baron, Claire Peyrard, Constance Boogaerts

Relecture réalisée par : Houssem Dlala

VII. ANNEXES

- Annexe 01 : Pièces graphiques - Plans de projet structure
- Annexe 02 : Pièces graphiques - Cartographies de portance projet
- Annexe 03 : Diagnostic géotechnique complémentaire des fondations, Géolithe, juin 2024