

Rectorat de l'Académie de Créteil  
4, rue Georges Enesco  
94010 CRÉTEIL CEDEX

A l'attention de Monsieur PUCCI,



Antony, le 10 juillet 2021

N/Réf : STO-20-373 - RAPP - A - Académie Créteil - Diagnostic structurel de toitures - Internat d'Excellence de Sourdun

**Affaire suivie par :**

Simon Taillebois

[simon.taillebois@structureo.fr](mailto:simon.taillebois@structureo.fr)

Tel : 06 49 55 86 76

## Diagnostic structurel de Toitures - Internat d'Excellence de Sourdun -

Edifice :

Internat d'Excellence de Sourdun  
100, rue de Paris  
77487 SOURDUN

A la demande et  
pour le compte de :

Rectorat de l'Académie de Créteil  
4, rue Georges Enesco  
94010 CRÉTEIL CEDEX



## Sommaire

<b>1.</b>	<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>4</b>
1.1	OBJET DU MARCHE .....	4
<b>2.</b>	<b>MISSION DE STRUCTUREO ET METHODOLOGIE D'INTERVENTION .....</b>	<b>5</b>
2.1	COMPREHENSION DU BATIMENT .....	5
2.2	INSPECTION VISUELLE ET SANITAIRE .....	5
<b>3.</b>	<b>RECONNAISSANCE STRUCTURELLE.....</b>	<b>6</b>
3.1	DESCRIPTION GENERALE DES OUVRAGES .....	6
3.2	BATIMENT N°3 : CHARPENTE METALLIQUE .....	7
3.2.1	Les accès.....	7
3.2.2	Description structurelle .....	7
3.2.3	Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 3.....	9
3.2.4	Etat sanitaire de la charpente.....	9
3.3	BATIMENT N°6 : CHARPENTE BETON ARME .....	10
3.3.1	Les accès.....	10
3.3.2	Description structurelle .....	10
3.3.3	Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 6.....	11
3.3.4	Etat sanitaire de la charpente.....	11
3.4	BATIMENT N°7 : CHARPENTE BETON ARME .....	12
3.4.1	Les accès.....	12
3.4.2	Description structurelle .....	12
3.4.3	Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 7.....	13
3.4.4	Etat sanitaire de la charpente.....	13
3.5	BATIMENT N°13 : CHARPENTE BETON ARME .....	14
3.5.1	Les accès.....	14
3.5.2	Description structurelle .....	14
3.5.3	Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 13.....	15
3.5.4	Etat sanitaire de la charpente.....	15
3.6	BATIMENT N°14 : CHARPENTE BETON ARME .....	16
3.6.1	Les accès.....	16
3.6.2	Description structurelle .....	16
3.6.3	Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 14.....	17
3.6.4	Etat sanitaire de la charpente.....	17
3.7	BATIMENT N°58 : CHARPENTE BOIS.....	18
3.7.1	Les accès.....	18
3.7.2	Description structurelle .....	18
3.7.3	Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 58.....	19
3.7.4	Etat sanitaire de la charpente.....	19
<b>4.</b>	<b>RELEVÉ DES DESORDRES.....</b>	<b>20</b>
4.1	DESORDRES DU BATIMENT 3 .....	20
4.2	DESORDRES DU BATIMENT 6 .....	24
4.3	DESORDRES DU BATIMENT 7 .....	26
4.4	DESORDRES DU BATIMENT 13 .....	30
4.5	DESORDRES DU BATIMENT 14 .....	32
4.6	DESORDRES DU BATIMENT 58 .....	35

<b>5.</b>	<b>SONDAGES NON-DESTRUCTIFS ET DESTRUCTIFS.....</b>	<b>36</b>
5.1	ESSAIS SCLEROMETRIQUES SUR PANNES BASSES DES BATIS 6-7-13-14 .....	36
5.2	SONDAGES RADAR ET DESTRUCTIFS EFFECTUES DANS LE BATI N°6.....	38
5.3	SONDAGES RADAR ET DESTRUCTIFS EFFECTUES DANS LE BATI N°7 .....	39
5.4	SONDAGES RADAR ET DESTRUCTIFS EFFECTUES DANS LE BATI N°13 .....	40
5.5	SONDAGES RADAR ET DESTRUCTIFS EFFECTUES DANS LE BATI N°14 .....	41
<b>6.</b>	<b>CALCUL DES CAPACITES PORTANTES ET MESURES DE FLECHES DES PANNES .....</b>	<b>42</b>
6.1	HYPOTHESES DE CHARGEMENTS .....	42
6.1.1	<i>Charges Permanentes .....</i>	<i>42</i>
6.1.2	<i>Charges d'exploitations (Q) .....</i>	<i>42</i>
6.1.3	<i>Charges de neige (S).....</i>	<i>42</i>
6.1.4	<i>Charges de vent (W+ et W-).....</i>	<i>43</i>
6.1.5	<i>Charges sismiques (E).....</i>	<i>49</i>
6.1.6	<i>Charges d'incendie.....</i>	<i>49</i>
6.1.7	<i>Combinaisons de charges pour les éléments bois .....</i>	<i>49</i>
6.1.8	<i>Mode d'action des charges extérieures.....</i>	<i>49</i>
6.2	HYPOTHESES SUR LE BOIS .....	50
6.3	HYPOTHESES SUR LE BETON ARME.....	52
6.4	CHARPENTE DU BATIMENT N°3 (FERMES INDUSTRIELLES ET PANNES METALLIQUES) .....	53
6.4.1	<i>Hypothèses des charges .....</i>	<i>53</i>
6.4.2	<i>Vérification par le calcul.....</i>	<i>54</i>
6.4.3	<i>Mesure de la flèche.....</i>	<i>60</i>
6.5	CHARPENTE DU BATIMENT N°6 (PANNES EN BETON ARME) .....	61
6.5.1	<i>Hypothèses des charges .....</i>	<i>61</i>
6.5.2	<i>Vérification par le calcul.....</i>	<i>62</i>
6.5.3	<i>Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°6.....</i>	<i>68</i>
6.6	CHARPENTE DU BATIMENT N°7 (PANNES EN BETON ARME) .....	69
6.6.1	<i>Hypothèses des charges .....</i>	<i>69</i>
6.6.2	<i>Vérification par le calcul.....</i>	<i>70</i>
6.6.3	<i>Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°7.....</i>	<i>76</i>
6.7	CHARPENTE DU BATIMENT N°13 (PANNES EN BETON ARME) .....	77
6.7.1	<i>Hypothèses des charges .....</i>	<i>77</i>
6.7.2	<i>Vérification par le calcul.....</i>	<i>78</i>
6.7.3	<i>Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°13.....</i>	<i>84</i>
6.8	CHARPENTE DU BATIMENT N°14 (PANNES EN BETON ARME) .....	85
6.8.1	<i>Hypothèses des charges .....</i>	<i>85</i>
6.8.2	<i>Vérification par le calcul.....</i>	<i>86</i>
6.8.3	<i>Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°14.....</i>	<i>92</i>
6.9	CHARPENTE DU BATIMENT N°58 (PANNES EN BOIS) .....	93
6.9.1	<i>Hypothèses des charges .....</i>	<i>93</i>
6.9.2	<i>Vérification par le calcul.....</i>	<i>93</i>
6.9.3	<i>Mesure de la flèche des pannes bois du bâti n°58 .....</i>	<i>102</i>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>PRECONISATIONS .....</b>	<b>108</b>
<b>9.</b>	<b>PRECHIFFRAGE .....</b>	<b>109</b>

## 1. AVANT-PROPOS

---

### 1.1 Objet du marché

Suite à l'apparition de désordres constatés au niveau des toitures de plusieurs bâtiments de l'Internat d'Excellence de Sourdun situé au 100 rue de Paris à Sourdun (77487), le BET STRUCTUREO a été mandaté par l'Académie de Créteil, maître d'ouvrage, représentée par M. PUCCI, afin de réaliser le diagnostic structurel des toitures de 6 bâtiments indépendants, les numéros 3, 6,7, 13,14 et 58, et de proposer, si nécessaires, des préconisations de traitements, de renforts et d'études complémentaires ainsi qu'une estimation du coût des travaux - lot structure.

Ce diagnostic porte sur les différents éléments porteurs et de charpente constitutifs des édifices afin d'établir un état des lieux de la structure sur les parties visibles et accessibles lors de l'inspection.

La présente étude a ainsi pour objectif de caractériser la charpente des toitures des bâtiments existants puis de déterminer la capacité portante et la mesure de flèche des éléments structurels (pannes en béton de charpente) à l'état existant. La présente étude concerne ainsi uniquement la structure reprenant la toiture soit la charpente et les voiles reprenant les charges de la charpente.

La présente étude a pour objet les prestations suivantes :

- Une inspection visuelle complète de l'ensemble des toitures des 6 bâtiments pour le diagnostic des pathologies/désordres rencontrés au droit des structures concernées par la demande. Ces désordres sont classés par ordre de gravité afin d'indiquer les travaux de réparation à réaliser ;
- Un relevé lasergrammétrique 3D de l'ensemble des charpentes de toitures des 6 bâtiments (relevé intérieur seulement de la charpente) ;
- La réalisation des plans et coupes des bâtiments (dans les zones accessibles) ;
- Le diagnostic des porteurs horizontaux (pannes béton et chevrons bois), afin de reconnaître leurs caractéristiques par sondages non-destructifs et destructifs pour les pannes en bois (nature, géométrie, sens de portée, estimation de la résistance mécanique, calcul de capacité portante et de la flèche) ;
- Le diagnostic des éléments verticaux (voiles) reprenant les éléments structurels de charpente et les charges de la toiture, afin de reconnaître leurs caractéristiques par sondages non-destructifs et ponctuellement destructifs (géométrie, type) ;
- Des préconisations/solutions de traitement des pathologies/renforcements structurels (si données recueillies suffisantes) et d'études complémentaires ;
- Un estimatif des préconisations/solutions proposées à la suite de l'état des lieux ;
- Un estimatif des études complémentaires (sondage complémentaires, études géotechnique, etc...) si nécessaires pour les préconisations.



## 2. MISSION DE STRUCTUREO ET METHODOLOGIE D'INTERVENTION

Une équipe STRUCTUREO composée d'un ingénieur et d'un technicien est intervenue sur site du 8 au 9 avril 2021. Une inspection visuelle des charpentes et le relevé géométrique des structures, ont été réalisés pour la reconnaissance structurelle des charpentes des 6 bâtiment reprenant les toitures vêtues d'une couverture en tuiles mécaniques.

Un technicien supplémentaire est également intervenu du 8 au 9 avril 2021 afin d'effectuer le relevés lasergrammétrique des 6 charpentes concernées par l'étude (les nuages de points pourront être transmis à la demande à la MOA si besoin).

### 2.1 Compréhension du bâtiment

Une compréhension globale du bâtiment a été effectuée afin de relever les informations nécessaires pour essayer d'identifier l'origine des désordres si possible.

Des sondages non-destructifs et destructifs ponctuels ont également été effectués dans le but de caractériser les matériaux (nature et épaisseur), les désordres et d'essayer d'identifier leur origine pour la proposition de préconisations par la suite.

### 2.2 Inspection visuelle et sanitaire

Suite au recueil des données, une inspection sur site et des relevés des structures ont été nécessaires afin de repérer et de classer les désordres par ordre de gravité. L'objectif étant de déterminer l'étendue des désordres, leur gravité et les travaux nécessaires pour assurer la pérennité de l'ouvrage (seuls les désordres pertinents sont présentés).

#### Référentiel IQOA :

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

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

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

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

L'état des équipements métalliques et des aciers repérés sera classifié grâce aux indices suivant :

Indice	Correspondance
I0	Métal gris. Dégradation nulle, armature intact
I1	Métal teinté légèrement (rouille). Oxydation superficielle. Pas de formation d'oxyde épais.
I2	Métal rouillé. Présence d'oxyde de fer épais. Perte d'épaisseur peu appréciable du métal.
I3	Métal rouillé. Présence d'oxydes non adhérents et foisonnant. Perte d'épaisseur appréciable du métal.

### 3. RECONNAISSANCE STRUCTURELLE

#### 3.1 Description générale des ouvrages

L'internat d'Excellence de Sourdun est installé en 2009 sur un ancien site militaire localisé à Sourdun au 100 rue de Paris en Seine-et-Marne. L'internat se compose de plusieurs bâtiments répartis sur l'ensemble du site et abritant des salles de cours, un restaurant scolaire, un gymnase, les services administratifs, plusieurs logements, une station d'épuration des eaux usées, un château d'eau etc...

Les bâtiments dont les toitures sont concernées par l'étude sont localisés sur la figure 1. Il s'agit des bâtiments 3, 6, 7, 13, 14 et 58. Après études des vues aériennes IGN (source : <https://remonterletemps.ign.fr/>), il semble que les bâtiments du site n'aient pas été construits à la même époque : les bâtis 6, 7, 13 et 14 auraient été construits entre 1961 et 1965, le bâti 3 daterait de 1967 tandis que le bâtiment 58 daterait de 1998-1999.



Figure 1 : Vue aérienne du site de l'Internat de Sourdun et localisation (en rouge) des bâtis inspectés.

Trois types de toitures différents ont pu être observés lors de l'intervention :

- Charpente béton : Bâti 13, 14, 6 et 7
- Charpente métallique : Bâti 3
- Charpente Bois : Bâti 58



L'ensemble des toitures concernées par l'étude sont couvertes de tuiles mécaniques en terre cuite.



Figure 2 : Bâtiment n°58



Figure 3 : Bâtiments n°6 (à g.) et 7 (à d.)



Figure 4 : Bâtiments n°13



Figure 5 : Bâtiments n°3



Figure 6 : Bâtiments n°14

### 3.2 Bâtiment n°3 : Charpente Métallique

#### 3.2.1 Les accès

Le bâtiment comporte un sous-sol, un rez-de-chaussée et un étage (R+1). L'accès à la charpente métallique du bâti n°3 s'effectue par des trappes d'accès au-dessus du R+1. Les relevés et sondages (destructifs et non-destructifs) ont été effectués de l'intérieur.

#### 3.2.2 Description structurelle

La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 29° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 55 %.

La charpente est constituée d'une structure métallique, excepté les chevrons en bois.

Les éléments principaux d'une trame de charpente avec ferme sont décrits ci-dessous :

- Chevrons espacés de 0.37 m (entraxe) en moyenne ;
- Une panne faîtière ;
- Trois pannes intermédiaires par pan de toiture ;

- Une ferme métallique (ou poutre-treillis) avec :
  - Deux Arbalétriers
  - Huit Diagonales
  - Six Montants
  - Un poinçon
  - Un entrait retroussé

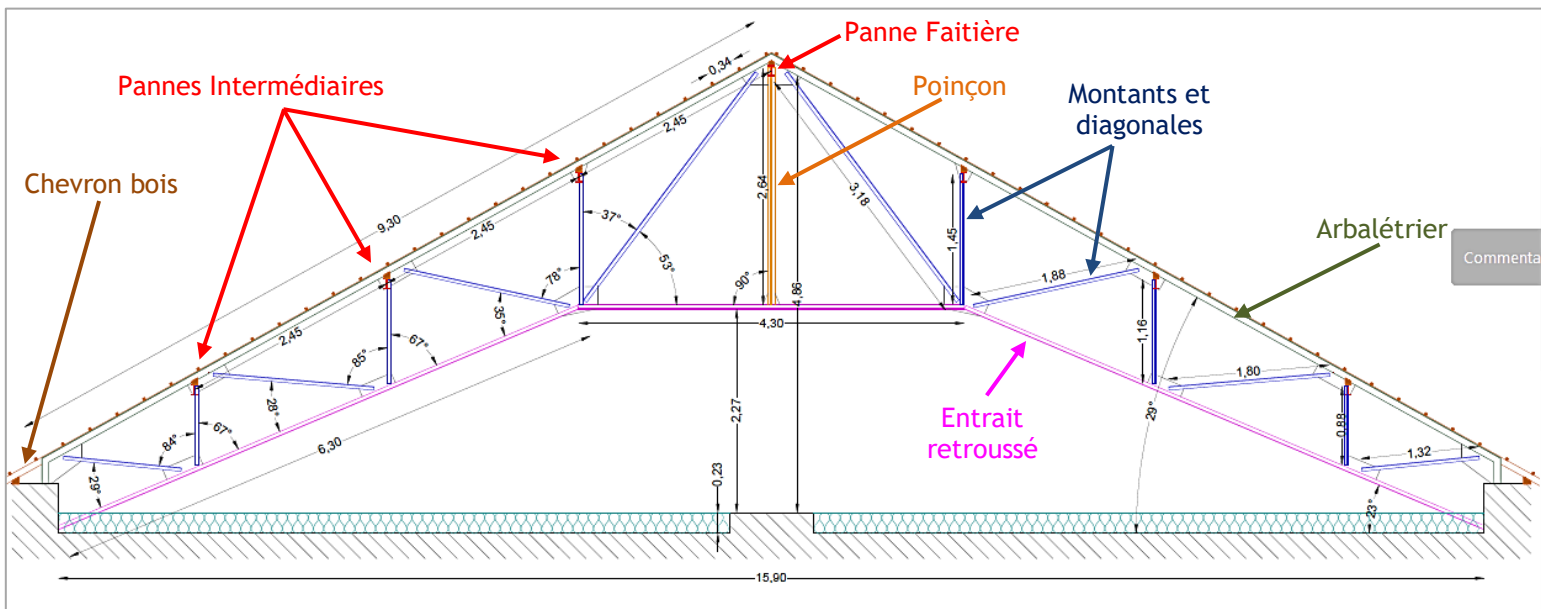


Figure 7 : Coupe AA' de principe d'une ferme du bâtiment 3 (unités en m)

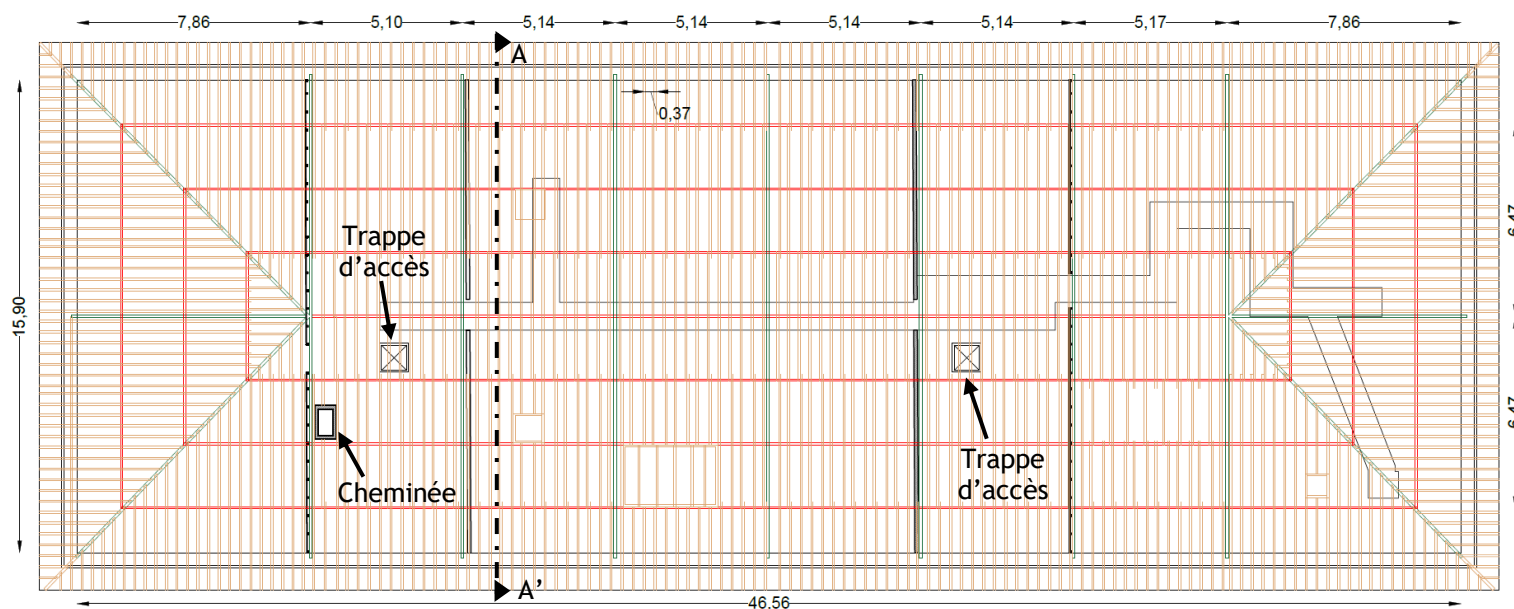


Figure 8 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 3 (unités en m) avec les fermes métalliques en vert, les pannes métalliques en rouges, et les chevrons bois en marron



Figure 9-10 : Vues intérieures de la charpente métallique du bâti 3

### 3.2.3 Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 3

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des éléments constitutifs de la charpente, relevés sur site lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO :

	Type	Hauteur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur âme	Epaisseur aile
Chevrons	Bois	70	70		
Panne faitière	Métal - Type IPE AA 120	11,7	63,5	5,5	6
Pannes intermédiaires	Métal - Type IPE AA 120	11,7	63,5	5,5	6
Arbalétriers	Métal	78	131	7	7
Diagonales	Métal	44	84	6,4	6,4
Entrait	Métal	44	94	5	5
Poinçon et Montants	Métal	44	84	6,4	6,4

La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34,5 cm en moyenne à l'entraxe) qui semblent être recouverts de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule.

La charpente repose sur les voiles périphériques du bâtiment. Ces éléments sont maçonnés, ils n'ont pas été relevés lors de la mission du BET STRUCTUREO.

### 3.2.4 Etat sanitaire de la charpente

Lors de son inspection, il a pu être constaté que la charpente métallique présentait une corrosion généralisée d'indice i1. Il a été constaté quelques désordres sur certains éléments de couvertures (chevrons, tuiles).

La localisation de ces désordres est présentée dans le paragraphe consacré. Ces désordres ont été observés sur les éléments visibles et accessibles.







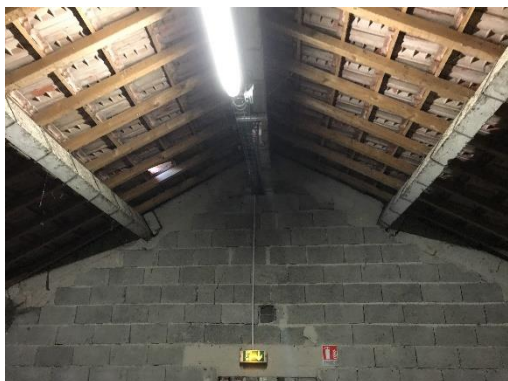


Figure 13-14 : Vues intérieures de la charpente béton du bâti 6

### 3.3.3 Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 6

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des éléments constitutifs de la charpente, relevés sur site lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO :

	Hauteur (mm)	Largeur (mm)
Chevrons	78	55
Panne faitière	250	125
Pannes intermédiaires	250	125

La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) et de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule.

### 3.3.4 Etat sanitaire de la charpente

Lors de son inspection, il a pu être constaté que la charpente présente plusieurs désordres (fissuration des pannes, fissures sur voiles parpaing) mais également sur certains éléments de couverture (tuiles). La localisation de ces désordres est présentée dans le paragraphe consacré. Ces désordres ont été observés sur les éléments visibles et accessibles ou lors des sondages destructifs.

### 3.4 Bâtiment n° 7 : Charpente Béton Armé

#### 3.4.1 Les accès

Le bâtiment comporte un sous-sol, un rez-de-chaussée et un étage (R+1). L'accès à la charpente du bâti n° 7 s'effectue par des trappes d'accès au-dessus du R+1. Les relevés et sondages (destructifs et non-destructifs) ont été effectués de l'intérieur.

#### 3.4.2 Description structurelle

La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 30° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 58 %.

La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :

- Chevrons bois espacés de 0.40 m (entraxe) en moyenne ;
- Une panne faîtière en béton armé ;
- Trois pannes intermédiaires en béton armé par pan de toiture ;
- Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 15 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné.

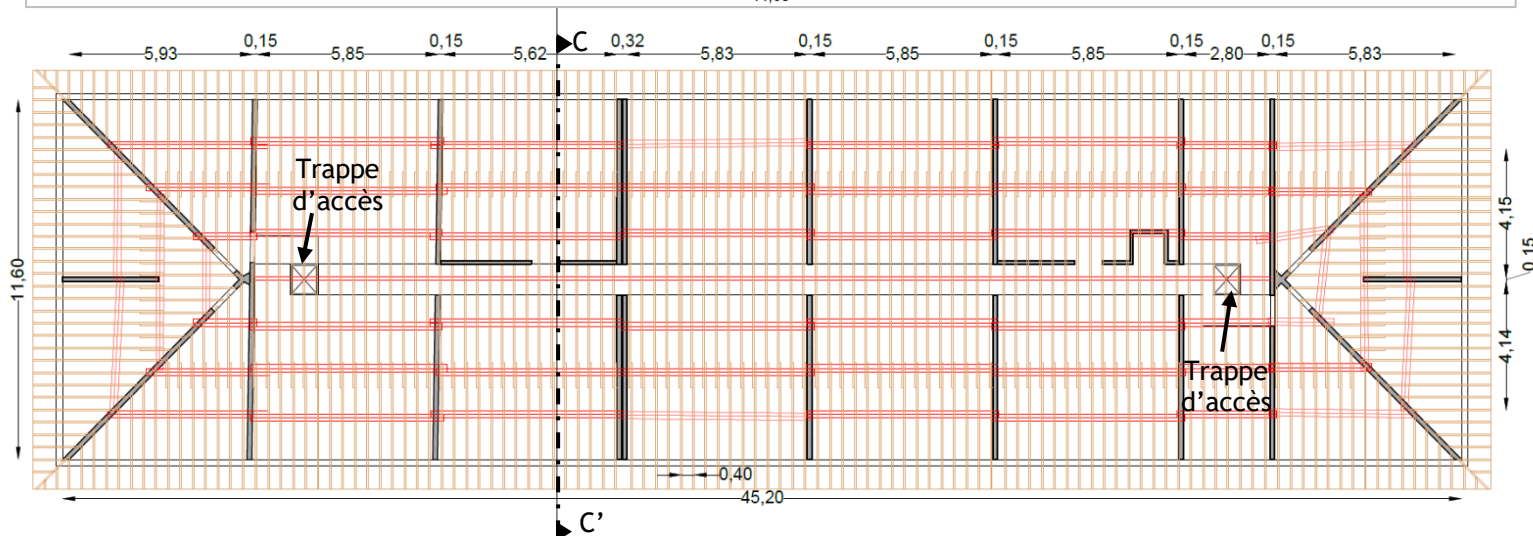
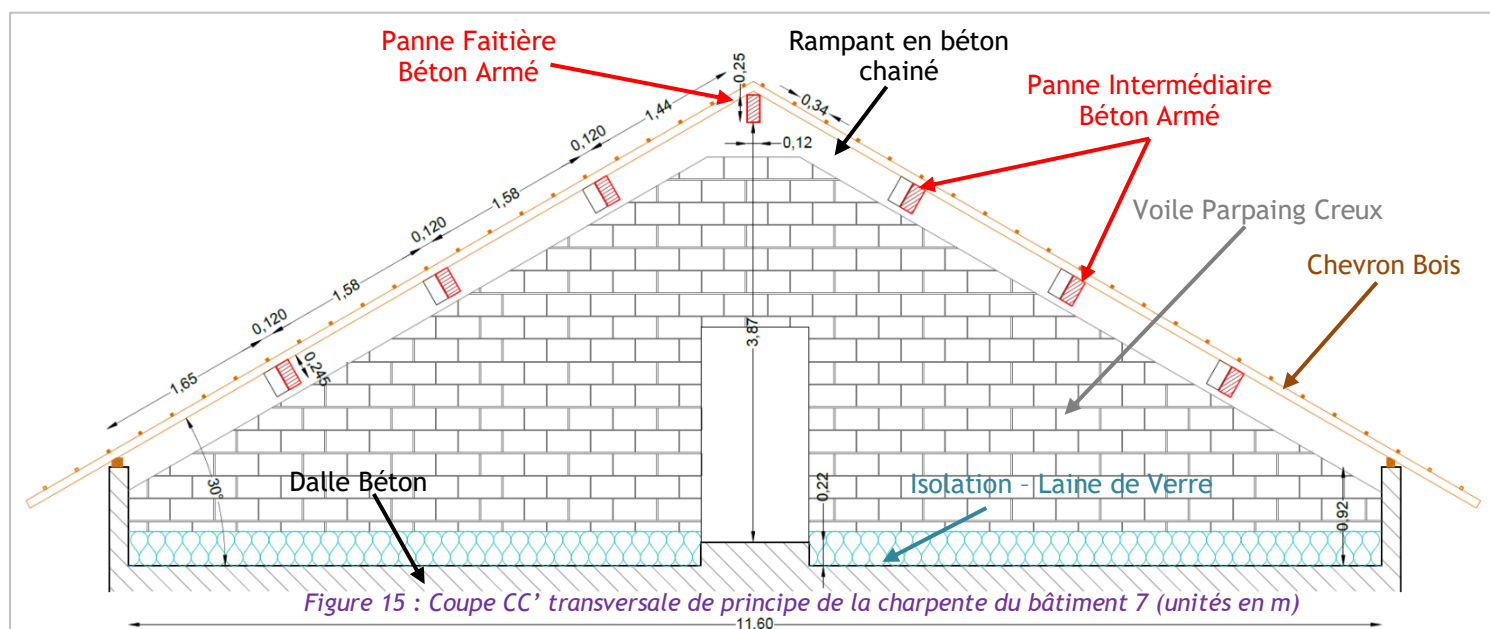




Figure 17-18 : Vues intérieures de la charpente béton du bâti 7

### 3.4.3 Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 7

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des éléments constitutifs de la charpente, relevés sur site lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO :

	Hauteur (mm)	Largeur (mm)
Chevrons	75	57
Panne faitière	245	120
Pannes intermédiaires	245	120

La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) et de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule.

### 3.4.4 Etat sanitaire de la charpente

Lors de son inspection, il a pu être constaté que la charpente présente plusieurs désordres (fissuration des pannes, fissures sur voiles parpaing, aciers apparents) mais également sur certains éléments de couverture (tuiles).

La localisation de ces désordres est présentée dans le paragraphe consacré. Ces désordres ont été observés sur les éléments visibles et accessibles ou lors des sondages destructifs.

### 3.5 Bâtiment n° 13 : Charpente Béton Armé

#### 3.5.1 Les accès

Le bâtiment comporte un sous-sol, un rez-de-chaussée et deux étages (R+1 et R+2). L'accès à la charpente du bâti n°13 s'effectue par des trappes d'accès au-dessus du R+2. Les relevés et sondages (destructifs et non-destructifs) ont été effectués de l'intérieur.

#### 3.5.2 Description structurelle

La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 32° par rapport à l'horizontale, soit une pente d'environ 62,5%.

La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :

- Chevrons bois espacés d'environ 0,40 m (entraxe) en moyenne ;
- Une panne faîtière en béton armé ;
- Quatre pannes intermédiaires en béton armé par pan de toiture ;
- <sup>2</sup>Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 15 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné.

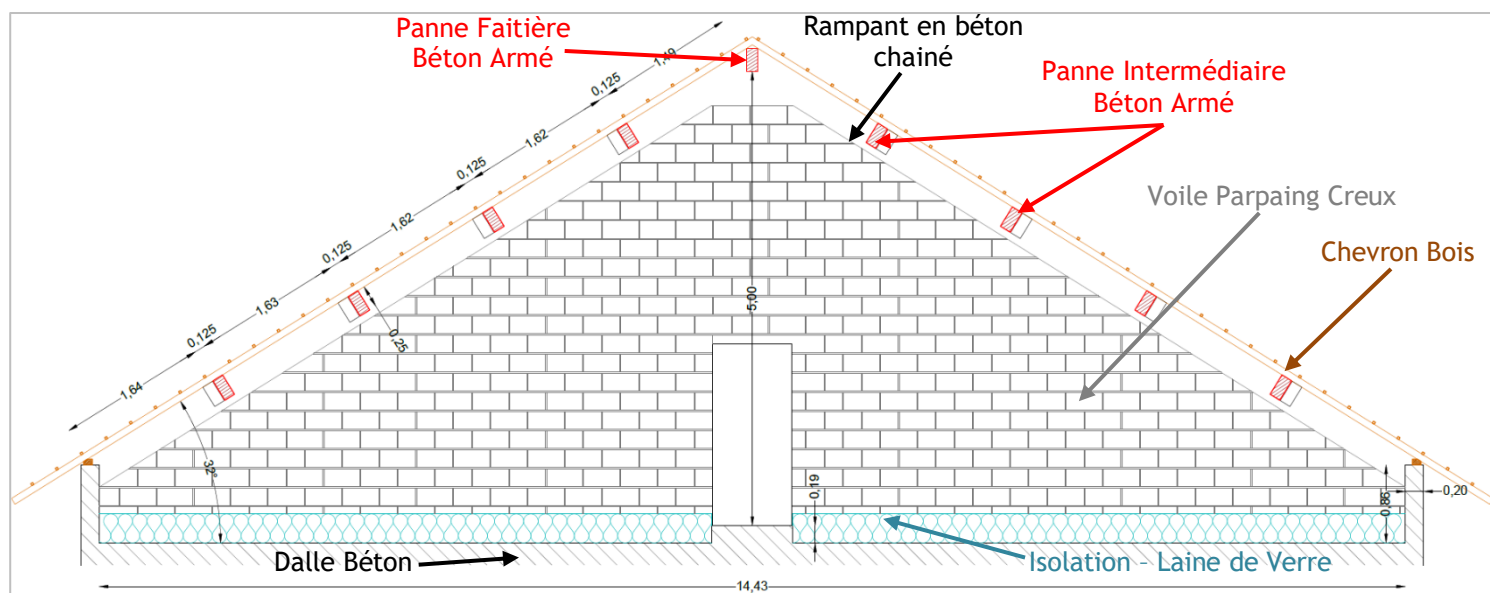


Figure 19 : Coupe DD' transversale de principe de la charpente du bâtiment 13 (unités en m)

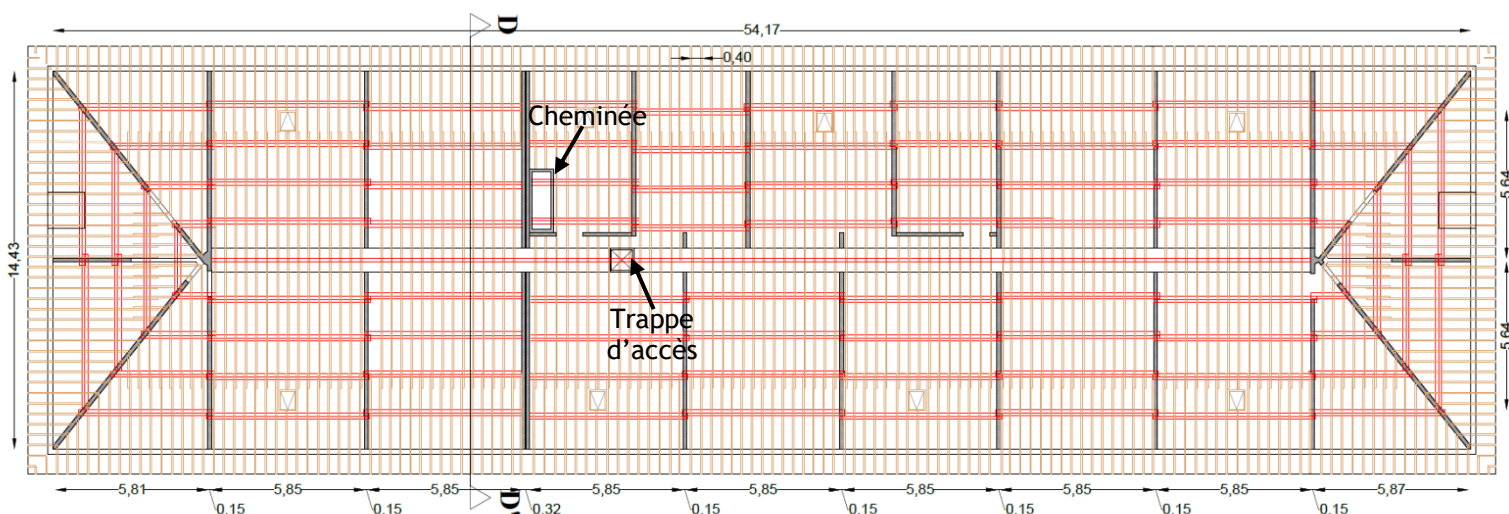


Figure 20 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 13 (unités en m) avec les voiles parpaings en noir, les pannes bétons en rouges, et les chevrons bois en marron



Figure 21-22 : Vues intérieures de la charpente béton du bâti 13

### 3.5.3 Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 13

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des éléments constitutifs de la charpente, relevés sur site lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO :

	Hauteur (mm)	Largeur (mm)
Chevrons	75	60
Panne faitière	250	125
Pannes intermédiaires	250	125

La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) et de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule. Il a également été observé la présence d'un écran de sous-toiture entre les liteaux et les chevrons.

### 3.5.4 Etat sanitaire de la charpente

Lors de son inspection, il a pu être constaté que la charpente présente plusieurs désordres (fissuration des pannes, fissures sur voiles parpaing, aciers apparents) mais également sur certains éléments de couverture (tuiles).

La localisation de ces désordres est présentée dans le paragraphe consacré. Ces désordres ont été observés sur les éléments visibles et accessibles ou lors des sondages destructifs.







La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :

- Chevrons bois espacés d'environ 0,40 m (entraxe) en moyenne ;
- Une panne faîtière en béton armé ;
- Quatre pannes intermédiaires en béton armé par pan de toiture ;
- Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 15 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné.



Figure 25-26 : Vues intérieures de la charpente béton du bâti 14

### 3.6.3 Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 14

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des éléments constitutifs de la charpente, relevés sur site lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO :

	Hauteur (mm)	Largeur (mm)
Chevrons	75	55
Panne faîtière	250	125
Pannes intermédiaires	250	125

La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) et de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule.

### 3.6.4 Etat sanitaire de la charpente

Lors de son inspection, il a pu être constaté que la charpente présente plusieurs désordres (fissuration des pannes, fissures sur voiles parpaing, aciers apparents) mais également sur certains éléments de couverture (tuiles).

La localisation de ces désordres est présentée dans le paragraphe consacré. Ces désordres ont été observés sur les éléments visibles et accessibles ou lors des sondages destructifs.





Figure 29-30 : Vues intérieures de la charpente béton du bâti 58

### 3.7.3 Description des éléments constitutifs de la charpente du bâtiment 58

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des éléments constitutifs de la charpente, relevés sur site lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO :

	Hauteur (mm)	Largeur (mm)
Chevrons	70	60
Pannes intermédiaires (portée courante : 4,95m)	295	95
Pannes intermédiaires (Grande Portée : 6,77 m)	364	140

La couverture est composée de liteaux et de tuiles mécaniques n'ayant pu être relevés car non-accessibles (l'ensemble étant recouvert par une épaisseur importante d'isolation).

### 3.7.4 Etat sanitaire de la charpente

Lors de son inspection, il a pu être constaté que la charpente était dans un état globalement bon. Il a été constaté quelques désordres d'humidité au droit des fenêtres de toit.

La localisation de ces désordres est présentée dans le paragraphe consacré. Ces désordres ont été observés sur les éléments visibles et accessibles.

## 4. RELEVÉ DES DESORDRES

### 4.1 Désordres du Bâtiment 3

Le plan et tableau ci-dessous répertorient les désordres observés dans les combles sous toiture du bâtiment 3 et indiquent le niveau de gravité de ces désordres ainsi que les caractéristiques qui ont pu être relevées.

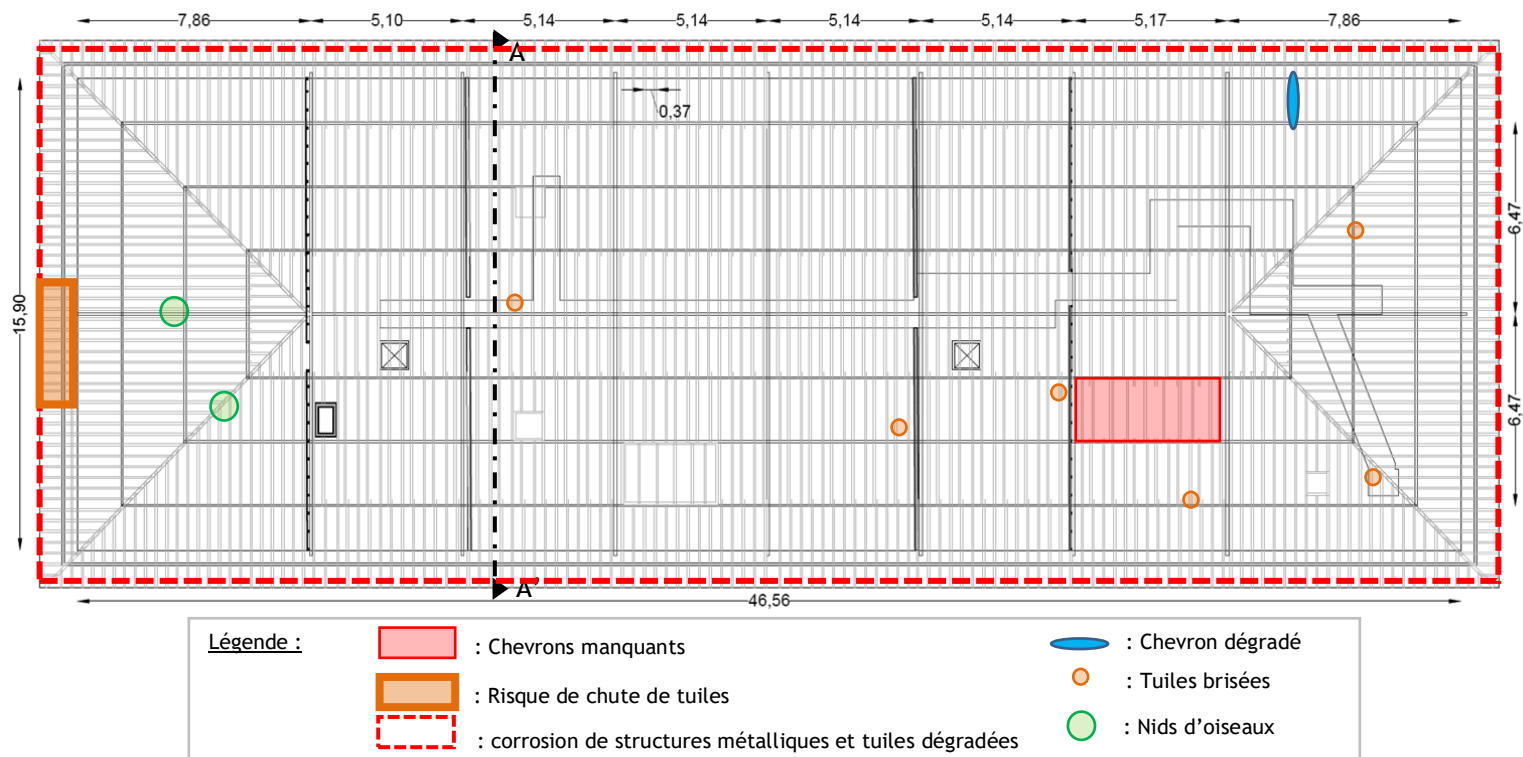



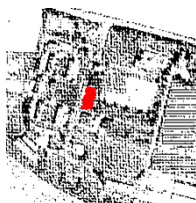


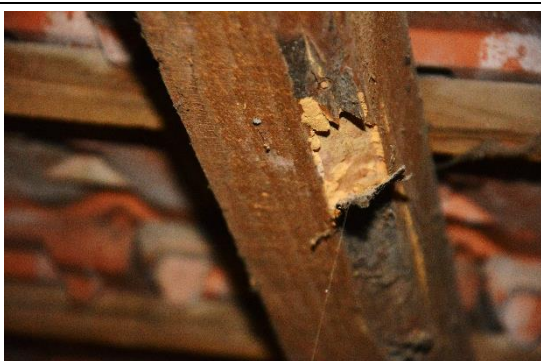







Figure 31 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 3 (unités en m) avec localisation des désordres.















## Tableau A - Désordres observés

Localisation	Gravité	Photos	Caractéristiques et Désordres
<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 1</b></p> 	2	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Corrosion superficielle généralisée d'indice i1 sur l'ensemble des structures métalliques de la charpente.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Humidité de l'air ambiant des combles.</p>
<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 2</b></p> 	3		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Espacement trop important des chevrons / nombre de chevrons insuffisants (sur environ 10 m²).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Suite à la mise en place du système d'aération (à gauche sur la photo) nécessitant la dépose d'une partie de toiture, la repose des chevrons (en rouge sur la photo) ne semble pas avoir été effectuée dito existant.</p>

<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 3</b></p> 	<p>2</p>	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Désordre ponctuel (angle abîmé) observé sur un chevron.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Surface de chevron abîmée potentiellement par un nuisible.</p>
<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 4</b></p> 	<p>2E</p>	  	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Traces blanchâtres et écaillage (débris présents observés sur l'isolant) sur l'ensemble de la sous-face des tuiles de couvertures.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, les tuiles devenant poreuses et n'assurant plus correctement l'étanchéité. Les débris observés sur l'isolant proviennent potentiellement de l'effritement des tuiles lors des périodes de gels (l'eau infiltrée à l'intérieur des tuiles gonflant et provoquant l'effritement en lamelles des tuiles, les fragilisant).</p>



<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 5</b></p> 	2E	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Tuiles brisées et/ou fissurées.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et la fragilisation des tuiles lors des périodes de gels.</p>
<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 6</b></p> 	1	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Présence de nuisibles (nids) entre la charpente métallique et la couverture.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Les nuisibles ont pu s'infiltrer par des ouvertures (ventilations naturelles du toit).</p>
<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 7</b></p> 	2E	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Présence de mousses en surface des tuiles et notamment au niveau des noues et du faitage.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et à un défaut d'entretien.</p>
<p><b>Bâti 3</b> Ferme Industrielle Métal - Pannes Métal</p> <p><b>Désordre n° 7</b></p> 	3U	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Tuiles ne reposant plus sur le solivage de toiture (maintenues uniquement par la gouttière) et risquant de tomber.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordre observé uniquement sur la croupe Sud du bâtiment et étant potentiellement causé par l'exposition aux vents, le vieillissement de la couverture et une pente de toiture non conforme aux tuiles et à la situation venteuse du site.</p>

## 4.2 Désordres du Bâtiment 6

Le plan et tableau ci-dessous répertorient les désordres observés dans les combles sous toiture du bâtiment 6 et indiquent le niveau de gravité de ces désordres ainsi que les caractéristiques qui ont pu être relevées.

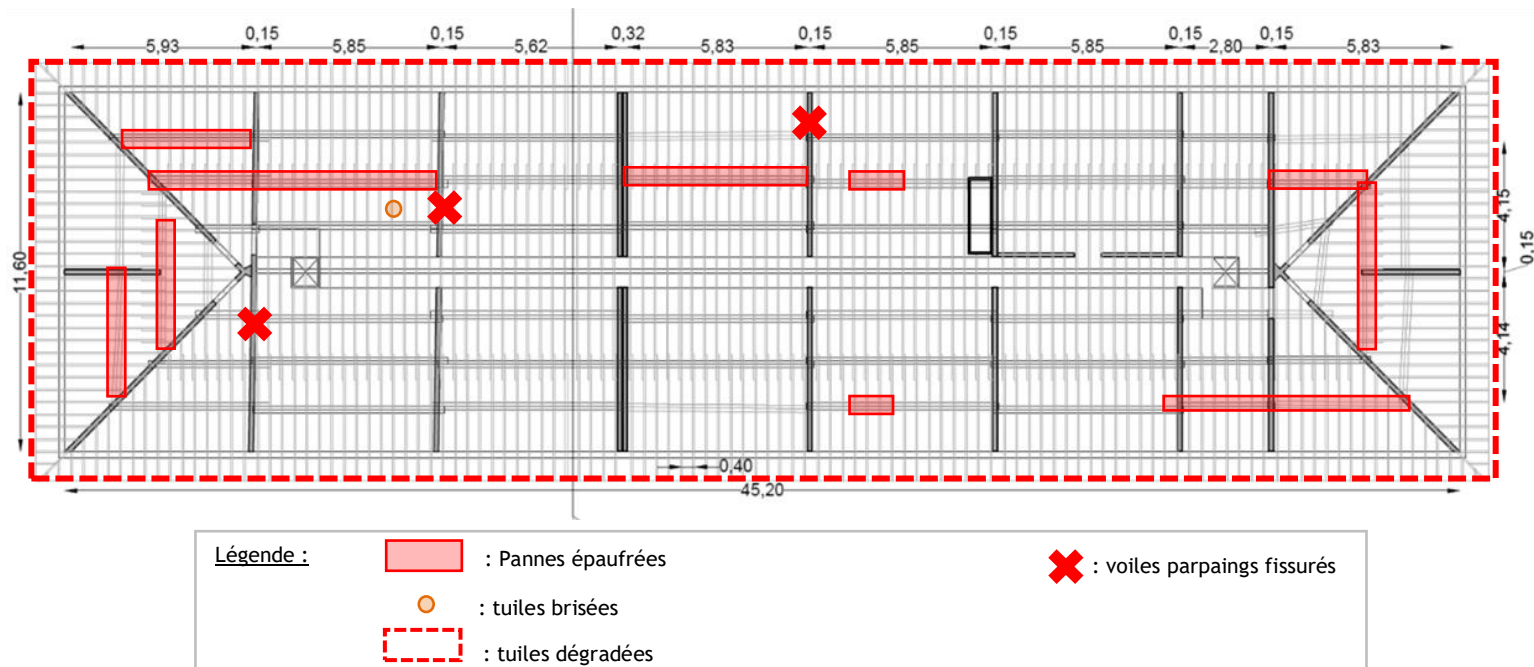











Figure 32 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 6 (unités en m) avec localisation des désordres.

## Tableau B - Désordres observés

Localisation	Gravité	Photos	Caractéristiques et Désordres
<p><b>Bâti 6</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 1</b></p> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Traces blanchâtres et écaillage (débris présents observés sur l'isolant) sur l'ensemble de la sous-face des tuiles de couvertures.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, les tuiles devenant poreuses et n'assurant plus correctement l'étanchéité. Les débris observés sur l'isolant proviennent potentiellement de l'effritement des tuiles lors des périodes de gels (l'eau infiltrée à l'intérieur des tuiles gonflant et provoquant l'effritement en lamelles des tuiles, les fragilisant).</p>



<p><b>Bâti 6</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 2</b></p> 	<p>3U</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Fissuration d'ouverture 0,1 mm, observée en sous-face des pannes béton de la charpente et perpendiculaire au sens de portée (fissures observées tous les 15-25 cm).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Fissuration due à la déformation des pannes (Fluage du béton) potentiellement sous-dimensionnées.</p>
<p><b>Bâti 6</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 3</b></p> 	<p>3</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Fissures horizontales et diagonales traversantes d'ouvertures comprises entre 1 et 1,4 mm, observées sur plusieurs voiles parpaing.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Fissuration potentiellement due à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait.</p>
<p><b>Bâti 6</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 4</b></p> 	<p>3</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Epaufures sur pannes béton.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres dues au frottement des fixations métalliques des chevrons sur les pannes bétons potentiellement causés par les mouvements de la couverture.</p>

<p><b>Bâti 6</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 5</b></p> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Tuiles brisées et/ou fissurées.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et la fragilisation des tuiles lors des périodes de gels.</p>
<p><b>Bâti 6</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 6</b></p> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Présence de mousses en surface des tuiles et notamment au niveau des noues et du faitage.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et à un défaut d'entretien.</p>

#### 4.3 Désordres du Bâtiment 7

Le plan et tableau ci-dessous répertorient les désordres observés dans les combles sous toiture du bâtiment 7 et indiquent le niveau de gravité de ces désordres ainsi que les caractéristiques qui ont pu être relevées.

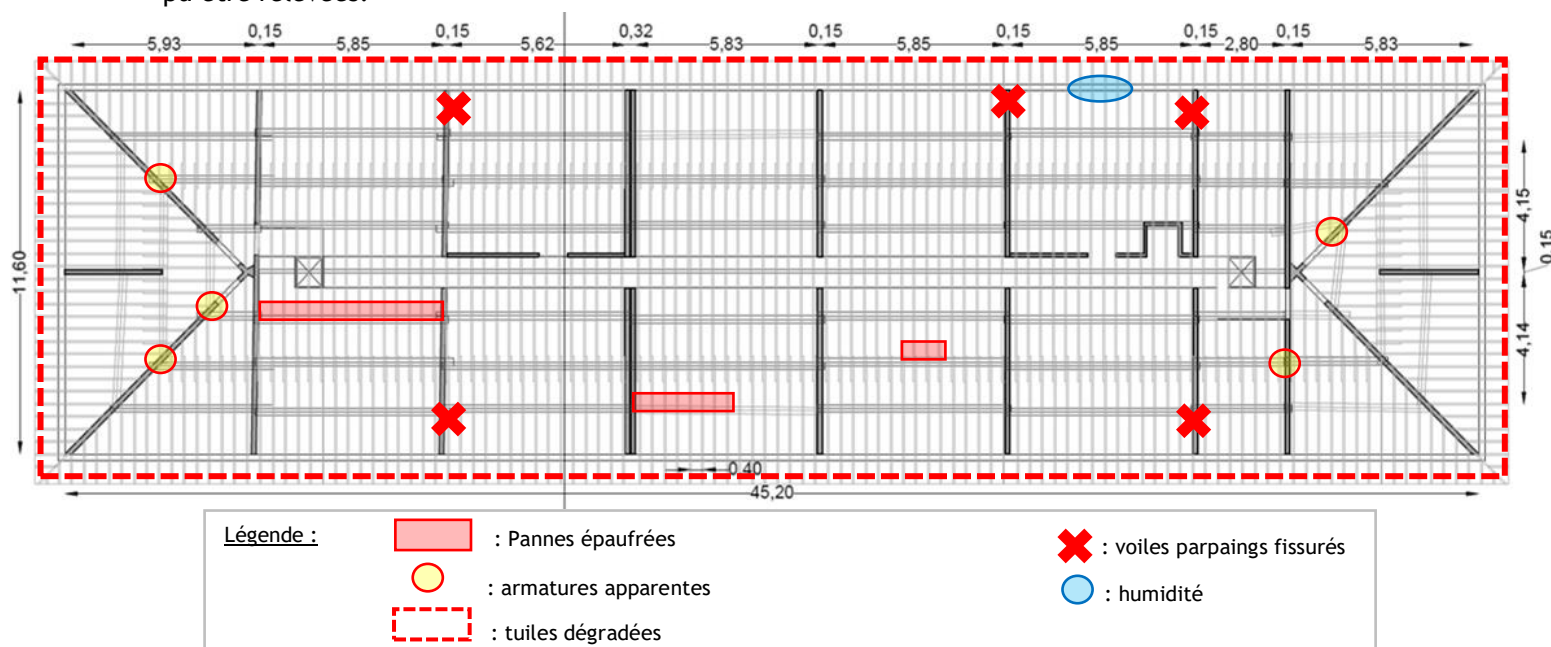













Figure 33 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 7 (unités en m) avec localisation des désordres.









## Tableau C - Désordres observés

Localisation	Gravité	Photos	Caractéristiques et Désordres
<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 1</b></p> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Traces blanchâtres et écaillage (débris présents observés sur l'isolant) sur l'ensemble de la sous-face des tuiles de couvertures.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, les tuiles devenant poreuses et n'assurant plus correctement l'étanchéité. Les débris observés sur l'isolant proviennent potentiellement de l'effritement des tuiles lors des périodes de gels (l'eau infiltrée à l'intérieur des tuiles gonflant et provoquant l'effritement en lamelles des tuiles, les fragilisant).</p>
<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 2</b></p> 	3U		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Fissuration d'ouverture 0,1 mm, observée en sous-face des pannes béton de la charpente et perpendiculaire au sens de portée (fissures observées tous les 15-25 cm).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Fissuration due à la déformation des pannes (Fluage du béton) potentiellement sous-dimensionnées.</p>

<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 3</b></p> 	<p>3</p>	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Armatures de pannes et rampants béton apparentes par endroits. Corrosion indices i1 à i2.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Eclatement du béton en surface potentiellement causé par le gonflement des armatures et le faible enrobage de ceux-ci pour le rampant, et les mouvements de la charpente sur les pannes fragilisées.</p>
<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 3</b></p> 	<p>3</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Epaufures sur pannes béton et armatures apparentes (Corrosion indice i2).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres dues au frottement des fixations métalliques des chevrons sur les pannes bétons potentiellement causés par les mouvements de la couverture.</p>
<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 4</b></p> 	<p>2E</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Désordre d'humidité (coulures moisissures) sur les parois en placo.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres potentiellement dues à une infiltration en toiture.</p>



<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 5</b></p> 	<p>3</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Fissures horizontales et diagonales traversantes d'ouvertures comprises entre 1 et 1,4 mm, observées sur plusieurs voiles parpaing.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Fissuration potentiellement due à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait.</p>
<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 6</b></p> 	<p>2E</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Présence de mousses en surface des tuiles et notamment au niveau des noues et du faîtage.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et à un défaut d'entretien.</p>
<p><b>Bâti 7</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 7</b></p> 	<p>2</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Peinture écaillée en sous-face de débord de toiture</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à l'humidité et l'usure.</p>

#### 4.4 Désordres du Bâtiment 13

Le plan et tableau ci-dessous répertorient les désordres observés dans les combles sous toiture du bâtiment 13 et indiquent le niveau de gravité de ces désordres ainsi que les caractéristiques qui ont pu être relevées.

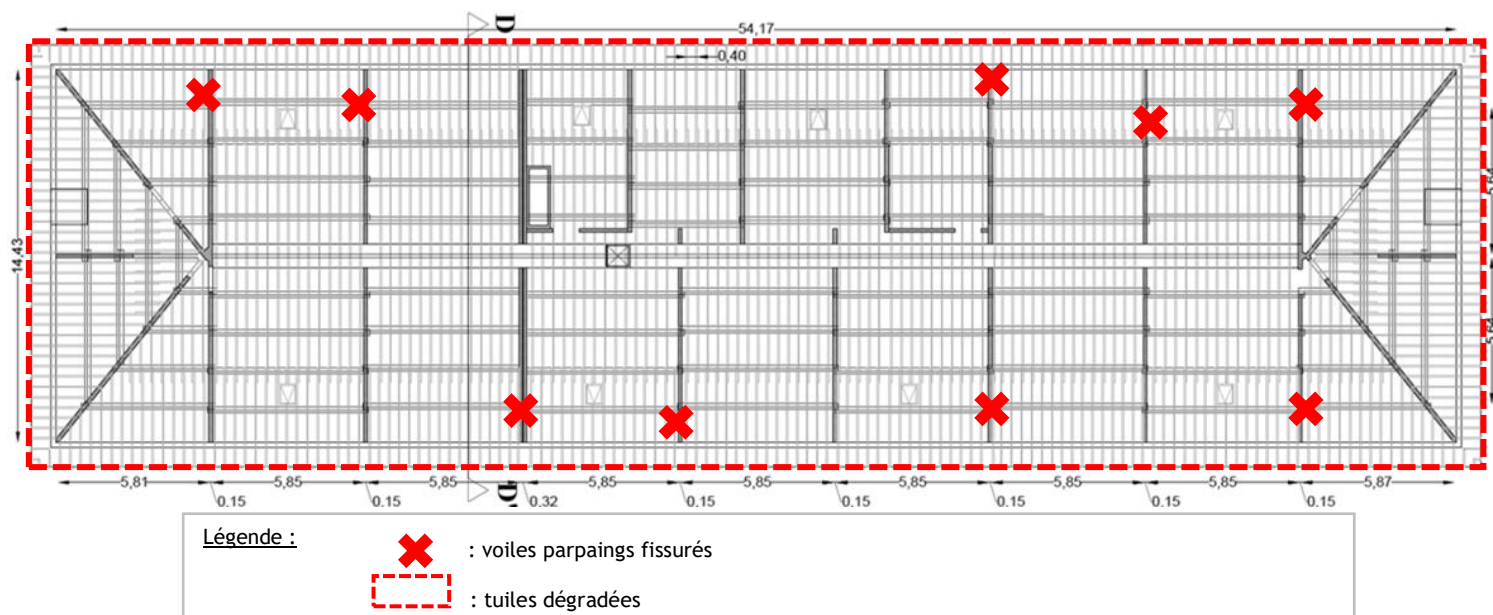









Figure 34 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 13 (unités en m) avec localisation des désordres.

Tableau D - Désordres observés			
Localisation	Gravité	Photos	Caractéristiques et Désordres
<b>Bâti 13</b> Pannes Béton <b>Désordre n° 1</b> 	3U		<p><b>Description des désordres :</b> Fissuration d'ouverture 0,1 mm, observée en sous-face des pannes béton de la charpente et perpendiculaire au sens de portée (fissures observées tous les 15-25 cm).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Fissuration due à la déformation des pannes (Fluage du béton) potentiellement sous-dimensionnées.</p>

<p><b>Bâti 13</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 2</b></p> 	<p>3</p>	 	<p><b>Description des désordres :</b> Fissures horizontales et diagonales traversantes d'ouvertures comprises entre 1 et 1,4 mm, observées sur plusieurs voiles parpaing.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Fissuration potentiellement due à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait.</p>
<p><b>Bâti 13</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 3</b></p> 	<p>3U</p>		<p><b>Description des désordres :</b> Faitage de toiture déformée (ondulations).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordre lié aux déformations des pannes faitières de la toiture (Fluage du béton) potentiellement sous-dimensionnées.</p>
<p><b>Bâti 13</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 4</b></p> 	<p>2E</p>		<p><b>Description des désordres :</b> Présence de mousses en surface des tuiles et notamment au niveau des noues et du faitage.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et à un défaut d'entretien.</p>



#### 4.5 Désordres du Bâtiment 14

Le plan et tableau ci-dessous répertorient les désordres observés dans les combles sous toiture du bâtiment 14 et indiquent le niveau de gravité de ces désordres ainsi que les caractéristiques qui ont pu être relevées.

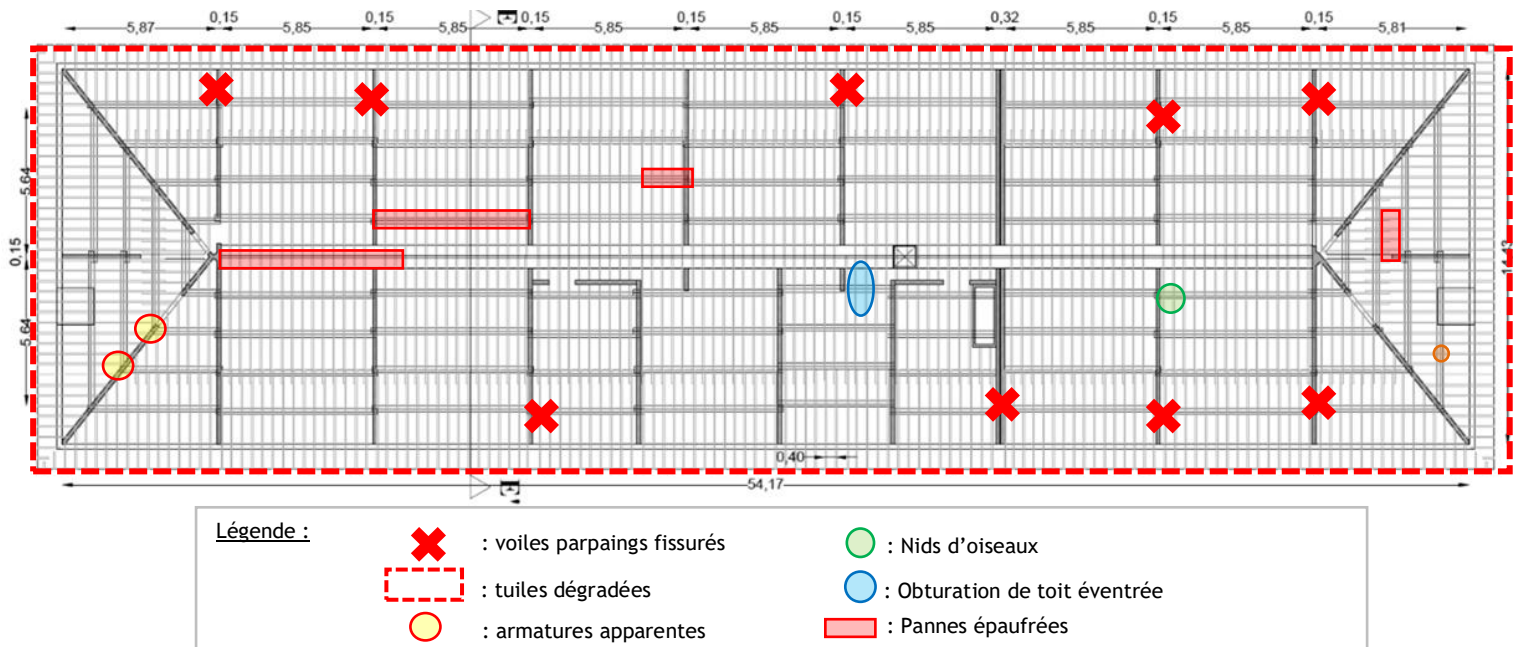









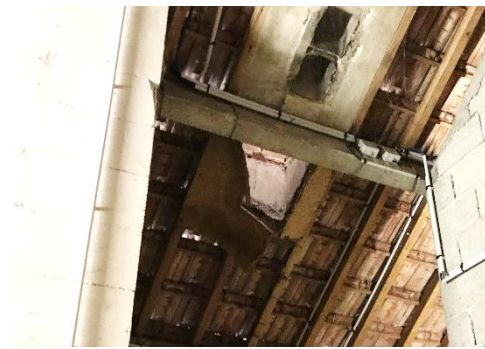








Figure 35 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 14 (unités en m) avec localisation des désordres.

Tableau E - Désordres observés			
Localisation	Gravité	Photos	Caractéristiques et Désordres
<b>Bâti 14</b> <b>Pannes Béton</b> <b>Désordre n° 1</b> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Traces blanchâtres et écaillage (débris présents observés sur l'isolant) sur l'ensemble de la sous-face des tuiles de couvertures.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, les tuiles devenant poreuses et n'assurant plus correctement l'étanchéité. Les débris observés sur l'isolant proviennent potentiellement de l'effritement des tuiles lors des périodes de gels (l'eau infiltrée à l'intérieur des tuiles gonflant et provoquant l'effritement en lamelles des tuiles, les fragilisant).</p>



<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 2</b></p> 	<p>1</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Présence de nuisibles (nids) entre le rampant béton du mur et la couverture.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Les nuisibles ont pu s'infiltrer par des ouvertures (ventilations naturelles du toit).</p>
<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 3</b></p> 	<p>3</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Epaufures sur pannes béton.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Désordres dues au frottement des fixations métalliques des chevrons sur les pannes bétons potentiellement causés par les mouvements de la couverture.</p>
<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 4</b></p> 	<p>3</p>		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Armatures de pannes et rampants béton apparentes par endroits. Corrosion indices i1 à i2.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b> Eclatement du béton en surface potentiellement causé par le gonflement des armatures et le faible enrobage de ceux-ci pour le rampant, ainsi que les mouvements de la charpente sur les pannes fragilisées.</p>

<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 5</b></p> 	3		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Obturation de souche de cheminée éventrée.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Désordre potentiellement dû à l'humidité et à de possibles infiltrations d'eau depuis le sommet de la cheminée.</p>
<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 6</b></p> 	3		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Fissures horizontales et diagonales traversantes d'ouvertures comprises entre 1 et 1,4 mm, observées sur plusieurs voiles parpaing.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Fissuration potentiellement due à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait.</p>
<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 7</b></p> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Tuiles brisées au niveau des fixation métalliques sur liteaux.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Désordres potentiellement causés par les mouvements de toiture et les tuiles fragilisées par l'usure et le gel.</p>
<p><b>Bâti 14</b> Pannes Béton</p> <p><b>Désordre n° 8</b></p> 	2E		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Présence de mousses en surface des tuiles et notamment au niveau des noues et du faîtage.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Désordres liés potentiellement à une couverture vieillissante, et à un défaut d'entretien.</p>



#### 4.6 Désordres du Bâtiment 58

Le plan et tableau ci-dessous répertorient les désordres observés dans les combles sous toiture du bâtiment 58 et indiquent le niveau de gravité de ces désordres ainsi que les caractéristiques qui ont pu être relevées.

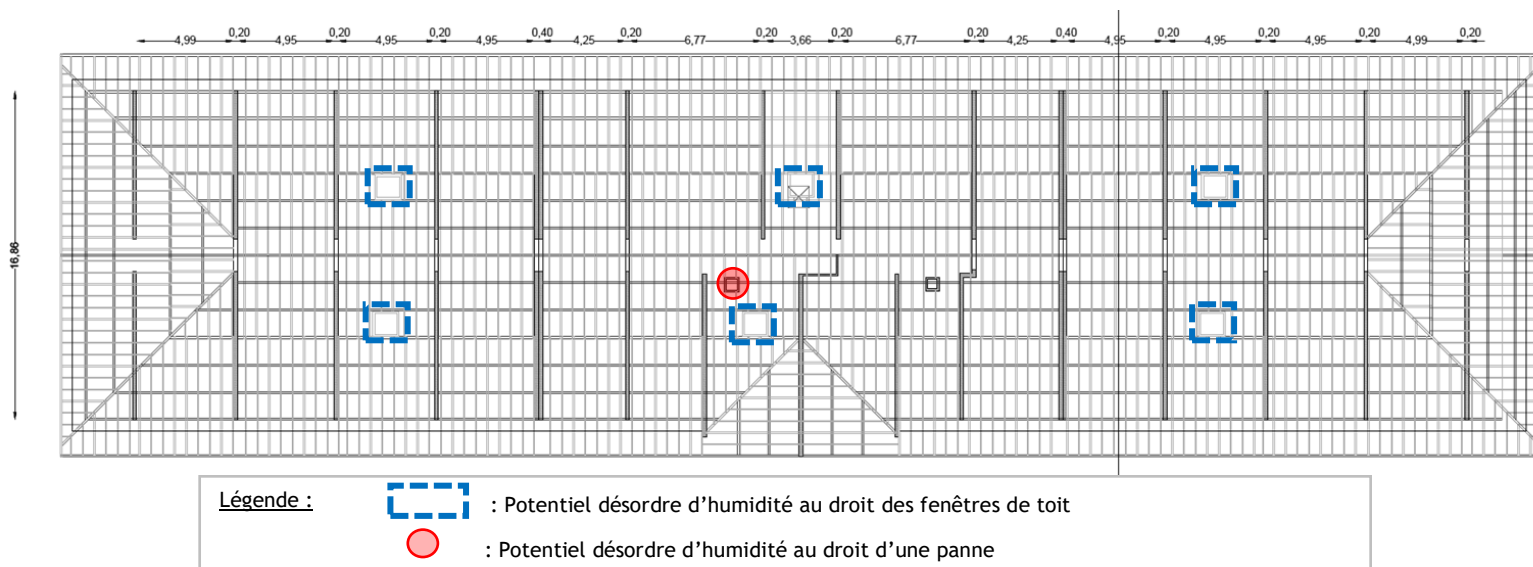







Figure 36 : Plan de principe de la charpente du bâtiment 58 (unités en m) avec localisation des désordres.

Tableau F - Désordres observés			
Localisation	Gravité	Photos	Caractéristiques et Désordres
<b>Bâti 58</b> Pannes Bois  <b>Désordre n° 1</b> 	2	 	<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Traces d'humidités présentes en sous-face de l'isolant et de la charpente bois au droit de l'ensemble des fenêtres de toit (bois non pourri et résistant face à une lame d'acier). Surface sèche.</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Ancienne trace d'infiltration due à un défaut d'étanchéité au niveau des fenêtres de toit. Constat à vérifier et à confirmer lors de futures précipitations.</p>
<b>Bâti 58</b> Pannes Bois  <b>Désordre n° 2</b> 	3		<p><b>Description des désordres :</b></p> <p>Traces d'humidités présentes en surface de la panne bois (bois noirci).</p> <p><b>Origine Potentielle :</b></p> <p>Possible défaut d'étanchéité ou humidité causée par la possible formation de condensation en sous-face des tuiles.</p>

## 5. SONDAGES NON-DESTRUCTIFS ET DESTRUCTIFS

Les bâtiments n° 58 (Charpentes bois) et n° 3 (Charpente métallique) n'ont fait l'objet que d'un relevé géométrique et lasergrammétrique. Seuls les bâtis 6, 7, 13 et 14 (charpente béton) ont fait l'objet de sondages destructifs et non destructifs dont les résultats sont présentés dans cette partie.

### 5.1 Essais sclérométriques sur pannes basses des bâtis 6-7-13-14

Les résultats des essais sclérométriques réalisés sont présentés ci-dessous :

Mesures au scléromètre		
Localisation	Angle de mesure	Indice sclérométrique ( $I_s$ )
Panne Bâti 6	Vertical Bas : $-45^\circ$	$I_s = 30,5$ (Valeur médiane corrigée représentative de 9 essais pour la zone sondée).
Panne Bâti 7	Vertical Bas : $-45^\circ$	$I_s = 21,3$ (Valeur médiane corrigée représentative de 9 essais pour la zone sondée).
Panne Bâti 13	Vertical Bas : $-45^\circ$	$I_s = 23,4$ (Valeur médiane corrigée représentative de 9 essais pour la zone sondée).
Panne Bâti 14	Vertical Bas : $-45^\circ$	$I_s = 25,6$ (Valeur médiane corrigée représentative de 9 essais pour la zone sondée).

Tableau G : Résultats des essais sclérométriques après correction

L'angle de mesure correspond à l'angle entre le scléromètre et l'horizontal ( $-45^\circ$  scléromètre dirigé vers le bas).



L'indice sclérométrique obtenu pour chaque élément sondé a été mis en corrélation avec la résistance en compression du béton grâce à la courbe suivante (Voir figure n° ci-dessous) :

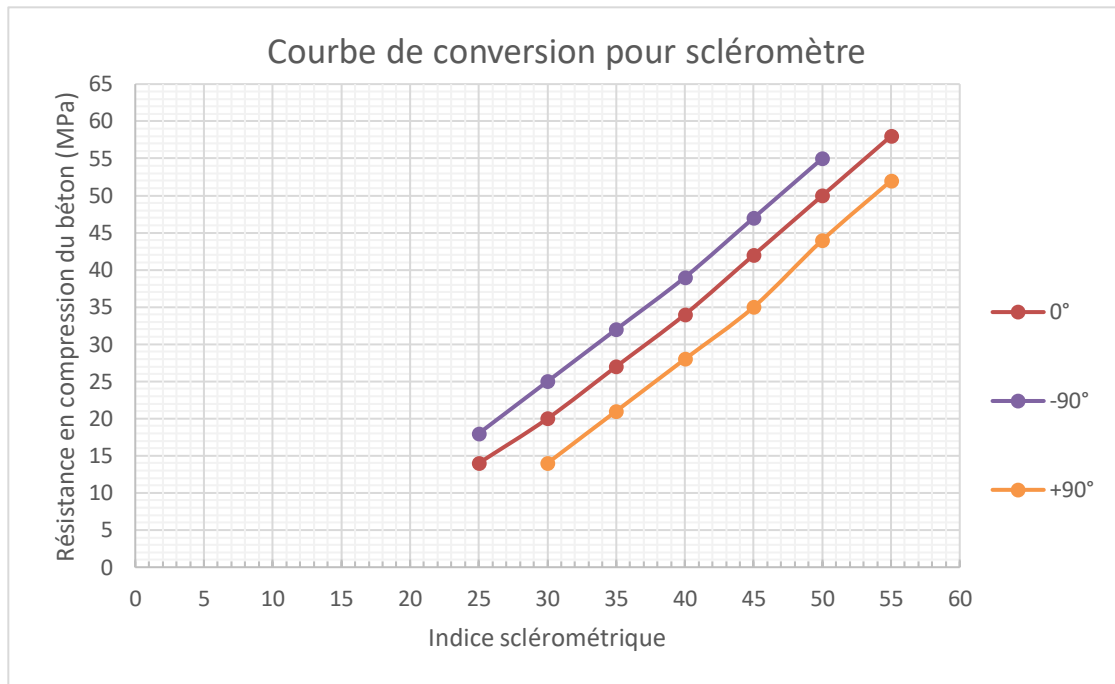





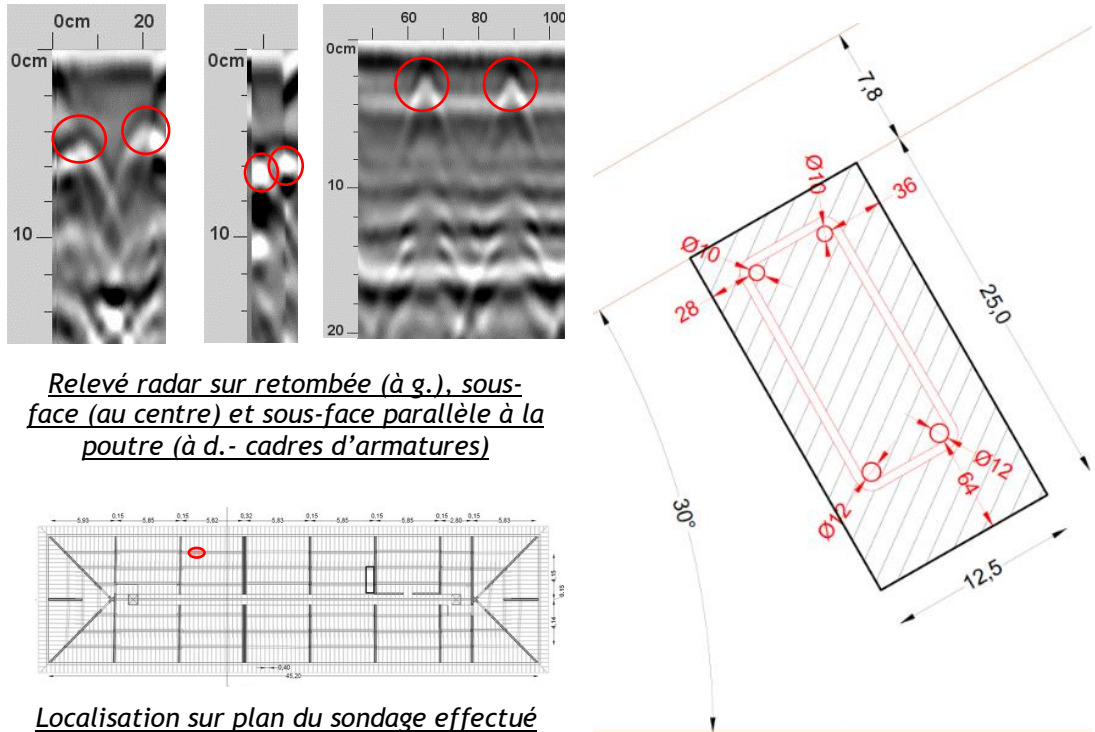
Figure 37 : Courbe de conversion pour scléromètre (angles de mesure 0°, +90°, -90°) - Cylindre

En appliquant l'équation de tendance de la courbe de conversion, la résistance moyenne sur cylindre de béton obtenue est de l'ordre de :




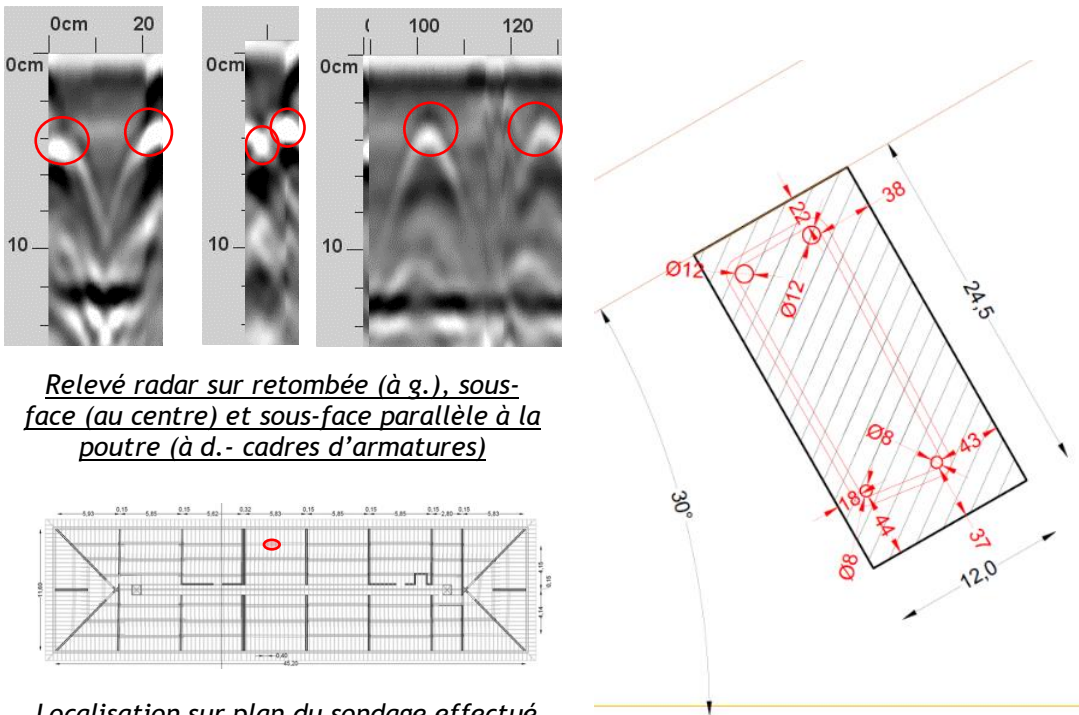
- Panne béton - Bâti n° 6 : 26 MPa
- Panne béton - Bâti n° 7 : 14 MPa
- Panne béton - Bâti n° 13 : 16 MPa
- Panne béton - Bâti n° 14 : 19 MPa

Ce résultat, couplé à l'incertitude de cet essai, tend à estimer que **le béton en présence est de classe comprise entre C15/20 et C25/30**. Cependant, le type d'ouvrage, l'état des pannes (présence de fissures en partie basse), la date de conception et l'inclinaison imprécise du scléromètre lors du relevé ont été pris en compte dans le cadre des calculs de capacité portante. De ce fait, il a été décidé de considérer un béton de **classe C20/25** dans les calculs.

## 5.2 Sondages radar et destructifs effectués dans le bâti n°6




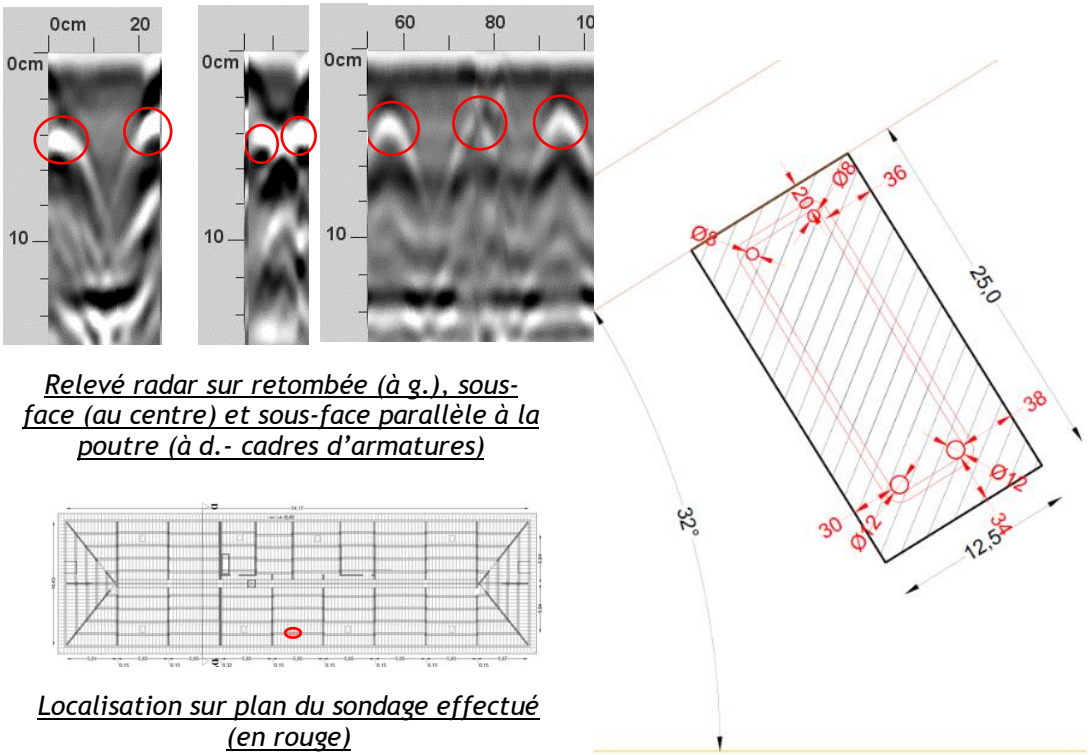
Localisation	Photo	Relevés Radar / Plans (côtes en cm)	Caractéristiques
<p>Panne Béton armée</p> <p>Bâti n°6</p> 	 	 <p><i>Relevé radar sur retombée (à g.), sous-face (au centre) et sous-face parallèle à la poutre (à d.- cadres d'armatures)</i></p> <p><i>Localisation sur plan du sondage effectué (en rouge)</i></p>	<p><b>Caractéristique de la panne :</b></p> <p>Hauteur : 25 cm Épaisseur : 12,5 cm Portée : 5,87 m</p> <p><b>1<sup>er</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 12 mm</li> <li>- enrobage : 64 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>2<sup>nd</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 10 mm</li> <li>- enrobage : 215 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>Cadres d'armatures :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 6 mm</li> <li>- espacement (d'après radar) : 25 cm</li> <li>- Type : lisse</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul>

### 5.3 Sondages radar et destructifs effectués dans le bâti n°7




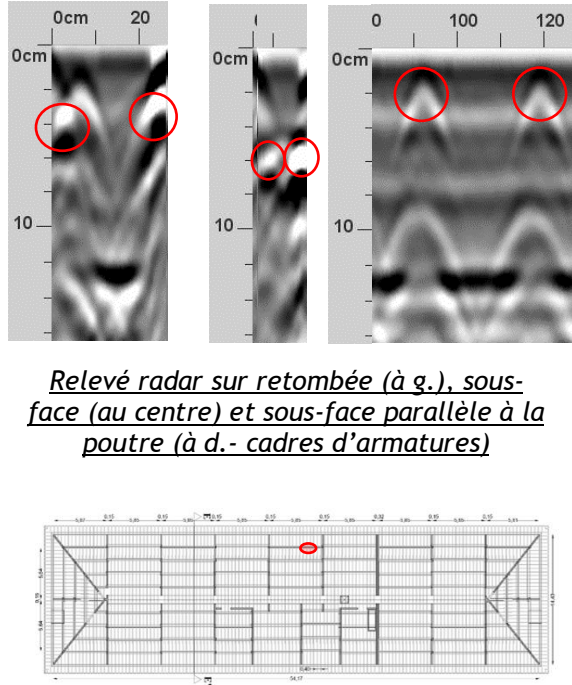
Localisation	Photo	Relevés Radar / Plans (côtes en cm)	Caractéristiques
<p>Panne Béton armée</p> <p>Bâti n°7</p> 	 	 <p><i>Relevé radar sur retombée (à g.), sous-face (au centre) et sous-face parallèle à la poutre (à d.- cadres d'armatures)</i></p> <p><i>Localisation sur plan du sondage effectué (en rouge)</i></p>	<p><b>Caractéristique de la panne :</b></p> <p>Hauteur : 24,5 cm Epaisseur : 12 cm Portée : 5,84 m</p> <p><b>1<sup>er</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 8 mm</li> <li>- enrobage : 37/44 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>2<sup>nd</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 12 mm</li> <li>- enrobage : 211 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>Cadres d'armatures :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 6 mm</li> <li>- espacement (d'après radar) : 25 cm</li> <li>- Type : lisse</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul>



#### 5.4 Sondages radar et destructifs effectués dans le bâti n° 13

Localisation	Photo	Relevés Radar / Plans (côtes en cm)	Caractéristiques
<p>Panne Béton armée</p> <p>Bâti n° 13</p> 	 	 <p><i>Relevé radar sur retombée (à g.), sous-face (au centre) et sous-face parallèle à la poutre (à d. - cadres d'armatures)</i></p> <p><i>Localisation sur plan du sondage effectué (en rouge)</i></p>	<p><b>Caractéristique de la panne :</b></p> <p>Hauteur : 25 cm Épaisseur : 12,5 cm Portée : 5,87 m</p> <p><b>1<sup>er</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 12 mm</li> <li>- enrobage : 34 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>2<sup>nd</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 8 mm</li> <li>- enrobage : 222 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>Cadres d'armatures :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 6 mm</li> <li>- espacement (d'après radar) : 20 cm</li> <li>- Type : lisse</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul>

## 5.5 Sondages radar et destructifs effectués dans le bâti n° 14

Localisation	Photo	Relevés Radar / Plans (côtes en cm)	Caractéristiques
<p>Panne Béton armée</p> <p>Bâti n° 14</p> 	 	 <p><i>Relevé radar sur retombée (à g.), sous-face (au centre) et sous-face parallèle à la poutre (à d.- cadres d'armatures)</i></p> <p><i>Localisation sur plan du sondage effectué (en rouge)</i></p>	<p><b>Caractéristique de la panne :</b></p> <p>Hauteur : 25 cm Epaisseur : 12,5 mm Portée : 5,87 m</p> <p><b>1<sup>er</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 12 mm</li> <li>- enrobage : 50/55 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>2<sup>nd</sup> lit d'acier :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 8 mm</li> <li>- enrobage : 226 mm</li> <li>- Type : Tor</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul> <p><b>Cadres d'armatures :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diamètre : 6 mm</li> <li>- espacement (d'après radar) : 25 cm</li> <li>- Type : lisse</li> <li>- Etat : Corrosion i1</li> </ul>

## 6. CALCUL DES CAPACITES PORTANTES ET MESURES DE FLECHES DES PANNES

### 6.1 Hypothèses de chargements

Les charges considérées pour cette étude sont de deux types :

- Les charges permanentes correspondant au poids propre des éléments constitutifs de la toiture ;
- Les charges variables correspondant aux charges d'exploitation de la structure, aux charges dues à la neige, aux charges dues au vent, aux tremblements de terre et aux incendies.

#### 6.1.1 Charges Permanentes

Les charges permanentes se constituent du poids propre de chaque élément et du poids de la couverture, composée de tuiles mécaniques et de liteaux. Les poids sont estimés ci-dessous :

- Couverture : Tuiles Mécaniques :  $0.25 \text{ kN/m}^2$
- Liteaux :  $0.05 \text{ kN/m}^2$
- Chevrons :  $0.16 \text{ à } 0,17 \text{ kN/m}^2$

#### 6.1.2 Charges d'exploitations (Q)

Les toitures étant non accessibles, il est considéré une charge d'entretien de catégorie H (selon la NF EN 1991 partie 1-1), cette charge ne se combine pas aux charges de neige et de vent :

$$Q = 80 \text{ daN/m}^2$$

#### 6.1.3 Charges de neige (S)

##### 6.1.2.1 Charge de neige au sol :

Les charges de neiges sont définies dans la NF EN 1991 Partie 1-3 (Eurocode 1) :

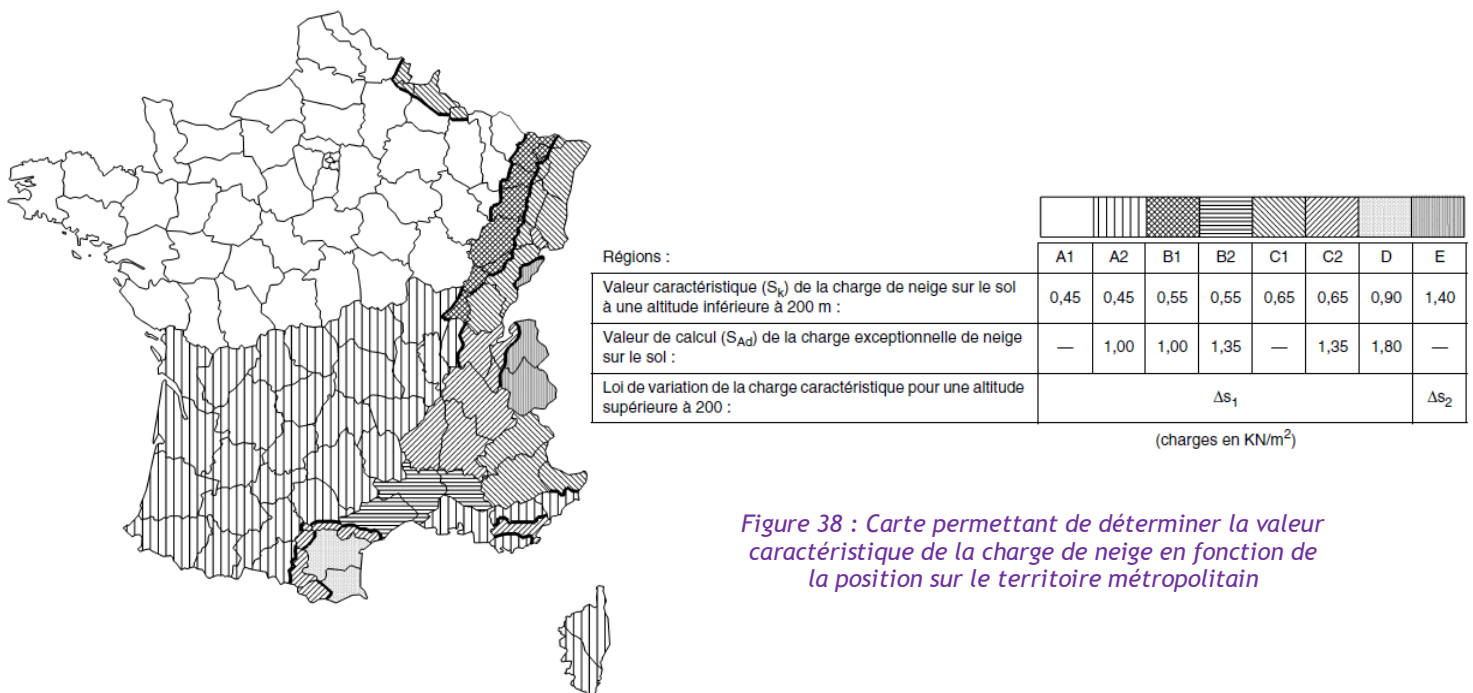


Figure 38 : Carte permettant de déterminer la valeur caractéristique de la charge de neige en fonction de la position sur le territoire métropolitain

L'Ile de France est située en zone A1, par conséquent la charge de neige au sol à considérer est de :

$$Sk = 0.45 \text{ KN/m}^2$$



Par ailleurs il n'y a pas de neige exceptionnelle à prendre en compte :

$$S_{Ad} = 0 \text{ KN/m}^2$$

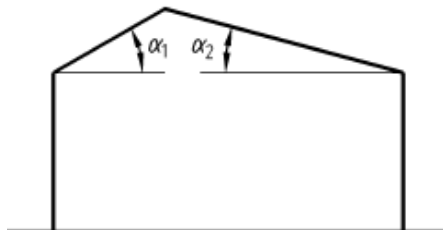
L'altitude du site est inférieure à 200m (Point culminant de Sourdun = 175m) :

$$\Delta S1 = 0 \text{ KN/m}^2$$

Le bâtiment se situe en site balayé par les vents :  $C_e = 0,8$

#### 6.1.2.1 Influence de la toiture :

Il convient de considérer un coefficient de forme  $\mu$ , fonction de la pente de la toiture :



$\alpha$ (angle du toit avec l'horizontale)	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	—

Figure 39 : Coefficients de forme à considérer en fonction de l'inclinaison des toitures avec l'horizontale

Le coefficient de forme  $\mu_2$  est à prendre en compte si la toiture présente des creux et/ou des barrières empêchant l'évacuation naturelle de la neige, conduisant à son accumulation.

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

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

Où  $\mu_k$  est le coefficient de forme approprié,  $C_e$  et  $C_t$  les coefficients d'exposition et thermique, respectivement, et  $s_k$  la valeur caractéristique de la charge de neige lue égale à 45 daN/m<sup>2</sup>.

La toiture des charpentes béton est composée de deux pans inclinés de 30° par rapport à l'horizontale.

La charge de neige considérée est donc :

$$S = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot (S_{k,0} + \Delta S + S1)$$

$$\text{Charpente béton : } S = 0.29 \text{ KN/m}^2 \text{ avec } \mu_1 = 0,8$$

Avec :

- $C_e$  : Coefficient d'exposition de la toiture,  $C_e = 0,8$
- $C_t$  : Coefficient thermique,  $C_t = 1,00$

#### 6.1.4 Charges de vent (W+ et W-)

##### 6.1.4.1 Vitesse de vent de base

La démonstration ci-après suit la méthode détaillée dans l'Eurocode 1, NF EN 1991 1-4 pour le calcul de la vitesse des vents.

La carte présentée dans la figure ci-après montre la répartition de la valeur de base de la vitesse de référence des vents, grandeur utile pour le calcul de la vitesse de vent de base.

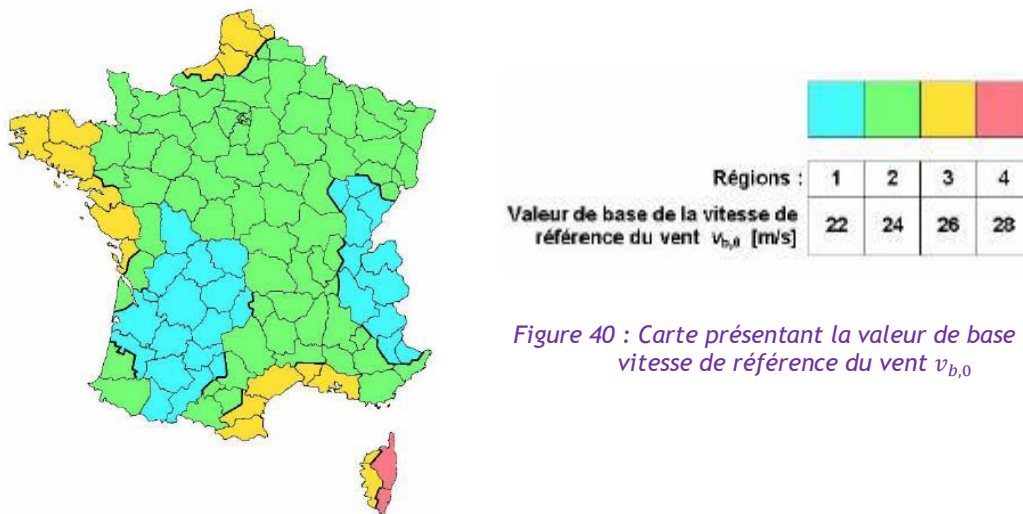


Figure 40 : Carte présentant la valeur de base de la vitesse de référence du vent  $v_{b,0}$

Sur cette carte, L'Internat d'Excellence de Sourdun se situe en région 2, soit  $v_{b,0} = 24$  m/s.

#### 6.1.4.2 Catégorie de terrain

La Figure répertorie les catégories de terrain suivant la topologie et l'orographie de la zone étudiée.

Catégorie de terrain		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0	Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km	0,005	1
II	Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur	0,05	2
IIIa	Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé	0,20	5
IIIb	Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers	0,5	9
IV	Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts	1,0	15

Figure 41 : Conditions d'attribution d'une catégorie de terrain à une zone en fonction de sa topologie et de son orographie (§ 4.3.2 EN 1991-1-4 Tableau 4)

L'internat étudié rentre dans la catégorie de terrain II. Ainsi,  $z_0 = 0.05$  m, et  $z_{min} = 2$  m.

Les coefficients de direction et de saison sont pris égaux à 1 par manque d'information et de manière conservatrice. La vitesse de référence du vent, est donnée par :

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (\text{EN 1991-1-4 § 4.2})$$

$$V_b = 24 \text{ m/s}$$

#### 6.1.4.3 Vitesse moyenne au faîtage :

Le facteur de terrain ( $k_r$ ) dépendant de la longueur de rugosité est donc égale à :

$$k_r = 0.19 * \left( \frac{z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0.07}$$

$$k_r = 0.19$$

La vitesse moyenne au faîtage est égale à :

$$V_{m,f}(z) = C_r(z) \times C_0(z) \times V_b = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \times C_0(z) \times V_b$$

$$= 26.50 \text{ m/s pour le bâti 3}$$

$$= 24.90 \text{ m/s pour les bâtis 6 et 7}$$

$$= 26.00 \text{ m/s pour les bâtis 13 et 14}$$

$$= 26.20 \text{ m/s pour le bâti 58}$$

Avec :

- $z$ , la hauteur au faîtage ou la hauteur minimum ( $z_{min}$ ), fixée par l'EN-1991, en fonction de la catégorie de terrain. La hauteur minimale pour la catégorie de terrain sélectionnée est de 2m soit pour chaque bâtiment :  
 $z_{bâti 3} = z_{min} = 16,70m$   
 $z_{bâtis 6/7} = z_{min} = 12m$   
 $z_{bâtis 13/14} = z_{min} = 15m$   
 $z_{bâti 58} = z_{min} = 15,70m$
- $z_0 = 0,05$  pour un terrain de catégorie II
- $C_0(z) = 1$  Coefficient orographique

#### 6.1.4.4 Pression dynamique de pointe

La pression dynamique de pointe est donnée par l'expression :

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m(z)^2 \quad (\text{EN 1991-1-4, § 4.5, Eq.4.8})$$

$$q_p(z) = 849 \text{ Pa}$$

Avec :

- $\rho$  la densité de l'air  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
- $V_m = 24.6 \text{ m/s}$  la vitesse moyenne du vent
- $I_v(z)$  = intensité de la turbulence à la hauteur  $z$  :

$$I_v(z) = \frac{Kl}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = 0.18$$

Avec :

- $Kl$  coefficient de turbulence :  
 $Kl = c_0(z)(1 - 2 \cdot 10^{-4}(\log_{10}(z_0) + 3)^6) = 0.995$
- $C_0(z) = 1$ , Coefficient orographique
- $z$ , la hauteur au faîtage ou la hauteur minimum, fixée par l'EN-1991, en fonction de la catégorie de terrain. Dans ce cas, la hauteur minimum (2 m pour un terrain II) est inférieure à la hauteur du faîtage.

#### 6.1.4.5 Pression aérodynamique du vent sur les faces

Par convention, une charge de vent positive correspond à une pression du vent sur une face. Une charge de vent négative correspond à une aspiration de la face par le vent.

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

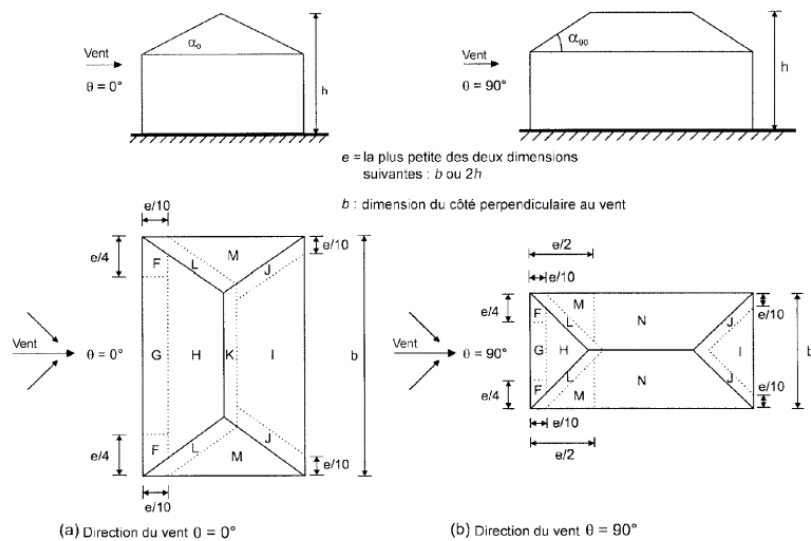
$$W_e(z) = q_p(z_e) * C_{pnet} = q_p(z_e) * (C_{pe} - C_{pi})$$



Où :

- $q_p(z)$  est la pression dynamique de pointe
- $z_e$  est la hauteur de référence pour la pression extérieure
- $C_{pe}$  est le coefficient de pression pour la pression extérieure
- $C_{pi}$  est le coefficient de pression intérieure

Le cas Eurocode se rapprochant le plus des configurations de toiture étudiées est le cas d'une toiture 4 pans. Les valeurs de  $C_{pe}$ , correspondantes à cette configuration, sont données dans le tableau ci-dessous :



Angle de pente $\alpha_0$ pour $\theta = 0^\circ$ $\alpha_{90}$ pour $\theta = 90^\circ$	Zone pour la direction du vent $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2		-0,4
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2		-0,3
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2		-0,2
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2		-0,2
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

NOTE 1 Avec  $\theta = 0^\circ$ , la pression varie rapidement entre des valeurs positives et négatives sur le versant au vent, pour un angle de pente  $\alpha$  allant de  $+5^\circ$  à  $+45^\circ$  ; c'est pourquoi des valeurs positives et négatives sont indiquées pour ces pentes. Pour ces toitures, il convient de prendre en considération deux cas : un cas présentant toutes les valeurs positives, et un cas présentant toutes les valeurs négatives. Aucun mélange de valeurs positives et négatives n'est admis.

NOTE 2 Pour les angles de pente intermédiaires de même signe, une interpolation linéaire peut être utilisée entre valeurs de même signe. Les valeurs égales à 0,0 sont données à cette fin d'interpolation.

NOTE 3 Pour la détermination des coefficients de pression sur les différents versants, l'angle de pente à considérer est toujours celui du versant au vent.

Figure 42 -  $C_{pe}$  pour les toitures à 4 versants

- Les valeurs de  $C_{pi}$  sont limitées à :
  - $C_{pi} = -0.3$  Pour la dépression intérieure maximale
  - $C_{pi} = +0.2$  Pour la surpression intérieure maximale

Les valeurs de pressions de vent zone par zone sont données dans les tableaux suivants :

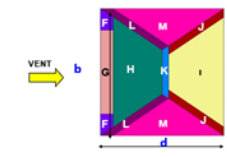
Vent perpendiculaire au long pan - Bâti 3											
Longueur arêtier en plan	13,01		e/2	16,7							
Longueur arêtier	13,97		e/4	8,35							
h (m)	5,10		e/5	6,68							
x (m)	9,20		e/10	3,34							
$\beta$ (°)	45,00	0,7854									
	Grande base	Petite base	Surface	Cpe-	Cpe+	Cpi min	Cpi max	Depression max (kN/m²)	Surpression max (kN/m²)	Depression Moyenne (kN/m²)	Surpression moyenne (kN/m²)
F	8,35	5,01	25,51	-0,53	0,48	-0,3	0,2	-0,33	0,35	-0,30	0,23
G	32,40	3,34	123,73	-0,52	0,67			-0,33	0,44		
H	42,42	30,70	244,95	-0,21	0,39			-0,19	0,31		
I	42,42	27,36	300,38	-0,41				-0,28	0,14		
J	10,65	2,36	28,76	-0,72				-0,42	0,14		
K			61,81	-0,55				-0,34	0,14		
L	13,01	10,65	31,94	-1,40				-0,73	0,14		
M			64,83	-0,79				-0,45	0,14		

Figure 43 - Pressions pour un vent perpendiculaire au long-pan - Bâti n° 3

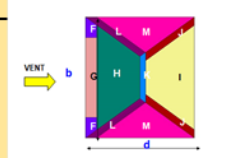
Vent perpendiculaire à la croupe - Bâts 6-7											
Longueur arêtier en plan	9,55		e/2	11,8							
Longueur arêtier	10,31		e/4	5,9							
h (m)	3,90		e/5	4,72							
x (m)	6,75		e/10	2,36							
$\beta$ (°)	45,00	0,7854									
	Grande base	Petite base	Surface	Cpe-	Cpe+	Cpi min	Cpi max	Depression max (kN/m²)	Surpression max (kN/m²)	Depression Moyenne (kN/m²)	Surpression moyenne (kN/m²)
F	5,90	3,54	12,86	-0,50	0,50	-0,3	0,2	-0,32	0,36	-0,28	0,24
G	35,30	2,36	96,20	-0,50	0,70			-0,32	0,46		
H	42,38	33,60	192,58	-0,20	0,40			-0,18	0,32		
I	42,38	31,24	236,75	-0,40				-0,27	0,14		
J	7,88	1,67	15,18	-0,70				-0,41	0,14		
K			47,39	-0,50				-0,32	0,14		
L	9,55	7,88	16,79	-1,40				-0,73	0,14		
M			35,82	-0,80				-0,46	0,14		

Figure 44 - Pressions pour un vent perpendiculaire au long-pan - Bâts n° 6 et 7

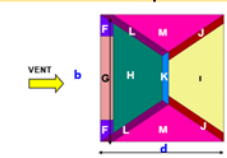
Vent perpendiculaire au long pan - Bâts 13-14											
Longueur arêtier en plan	11,67		e/2	15							
Longueur arêtier	12,76		e/4	7,5							
h (m)	5,16		e/5	6							
x (m)	8,25		e/10	3							
$\beta$ (°)	45,00	0,7854									
	Grande base	Petite base	Surface	Cpe-	Cpe+	Cpi min	Cpi max	Depression max (kN/m²)	Surpression max (kN/m²)	Depression Moyenne (kN/m²)	Surpression moyenne (kN/m²)
F	7,50	4,50	21,23	-0,43	0,53	-0,3	0,2	-0,29	0,38	-0,27	0,25
G	41,50	3,00	146,81	-0,43	0,70			-0,29	0,46		
H	50,50	40,00	280,13	-0,17	0,43			-0,17	0,33		
I	50,50	37,00	348,23	-0,39				-0,27	0,14		
J	9,55	2,12	23,88	-0,69				-0,40	0,14		
K			73,40	-0,47				-0,31	0,14		
L	11,67	9,55	26,53	-1,39				-0,72	0,14		
M			53,73	-0,80				-0,46	0,14		

Figure 45 - Pressions pour un vent perpendiculaire au long-pan - Bâts n° 13 et 14

Vent perpendiculaire au long pan - Bâti 58										
Longueur arêtier en plan	14,57		e/2	15,7						
Longueur arêtier	15,09		e/4	7,85						
h (m)	3,95		e/5	6,28						
x (m)	10,30		e/10	3,14						
$\beta$ (°)	45,00	0,7854								

	Grande base	Petite base	Surface	Cpe-	Cpe+	Cpi min	Cpi max	Depression max (kN/m²)	Surpression max (kN/m²)	Depression Moyenne (kN/m²)	Surpression moyenne (kN/m²)
F	7,85	4,71	21,12	-0,74	0,32	-0,3	0,2	-0,43	0,28	-0,32	0,20
G	57,80	3,14	194,40	-0,68	0,40			-0,40	0,32		
H	67,22	52,90	460,62	-0,26	0,28			-0,21	0,26		
I	67,22	49,76	546,95	-0,46				-0,30	0,14		
J	12,35	2,22	29,36	-0,88				-0,49	0,14		
K			91,60	-0,92				-0,51	0,14		
L	14,57	12,35	32,00	-1,40				-0,73	0,14		
M			81,64	-0,68				-0,40	0,14		

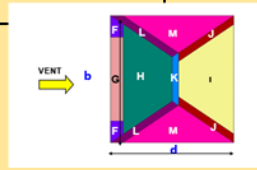


Figure 46 - Pressions pour un vent perpendiculaire au long-pan - Bâti n°58

#### 6.1.4.6 Influence de la topographie du terrain

Les bâtiments de l'Internat de Sourdun sont positionnés en bordure de plateau avec un dénivelé important d'environ 18 m. Cette situation peut potentiellement entraîner une accélération des vents et ainsi impacter les éléments de couverture.

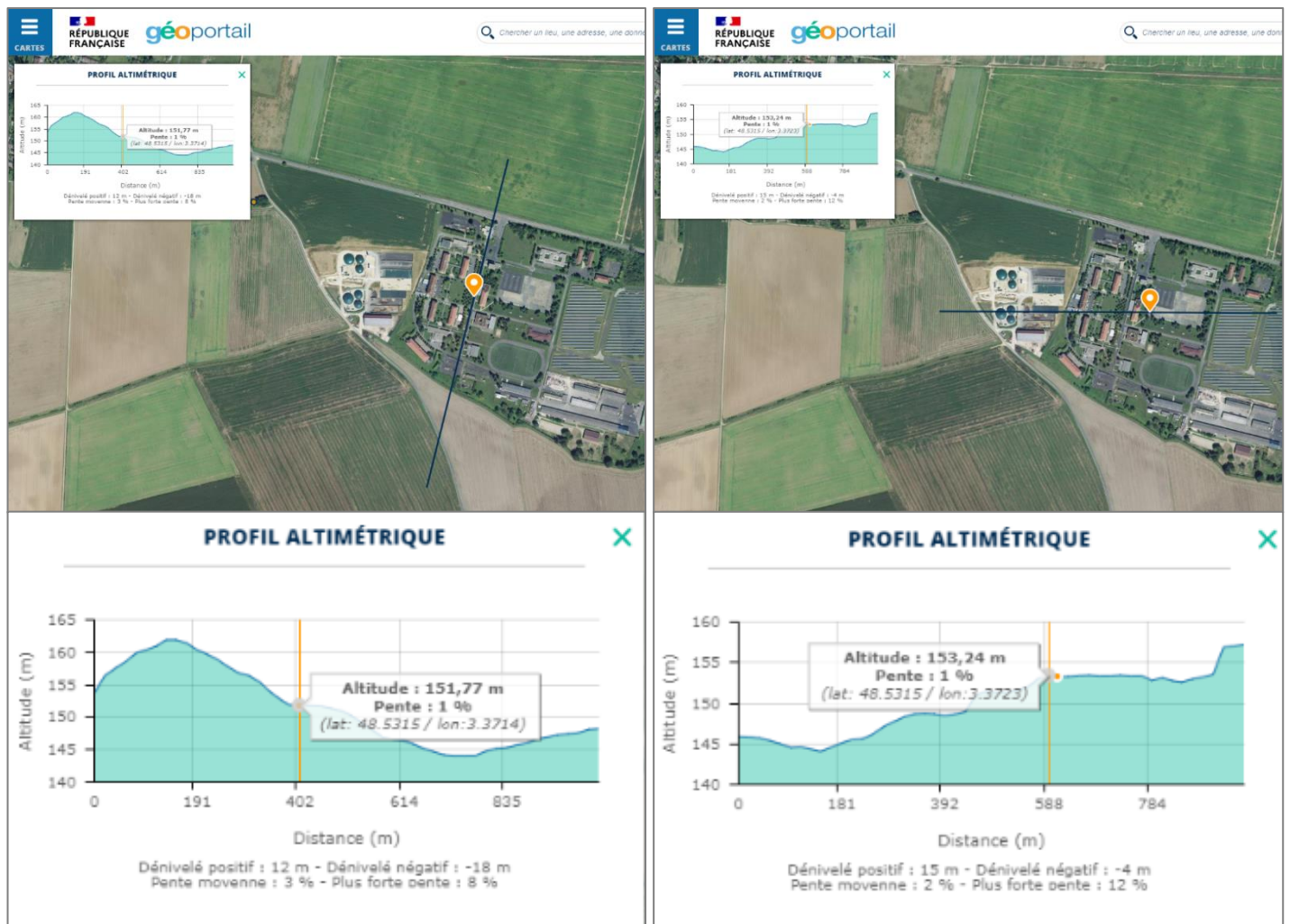


Figure 47 - Profils altimétriques du site obtenus à partir de Géoportail



#### 6.1.5 Charges sismiques (E)

La zone sur laquelle sont construits les six bâtiments de l'internat de Sourdun concernés par la présente étude étant considérée comme une zone de sismicité très faible (cf. *Zonage sismique de la France, entrée en vigueur le 1er mai 2011, d'après l'article D.563-8-1 du code de l'environnement - <http://www.planseisme.fr/Zonage-sismique-de-la-France.html>*), et les bâtiments étant de petites hauteurs, le calcul de ces structures ne nécessite pas la prise en compte de tremblements de terres.

#### 6.1.6 Charges d'incendie

Le calcul de ces structures ne nécessite pas de prise en compte d'une situation d'incendie.

#### 6.1.7 Combinaisons de charges pour les éléments bois

Parmi toutes les combinaisons possibles, les combinaisons suivantes aux ELU semblent les plus défavorables. Les trois dernières combinaisons sont des combinaisons de services (ELS).

C1	$1.35 \cdot G$
C2	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q$
C3	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S$
C4	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W+$
C5	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 0.9 \cdot W+$
C6	$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W+ + 0.75 \cdot S$
C7	$G + 1.5 \cdot W-$ (soulèvement)
C8	$G + W+ + 0.5 \cdot S$ (ELS)
C9	$G + S + 0.6 \cdot W+$ (ELS)
C10	$G + Q$ (ELS)

Figure 48 - Combinaisons de charges - Eurocode 5

L'ensemble de ces combinaisons ont été utilisées pour vérifier les chevrons bois de l'ensemble des bâtiments concernés par l'étude ainsi que les pannes bois du bâtiment n°58. Les pannes métalliques du bâtiment n°3 ainsi que les pannes en béton armé des bâtiments n°6, 7, 13, et 14 ont été vérifiées en prenant en compte les combinaisons C2 et C5.

#### 6.1.8 Mode d'action des charges extérieures

Les charges permanentes, les charges d'exploitation et les charges de neige sont supposées agir verticalement sur la toiture. Elles forment ainsi un angle  $\theta$  avec la normale au toit, égal à l'angle formé par les chevrons avec l'horizontale. Ainsi, les chevrons, soumis à une charge verticale  $F$ , peuvent être modélisés comme une poutre soumise à une action tangentielle à la section de poutre,  $F \cos(\theta)$ , créant un moment fléchissant, et une action normale,  $F \sin(\theta)$ , créant une contrainte normale dans la poutre.

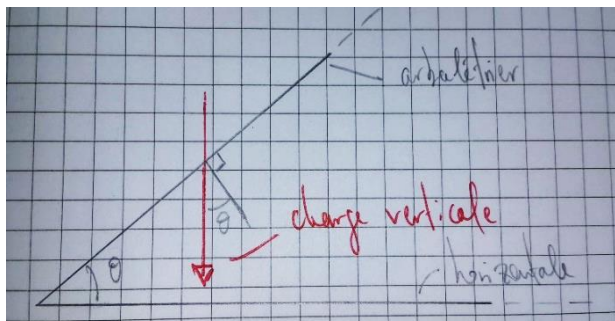


Figure 49 : Angle formé par les actions verticales avec la toiture

D'autre part, les charges de vent sont supposées perpendiculaires à la toiture, créant un moment fléchissant.

De plus d'après l'annexe à l'Eurocode EN 1991-1-1, dans le cas des toitures inaccessible, les toits de pentes supérieures à 15% ne prennent pas en compte les charges d'exploitation réparties mais uniquement des charges ponctuelles de 1,5 kN (à calculer sans les charges de vent ni neige).

**Clause 6.3.4.2 (Tableau 6.10) Valeurs des actions à considérer pour les toitures de catégorie H (toitures inaccessibles sauf pour entretien et réparations)**

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

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

Type de la toiture	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Toiture de pente inférieure à 15 % recevant une étanchéité	0,8	1,5
Autres toitures	0	1,5

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

## 6.2 Hypothèses sur le bois

Les vérifications s'appliquent pour les sections relevées lors de l'intervention de l'équipe STRUCTUREO (chevrons de l'ensemble des bâtis concernés par l'étude et pannes du bâti n°58) et en bon état, elles ne concernent pas les bois éventuellement endommagés ou les points particuliers.

Tous les bois sont supposés de classe C18 (cas le plus défavorable). Les caractéristiques mécaniques sont données dans le tableau figure suivante. Cependant, la capacité résistante du bois est fonction de l'exposition à l'humidité et de la durée de chargement. Le facteur de modification  $k_{mod}$  est introduit à cet effet (cf. figure 28). L'Eurocode 5 introduit également un facteur de sécurité  $\gamma_M = 1.3$  pour les bois massifs. Le facteur d'humidité  $k_h$  est considéré égal à 1.

Matériau	Norme	Classe de service	Classe de durée de chargement				
			Action permanente	Action long terme	Action moyen terme	Action court terme	Action instantanée
Bois massif	EN 14081-1	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Bois lamellé collé	EN 14080	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Contreplaqué	EN 636 Type EN 636 Chapitre 7 Type EN 636 Chapitre 8 Type EN 636 Chapitre 9	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
		2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Panneau de particules	EN 312 Type P4, Type P5 Type P5 Type P6, Type P7 Type P7	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
		1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
		2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Panneau de fibres, dur	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA ou 2 HB.HLA I ou 2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
Panneau de fibres, Semi-dur	EN 622-3 MBH.LAI ou 2 MBH.HLS I ou 2 MBH.HLS I ou 2	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		2	-	-	-	0.45	0.80
Panneau de fibres, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		2	-	-	-	0.45	0.80

Figure 50 -  $k_{mod}$



Matériau			C18
Flexion	MPa	$f_{m,k}$	18
Traction Axiale	MPa	$f_{t,II,k}$	10
Traction Transversale	MPa	$f_{t,\perp,k}$	0,4
Compression Axiale	MPa	$f_{c,II,k}$	18
Compression Transversale	MPa	$f_{c,\perp,k}$	2,2
Cisaillement	MPa	$f_{v,k}$	3,4
Module Moyen d'Elasticité Axial	MPa	$E_{II,moy}$	9000
Module d'Elasticité Axial au Fractile 5%	MPa	$E_{II,0.5}$	6000
Module Moyen d'Elasticité Transversal	MPa	$E_{\perp,moy}$	300
Module Moyen de Cisaillement	MPa	$G_{moy}$	560
Module Moyen de Cisaillement au Fractile 5%	MPa	$G_{II,0.5}$	373
Masse Volumique au Fractile 5%	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_k$	320
Masse Volumique moyenne	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{moy}$	380
Poids Volumique moyen	kN/m <sup>3</sup>	$\rho_{moy}$	3,8

Figure 51 - Caractéristiques mécaniques du bois

### 6.3 Hypothèses sur le béton armé

Les hypothèses sur les caractéristiques des matériaux utilisés dans les calculs des pannes en béton armé sont :

- Un béton de classe C25/30 pour les poutres en accord avec les résultats des essais sclérométriques ;
- Masse volumique de l'acier dans le béton armé : 7850 kg/m<sup>3</sup> ;
- Limite élastique des aciers du béton armé (type Tor) : 411 MPa ;
- Coefficient de sécurité matériaux pour les aciers du béton armé : 1.1 ;
- Masse volumique du béton : 2500 kg/m<sup>3</sup> ;
- Limite élastique des aciers de construction : 235 MPa ;

## 6.4 Charpente du bâtiment n° 3 (Fermes industrielles et pannes métalliques)

### 6.4.1 Hypothèses des charges

La charpente se situe dans un espace abrité, non chauffé, non isolé, la classe de service 2 est donc considérée pour les chevrons bois. Les différentes charges s'appliquant sur la charpente sont présentées sur le schéma ci-dessous :

$$G_{\text{couverture}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.29 \text{ kN/m}^2$$

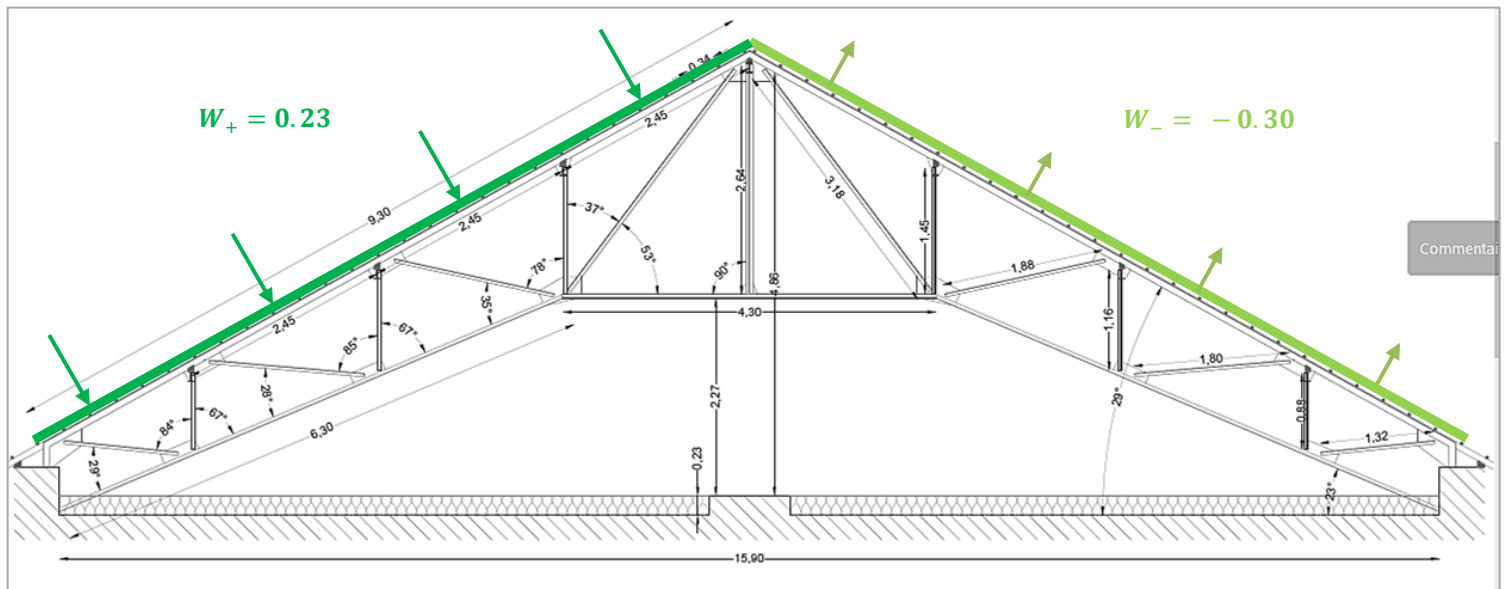


Figure 52 - Efforts du vent sur la charpente du bâti n° 3 (unités en m)

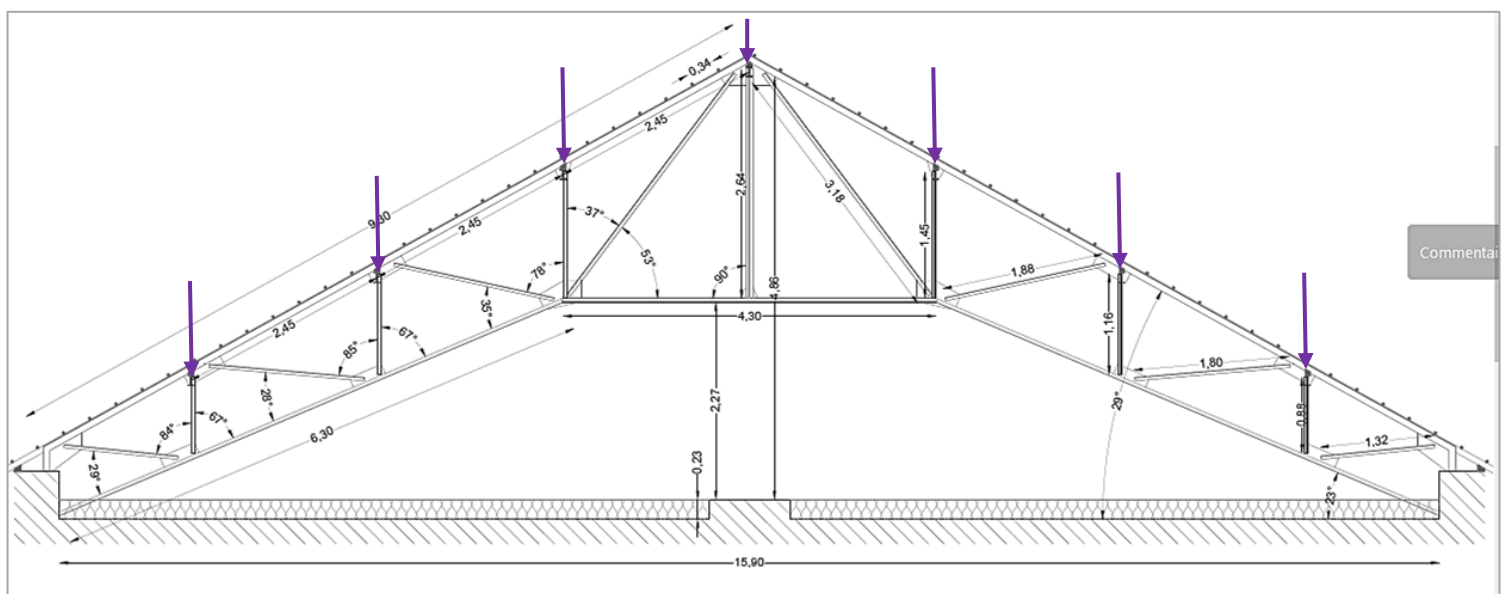


Figure 53 - Charges des pannes métalliques du bâti n° 3 (unités en m) hors charges de vent

#### 6.4.2 Vérification par le calcul

Nota : Etant donnée la prévalence des contraintes de flexion vis-à-vis des contraintes de cisaillement, lors de la vérification des sections courantes (hors cas particulier d'assemblages), seule la vérification des éléments en flexion est détaillée ci-dessous.

##### 6.4.2.1 Chevrans

Les chevrons reposent sur 5 appuis, et sont espacées de 37 cm à l'entraxe en moyenne. Deux chevrons couvrent la largeur de 9,30m environ de pan de toiture.

Les chevrons sont sollicités en flexion composée, le schéma ci-dessous présente un chevron courant avec ces dimensions mesurées sur site. En bleu est représenté la charge perpendiculaire à l'élément et en rouge la sollicitation d'effort normal, et en noirs les réactions d'appuis.

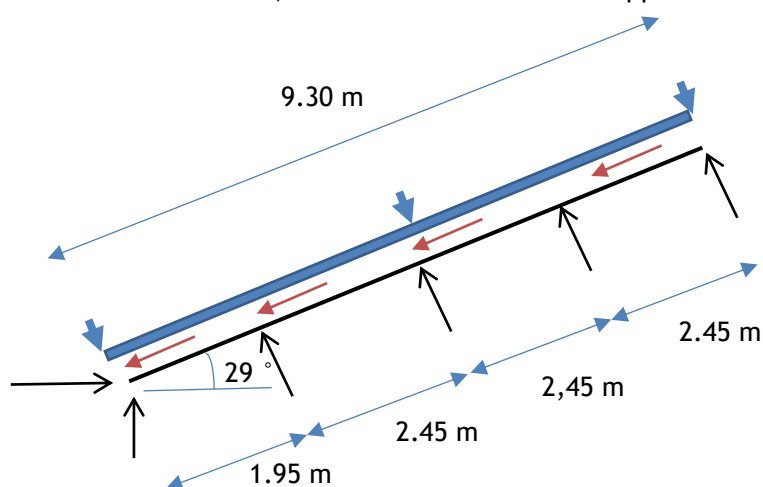


Figure 54 - Schéma d'étude mécanique des chevrons (flexion composée)

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,30	0	0,29	0,23	-0,30
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)	29	29	29		
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,10	0,00	0,11	0,09	-0,11
Effort Normal (kN/m)	0,05	0,00	0,05	0	0

Figure 55 - Sollicitations des chevrons



### Vérification ELU :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	1,72	0,00	0,04	0,6	9,7	8,3	18%
C2	1.35G + 1.5Q	1,72	0,00	0,04	1,1	17,7	15,2	10%
C3	1.35G + 1.5S	3,83	0,00	0,08	0,9	14,5	12,5	26%
C4	1.35G + 1.5W+	3,40	0,00	0,04	1,1	17,7	15,2	19%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	4,84	0,00	0,08	1,1	17,7	15,2	27%
C6	1.35G + 1.5W+ + 0.75S	4,45	0,00	0,06	1,1	17,7	15,2	25%
C7	G + 1.5W-	0,91	0,00	0,03	1,1	17,7	15,2	5%

Figure 56 - Taux de travail ELU des chevrons en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des chevrons sous cette sollicitation est de 43% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les chevrons ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.

### Vérification ELS :

Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
<b>Chevrans</b>	-	$\ell/150$	$\ell/125$
<b>Éléments structuraux</b>	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.



Figure 57 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
$w_{inst\ G}$ (mm)	4,13	L/300	8,17	51%
$w_{fin}$ (mm)	8,68	L/125	19,60	44%
$w_{fin,net}$ (mm)	8,68	L/250	9,80	89%

Figure 58 - Taux de travail ELS des chevrons

Les chevrons sont vérifiés à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C9).

#### 6.4.2.2 Vérification par le calcul des pannes du bâti n° 3

Les pannes reprennent les chevrons et reposent sur des voiles parpaing. Les pannes les plus sollicitées sont les pannes intermédiaires basses. La vérification par le calcul est donc effectuée à partir des relevés effectués sur ces pannes.

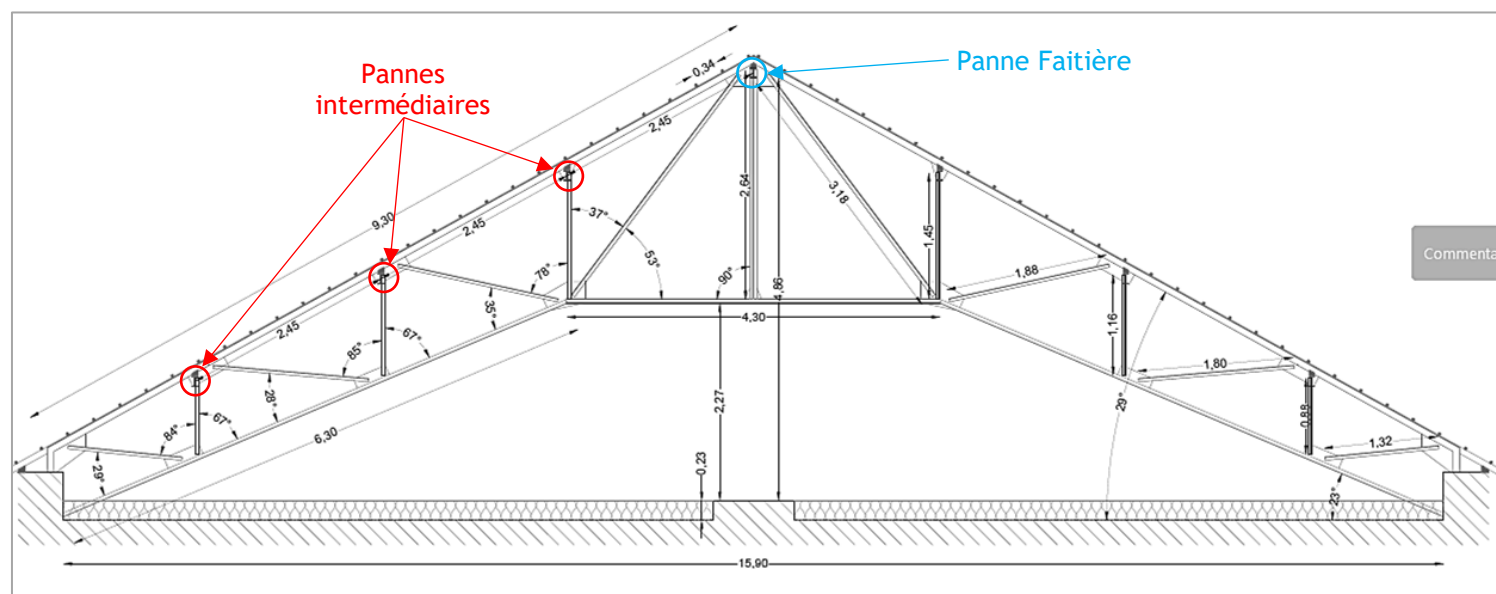


Figure 59 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes

Les portées des pannes sont nombreuses. Les calculs sont réalisés pour la portée de panne la plus fréquente (IPE AA 120) relevée en toiture soit 5.20 m pour la toiture du bâtiment 3.

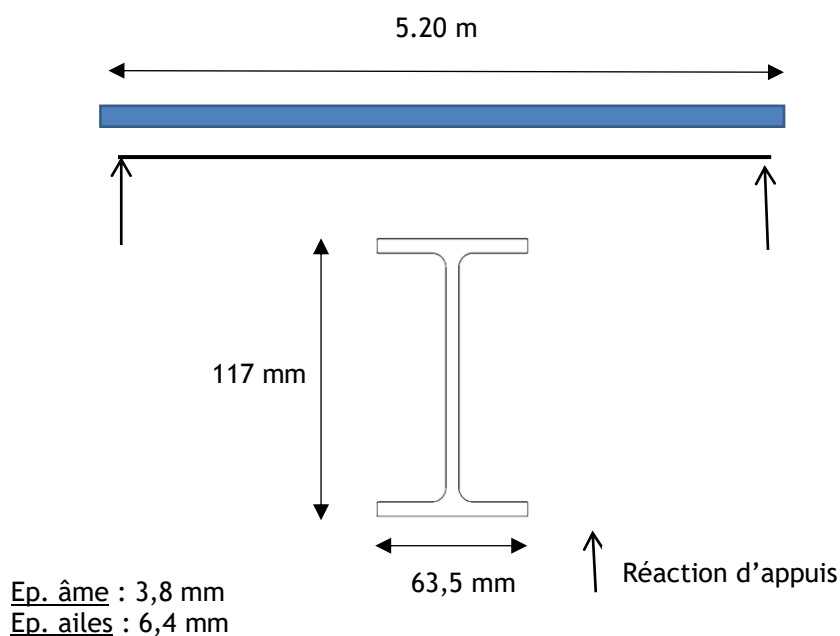


Figure 60 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes



Le poids des chevrons est intégré dans la charge surfacique permanente :

$$PP_{Chevrons} = 0.018 \text{ kN/m}$$

$$Entraxe = 0.37 \text{ m}$$

$$G_{Chevrons} = 0.018 / 0.37 = 0.05 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 0.30 + 0.05 = 0.35 \text{ kN/m}^2$$

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,35	0,80	0,29	0,23	-0,30
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)				29	29
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,83	1,96	0,71	0,49	-0,64
Effort Tangentielle axe faible (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,27	-0,36

Figure 61 - Sollicitations des pannes métalliques intermédiaires

### Vérification ELU des pannes métalliques du bâti n° 3 :

Les pannes métalliques ont été considérées comme des poutres reposant sur deux appuis sur lesquels ont été appliquées les sollicitations présentées ci-dessus.

### Panne métallique - portée 5,20 m :

N° de zone	Élément vérifié	Désignation de la section	Section	Ecartement ou largeur portée	Portée	Poids propre	Numéro de combinaison	Charge d'exploitation surfacique	Poids surfacique du plancher ELU	Charge linéique ELU	Poids surfacique du plancher ELS	Charge linéique ELS	Moment additionnel ELU	Conditions d'appuis	Coefficient diviseur du moment	Moment sollicitant ELU	Moment d'inertie élastique	Résistance de calcul	Moment résistant	Taux de contrainte à froid	I <sub>y</sub>	Flèche si articulations à l'ELS	Flèche relative	Ratio par rapport au 250ème
			cm <sup>2</sup>	m	m	kg/ml		kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/ml	kg/m <sup>2</sup>	kg/ml	kN.m			kN.m	cm <sup>3</sup>	MPa	kN.m	%	cm <sup>4</sup>	mm	-	%
Bâti 3	Panne Axe Fort + Toiture 31 kg/m <sup>2</sup>	IPE AA 120	10,70	2,45	5,2	8,4	104	Toitures 24 kg/m <sup>2</sup> Métal	57	151,7	40	106,0		Articulé	8	5,03	41,70	214	8,9	56%	244,00	19,3123	269	93%
Bâti 3	Panne + Neige et 0,6 vent - Axe Fort	IPE AA 120	10,70	2,45	5,2	8,4	102	Toitures Nulle	52	139,8	39	103,3		Articulé	8	4,63	41,70	214	8,9	52%	244,00	18,8202	276	90%

La panne ne subit aucun effort de compression, elle n'est pas soumise au Flambement.

Le taux de travail des pannes sous la sollicitation la plus défavorable (charge d'exploitation) est **de 56 %**.

Les pannes sont vérifiées à l'ELU sous la combinaison la plus défavorable (Charges d'exploitation).

Le taux de travail des pannes à l'ELS sous la sollicitation la plus défavorable (charge d'exploitation) s'élève **à 93 %**.

Les pannes sont vérifiées à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (Charges d'exploitation).

#### 6.4.3 Mesure de la flèche

A l'aide des outils de relevés lasergrammétriques, les flèches des pannes ont pu être mesurées. Ci-dessous, la localisation des déformations maximales relevées pour les pannes métalliques de la charpente n°3. Dans le cas présent, les pannes ne présentent pas de déformations importantes (<10mm).

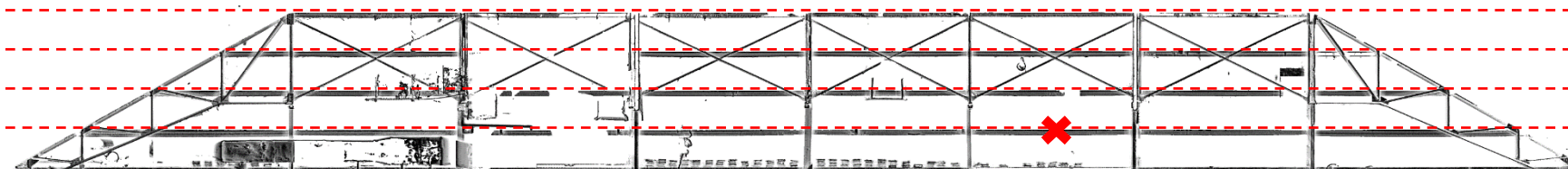


Figure 62 : Bâtiment 3 - Coupe AA' d'après le relevé lasergrammétrique

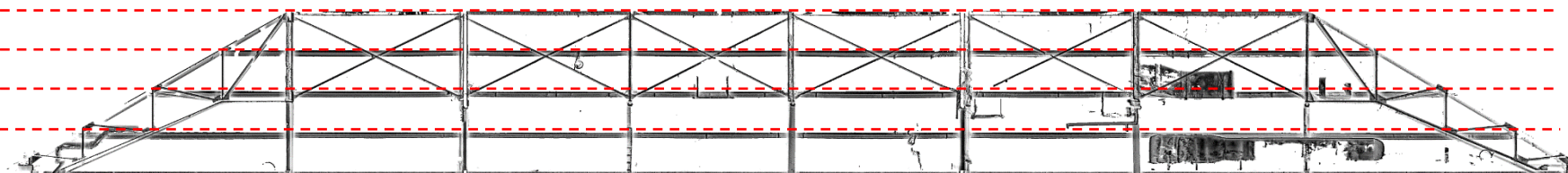


Figure 63 : Bâtiment 3 - Coupe BB' d'après le relevé lasergrammétrique

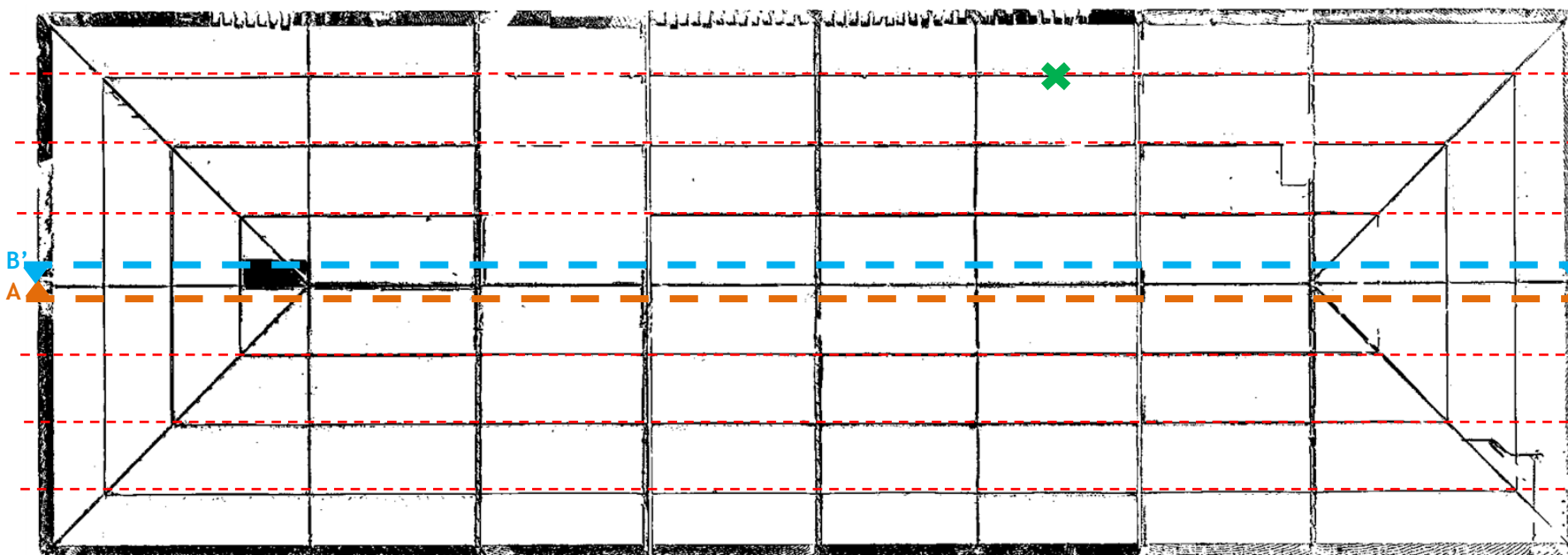


Figure 64 : Bâtiment 3 - Plan de toiture d'après le relevé lasergrammétrique

Légende :

✗ : Fléchissement max relevé

✗ : Gauchissement\* max relevé

fléchissement max. (mm)	Gauchissement max. (mm)
4	5

\* Déformation dans l'axe faible de la panne

## 6.5 Charpente du bâtiment n°6 (Pannes en Béton Armé)

### 6.5.1 Hypothèses des charges

La charpente (pannes béton avec chevrons bois) se situe dans un espace abrité, non chauffé, non isolé, la classe de service 2 est donc considérée pour les chevrons bois. Les différentes charges s'appliquant sur la charpente sont présentées sur le schéma ci-dessous :

$$G_{\text{couverture}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.29 \text{ kN/m}^2$$

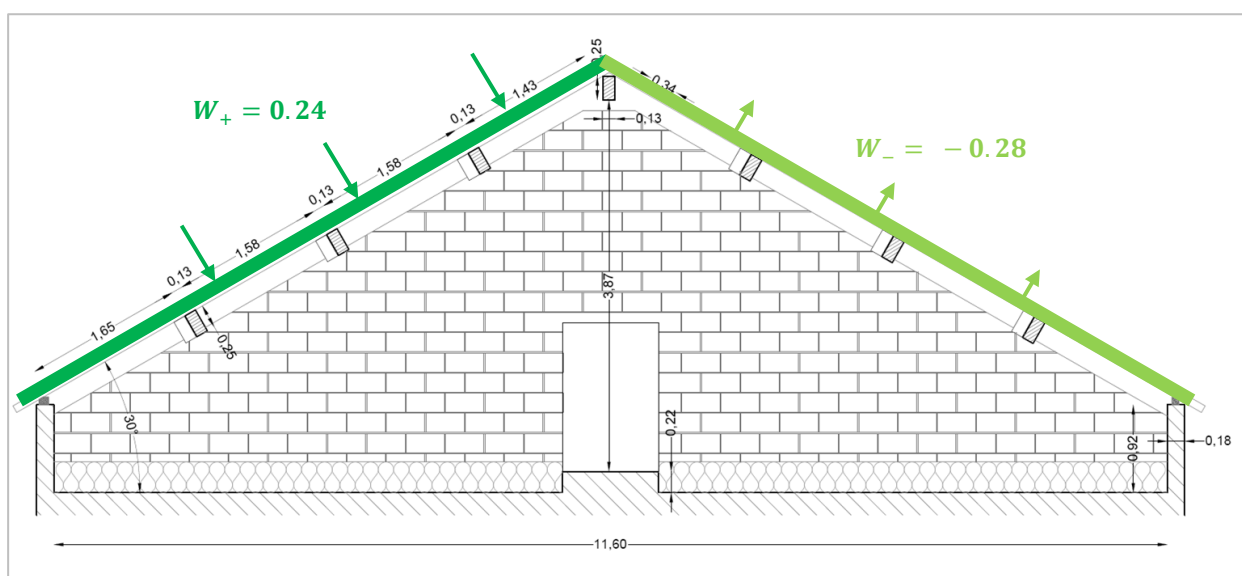


Figure 65 : Efforts du vent sur la charpente du bâti n°6 (unités en m)

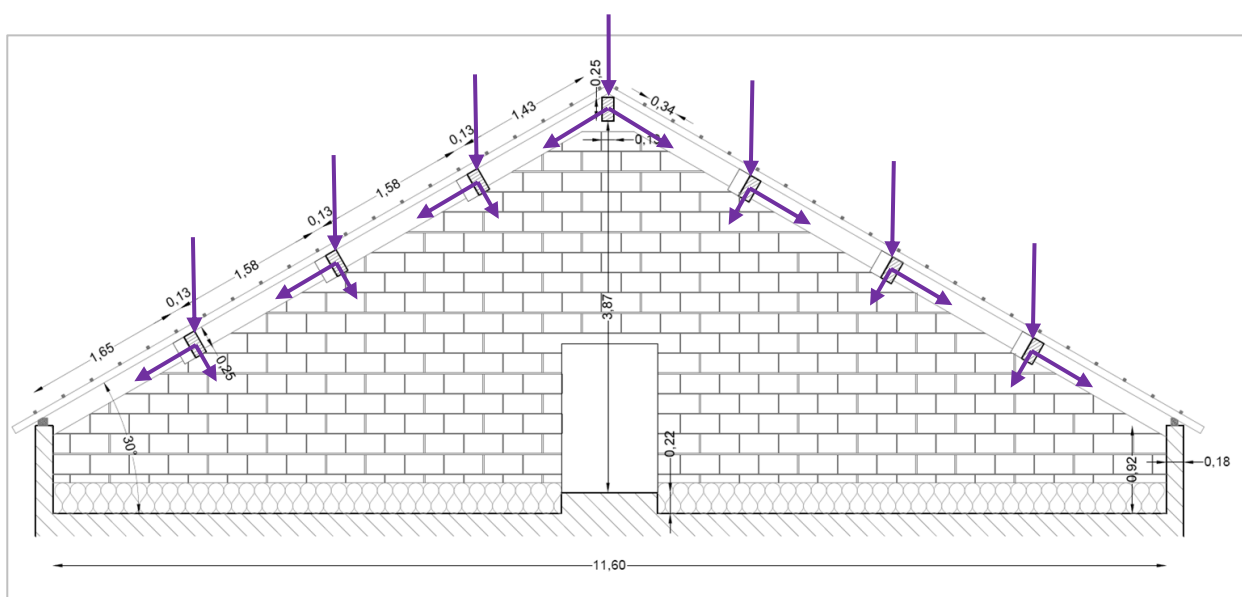


Figure 66 : Charges des pannes du bâti n°6 (unités en m) hors charges de vent



## 6.5.2 Vérification par le calcul

Nota : Etant donnée la prévalence des contraintes de flexion vis-à-vis des contraintes de cisaillement, lors de la vérification des sections courantes (hors cas particulier d'assemblages), seule la vérification des éléments en flexion est détaillée ci-dessous.

### 6.5.2.1 Chevrans

Les chevrons reposent sur 5 appuis, et sont espacées de 40 cm à l'entraxe.

Les chevrons sont sollicités en flexion composée, le schéma ci-dessous présente un chevron courant avec ces dimensions mesurées sur site. En bleu est représenté la charge perpendiculaire à l'élément et en rouge la sollicitation d'effort normal, et en noirs les réactions d'appuis.

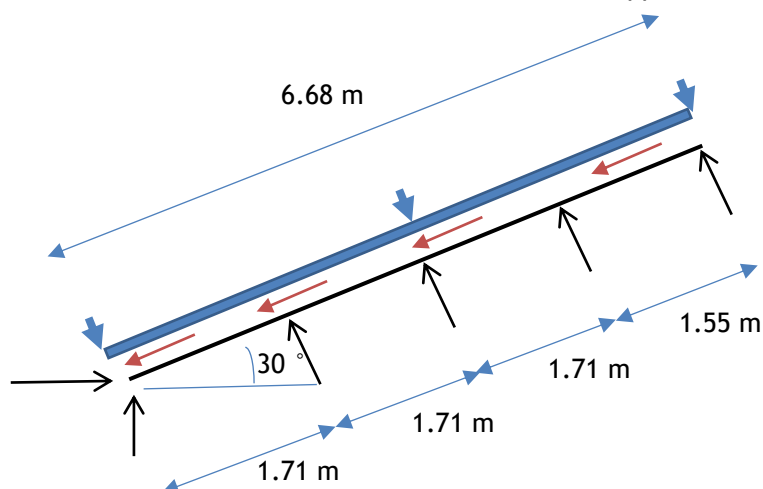


Figure 67 - Schéma d'étude mécanique des chevrons (flexion composée)

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,30	0,80	0,29	0,24	-0,28
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)	30	30	30		
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,10	0,32	0,12	0,10	-0,11
Effort Normal (kN/m)	0,06	0,16	0,058	0	0

Figure 68 - Sollicitations des chevrons

### Vérification ELU :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	0,92	0,00	0,03	0,6	9,5	8,3	10%
C2	1.35G + 1.5Q	4,07	0,00	0,13	0,9	14,2	12,5	29%
C3	1.35G + 1.5S	2,06	0,00	0,07	0,9	914,2	12,5	15%
C4	1.35G + 1.5W+	1,86	0,00	0,03	1,1	17,4	15,2	11%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	2,63	0,00	0,07	1,1	17,4	15,2	15%
C6	1.35G+ 1.5W+ + 0.75S	2,43	0,00	0,05	1,1	17,4	15,2	14%
C7	G + 1.5W-	0,42	0,00	0,02	1,1	17,4	15,2	2%

Figure 69 - Taux de travail ELU des chevrons en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des chevrons sous cette sollicitation est de 29% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les chevrons ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.

### Vérification ELS des chevrons du bâti n°6 :

Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
<b>Chevrons</b>	-	$\ell/150$	$\ell/125$
<b>Éléments structuraux</b>	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.

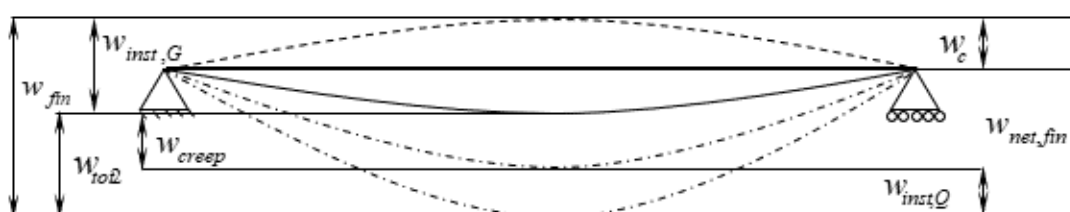


Figure 70 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
$w_{inst\ G}$ (mm)	2,48	L/300	5,70	43%
$w_{fin}$ (mm)	2,88	L/125	13,68	21%
$w_{fin,net}$ (mm)	2,88	L/250	6,84	42%

Figure 71 - Taux de travail ELS des chevrons

Les chevrons sont vérifiés à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

#### 6.5.2.2 Vérification par le calcul des pannes du bâti n° 6

Les pannes reprennent les chevrons et reposent sur des voiles parpaing. Les pannes les plus sollicitées sont les pannes intermédiaires basses. La vérification par le calcul est donc effectuée à partir des relevés et sondages effectués sur ces pannes.

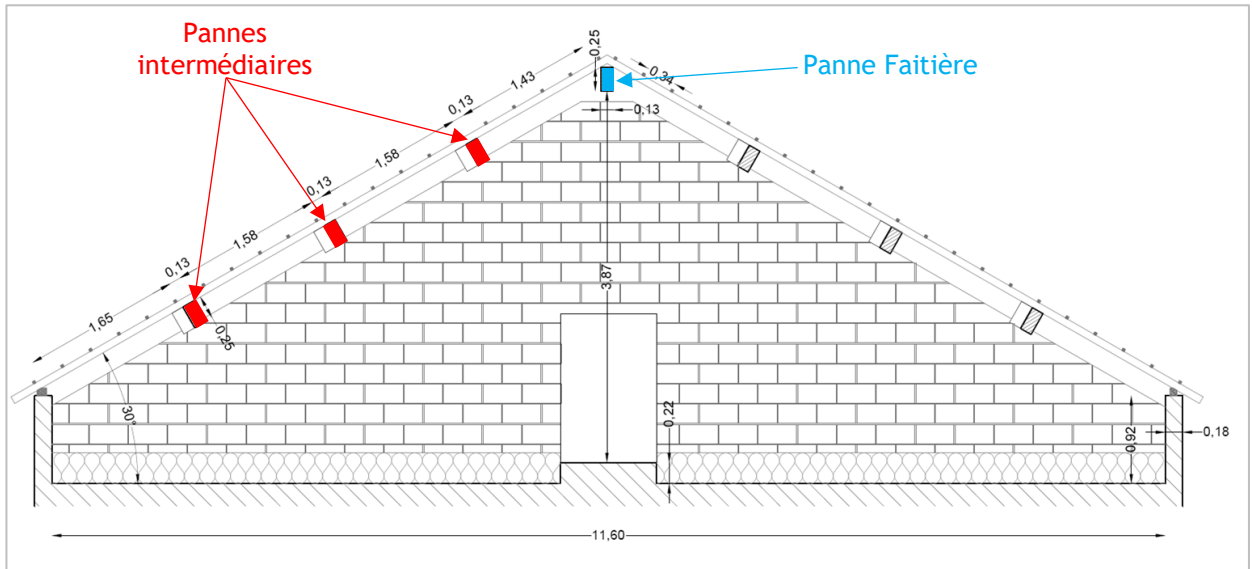


Figure 72 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes

Les portées des pannes sont nombreuses. Les calculs sont réalisés pour la portée de panne la plus fréquente et la plus importante relevée en toiture soit 5.87m pour la toiture du bâtiment 6.

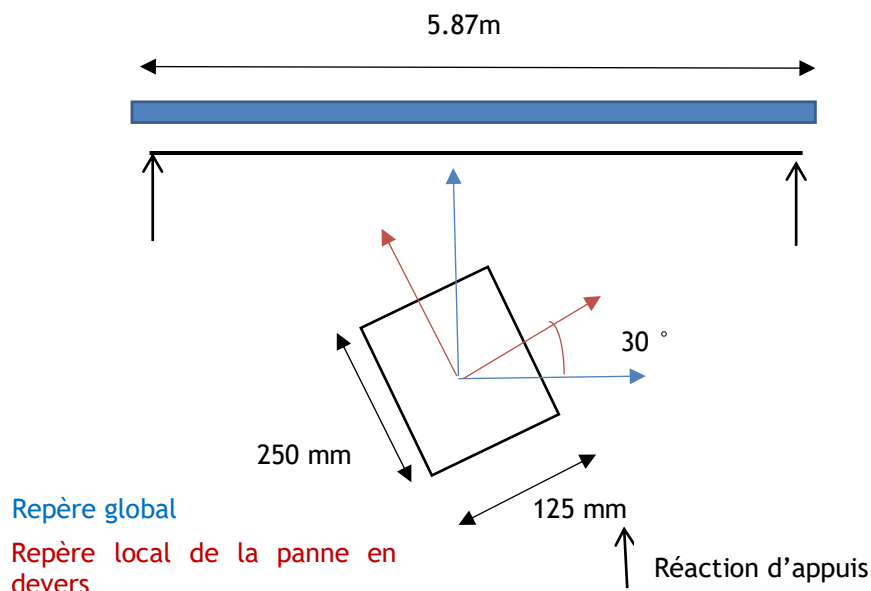


Figure 73 - Schéma d'étude mécanique de la panne courante



Le poids des chevrons est intégré dans la charge surfacique permanente :

$$PP_{\text{chevrons}} = 0.016 \text{ kN/m}$$

$$\text{Entraxe} = 0.40 \text{ m}$$

$$G_{\text{chevrons}} = 0.016 / 0.40 = 0.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 0.30 + 0.04 = 0.34 \text{ kN/m}^2$$

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,34	0,80	0,29	0,24	-0,28
Angle de chargement (inclinaison y-z) (°)	30	30	30	0	0
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,50	1,18	0,43	0,41	-0,48
Effort Tangentielle axe faible (kN/m)	0,29	0,68	0,25	0,00	0,00

Figure 74 - Sollicitations des pannes béton intermédiaires

### Vérification ELU des pannes bétons du bâti n° 6 :

Les pannes bétons ont été considérées comme des poutres reposant sur deux appuis sur lesquelles ont été appliquées les sollicitations présentées ci-dessus prenant en compte l'angle d'inclinaison des pannes.  
Ces pannes ont été vérifiées suivant leur axe fort et leur axe faible.

### Panne béton armé - portée 5,87 m :

Element vérifié	Hauteur de retombée (poutre) cm	Largeur de poutre cm	Nombre d'aciers 1er lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 1er lit mm	Enrobage du 1er lit mm	Nombre d'aciers 2ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 2ème lit mm	Enrobage du 2ème lit mm	Nombre d'aciers 3ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 3ème lit mm	Enrobage du 3ème lit mm	Nombre d'aciers 4ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 4ème lit mm	Enrobage du 4ème lit mm	Ecartement ou largeur portée m	Portée m	Poids propre et charge permanente du à la kg/m	Autres charges permanentes kg/m	Charges d'exploitation (Q) ELU kg/m²	Conditions d'appuis	Coefficient diviseur du moment	Charge uniforme complète à l'ELU kN/m	Moment sollicitant ELU kN.m	Moment résistant kN.m	Taux de sollicitation ELU %
Panne BA - Bâti 6 - Axe Fort + Neige + 0,6 Vent	25	12,5	2	12	64	2	10	215							1,71	5,87	78	124	Toitures Nulle	Articulés	8	2,70	11,6	13,3	87,4%
Panne BA - Bâti 6 - Axe Fort Q	25	12,5	2	12	64	2	10	215							1,71	5,87	78	51	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,49	10,7	13,3	80,4%
Panne BA - Bâti 6 - Axe Faible + Neige	12,5	25	1	12	28	1	10	28	1	12	79	1	10	79	1,71	5,87	78	55	Toitures Nulle	Articulés	8	1,79	7,7	8,3	92,8%
Panne BA - Bâti 6 - Axe Faible Q	12,5	25	1	12	28	1	10	28	1	12	79	1	10	79	1,71	5,87	78	30	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,21	9,5	8,3	114,5%

La panne ne subit aucun effort de compression, elle n'est donc pas soumise au Flambement.

Suivant leur axe fort, le taux de travail des pannes dans le cas le plus défavorable (Charges de Neige et 60% de vent) est de **87,4 %**. Les pannes de cette portée semblent correctement dimensionnées dans cet axe.

Cependant, suivant leur axe faible, le taux de travail des pannes dans le cas le plus défavorable (charge d'exploitation seule) est **supérieur à 100 %**. Les pannes de cette portée sont donc sous-dimensionnées, soit 60% des pannes (environ 70% de la surface de couverture concernée).

### 6.5.3 Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°6

A l'aide des outils de relevés lasergrammétriques, les flèches des pannes ont pu être mesurées. Ci-dessous, la localisation des déformations maximales relevées pour les pannes béton de la charpente n°6.

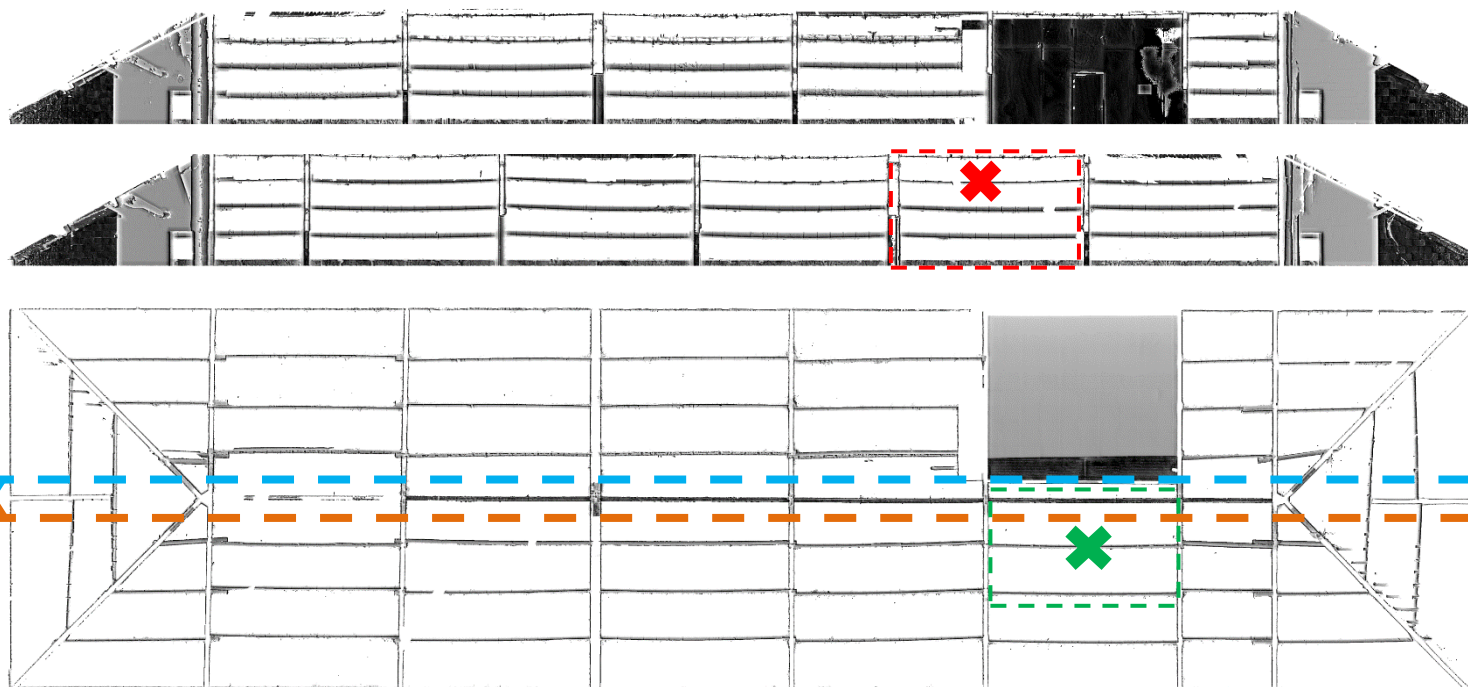


Figure 77 : Bâtiment 6 - De haut en bas : Coupe AA', Coupe BB' et plan de charpente d'après les relevés lasergrammétriques

Légende :

- ✗ : Fléchissement max relevé
- ✕ : \*Gauchissement max relevé

fléchissement max. (mm)	Gauchissement max. (mm)
45	27

\* Déformation dans l'axe faible de la panne

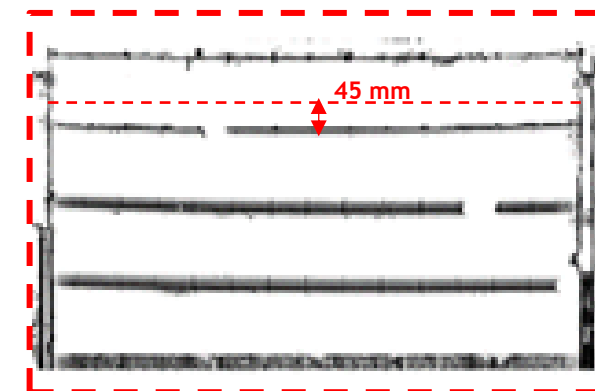


Figure 75 : Vue la panne présentant le fléchissement le plus important.

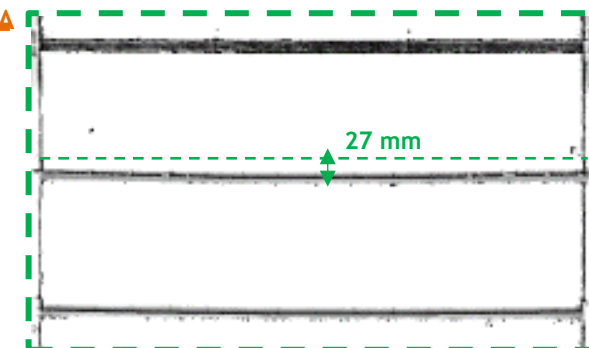


Figure 76 : Vue la panne présentant le gauchissement le plus important.

## 6.6 Charpente du bâtiment n°7 (Pannes en Béton Armé)

### 6.6.1 Hypothèses des charges

La charpente (pannes béton avec chevrons bois) se situe dans un espace abrité, non chauffé, non isolé, la classe de service 2 est donc considérée pour les chevrons bois. Les différentes charges s'appliquant sur la charpente sont présentées sur le schéma ci-dessous :

$$G_{\text{couverture}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.29 \text{ kN/m}^2$$

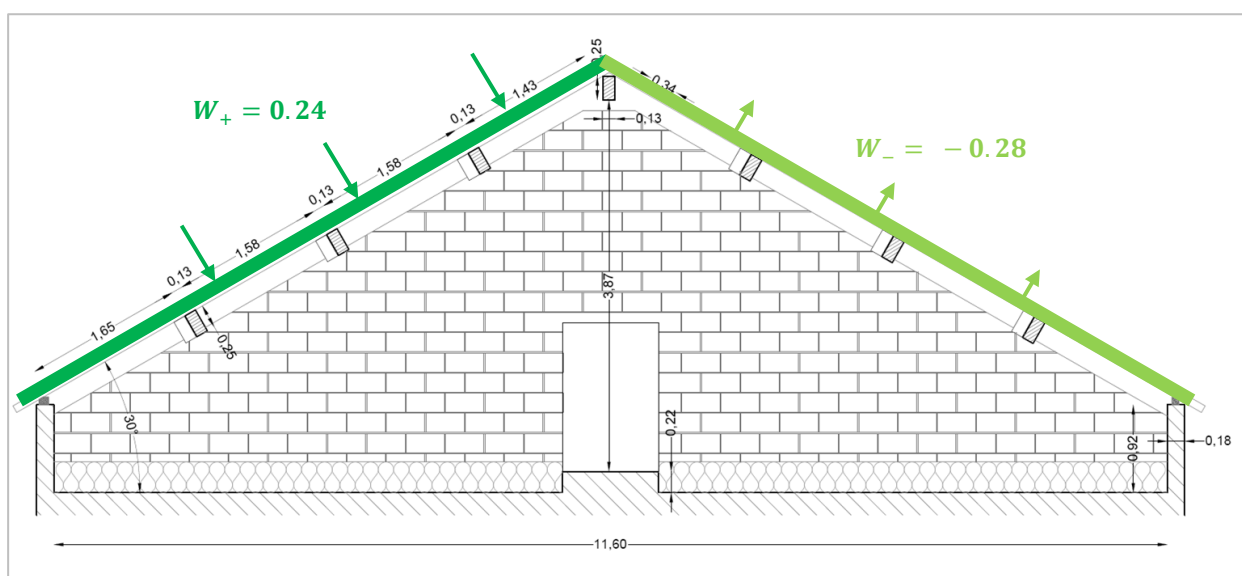


Figure 78 : Efforts du vent sur la charpente du bâti n°7 (unités en m)

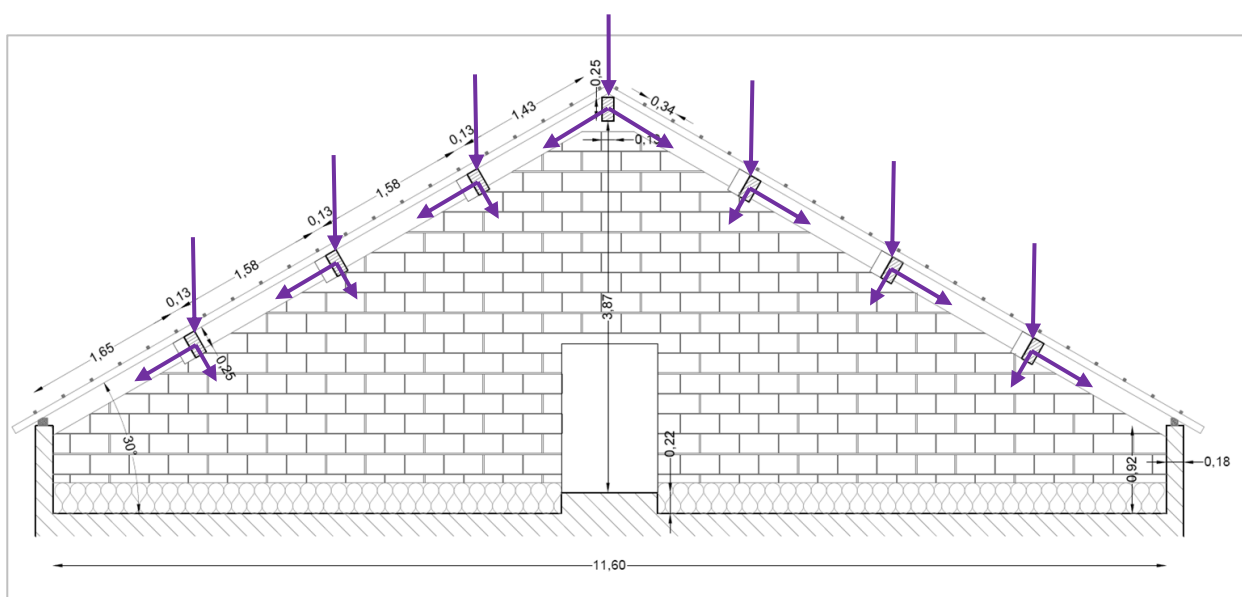


Figure 79 : Charges des pannes du bâti n°7 (unités en m) hors charges de vent



## 6.6.2 Vérification par le calcul

Nota : Etant donnée la prévalence des contraintes de flexion vis-à-vis des contraintes de cisaillement, lors de la vérification des sections courantes (hors cas particulier d'assemblages), seule la vérification des éléments en flexion est détaillée ci-dessous.

### 6.6.2.1 Chevrons

Les chevrons reposent sur 5 appuis, et sont espacées de 40 cm à l'entraxe.

Les chevrons sont sollicités en flexion composée, le schéma ci-dessous présente un chevron courant avec ces dimensions mesurées sur site. En bleu est représenté la charge perpendiculaire à l'élément et en rouge la sollicitation d'effort normal, et en noir les réactions d'appuis.

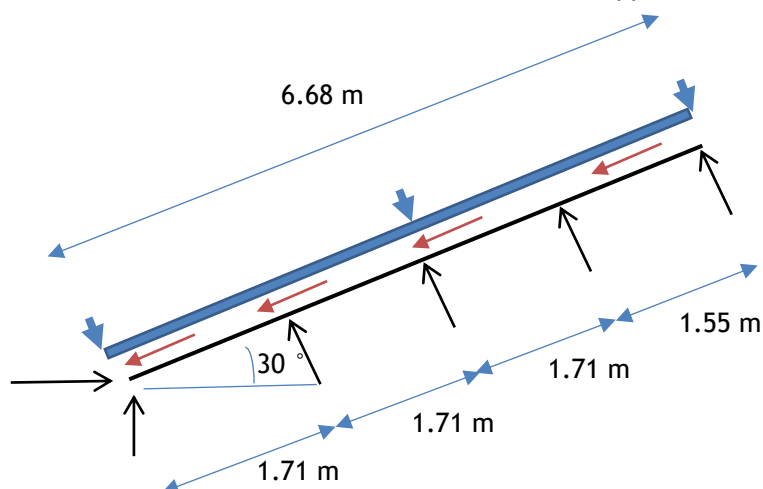


Figure 80 - Schéma d'étude mécanique des chevrons (flexion composée)

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,30	0,80	0,29	0,24	-0,28
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)	30	30	30		
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,10	0,32	0,12	0,10	-0,11
Effort Normal (kN/m)	0,06	0,16	0,058	0	0

Figure 81 - Sollicitations des chevrons

### Vérification ELU :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	0,96	0,00	0,03	0,6	9,5	8,3	10%
C2	1.35G + 1.5Q	4,24	0,00	0,13	0,9	14,3	12,5	30%
C3	1.35G + 1.5S	2,15	0,00	0,07	0,9	14,3	12,5	15%
C4	1.35G + 1.5W+	1,94	0,00	0,03	1,1	17,5	15,2	11%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	2,74	0,00	0,07	1,1	17,5	15,2	16%
C6	1.35G+ 1.5W+ + 0.75S	2,54	0,00	0,05	1,1	17,5	15,2	15%
C7	G + 1.5W-	0,44	0,00	0,02	1,1	17,5	15,2	3%

Figure 82 - Taux de travail ELU des chevrons en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des chevrons sous cette sollicitation est de  $30\% < 100\%$ , l'élément est correctement dimensionné.

Les chevrons ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.

### Vérification ELS des chevrons du bâti n°7 :

Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
Chevrans	-	$\ell/150$	$\ell/125$
Éléments structuraux	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.



Figure 83 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
$w_{inst\ G}$ (mm)	2,69	L/300	5,70	47%
$w_{fin}$ (mm)	3,13	L/125	13,68	23%
$w_{fin,net}$ (mm)	3,13	L/250	6,84	46%

Figure 84 - Taux de travail ELS des chevrons

Les chevrons sont vérifiés à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

#### 6.6.2.2 Vérification par le calcul des pannes du bâti n° 7

Les pannes reprennent les chevrons et reposent sur des voiles parpaing. Les pannes les plus sollicitées sont les pannes intermédiaires basses. La vérification par le calcul est donc effectuée à partir des relevés et sondages effectués sur ces pannes.

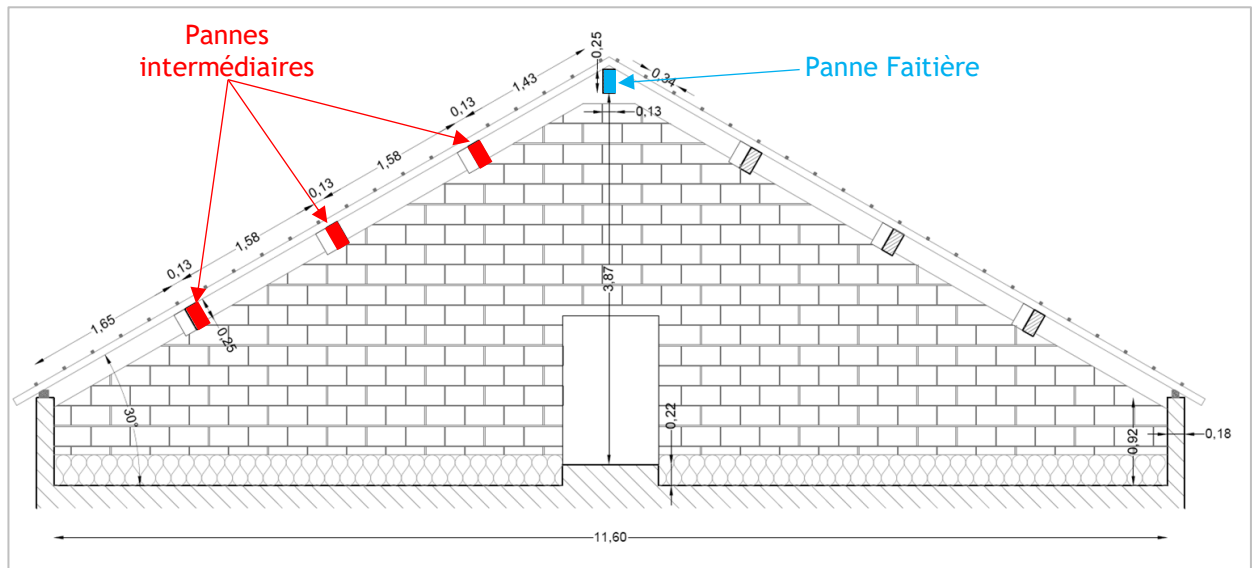


Figure 85 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes

Les portées des pannes sont nombreuses. Les calculs sont réalisés pour la portée de panne la plus fréquente et la plus importante relevée en toiture soit 5.87m pour la toiture du bâtiment 7.

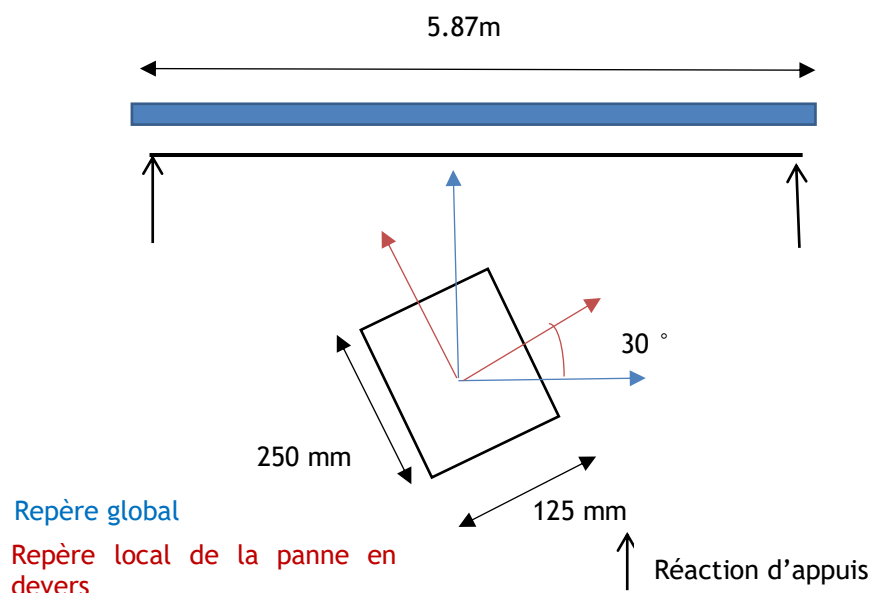


Figure 86 - Schéma d'étude mécanique de la panne courante



Le poids des chevrons est intégré dans la charge surfacique permanente :

$$PP_{\text{chevrons}} = 0.016 \text{ kN/m}$$

$$\text{Entraxe} = 0.40 \text{ m}$$

$$G_{\text{chevrons}} = 0.016 / 0.40 = 0.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 0.30 + 0.04 = 0.34 \text{ kN/m}^2$$

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,34	0,80	0,29	0,24	-0,28
Angle de chargement (inclinaison y-z) (°)	30	30	30	0	0
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,50	1,18	0,43	0,41	-0,48
Effort Tangentielle axe faible (kN/m)	0,29	0,68	0,25	0,00	0,00

Figure 87 - Sollicitations des pannes béton intermédiaires

### Vérification ELU des pannes bétons du bâti n° 7 :

Les pannes bétons ont été considérées comme des poutres reposant sur deux appuis sur lesquelles ont été appliquées les sollicitations présentées ci-dessus prenant en compte l'angle d'inclinaison des pannes.  
Ces pannes ont été vérifiées suivant leur axe fort et leur axe faible.

### Panne béton armé - portée 5,87 m :

Element vérifié	Hauteur de retombée (poutre) cm	Largeur de poutre cm	Nombre d'aciers 1er lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 1er lit mm	Enrobage du 1er lit mm	Nombre d'aciers 2ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 2ème lit mm	Enrobage du 2ème lit mm	Nombre d'aciers 3ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 3ème lit mm	Enrobage du 3ème lit mm	Nombre d'aciers 4ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 4ème lit mm	Enrobage du 4ème lit mm	Ecartement ou largeur portée m	Portée m	Poids propre et charge permanente du à la kg/m	Autres charges permanentes kg/m	Charges d'exploitation (Q) ELU kg/m²	Conditions d'appuis	Coefficient diviseur du moment	Charge uniforme complète à l'ELU kN/m	Moment sollicitant ELU kN.m	Moment résistant kN.m	Taux de sollicitation ELU %
Panne BA - Bâti 7 - Axe Fort + Neige + 0,6 Vent	24,5	12	2	8	37	2	12	211							1,71	5,87	74	124	Toitures Nulle	Articulés	8	2,64	11,4	7,1	159,3%
Panne BA - Bâti 7 - Axe Fort Q	24,5	12	2	8	37	2	12	211							1,71	5,87	74	51	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,43	10,5	7,1	146,3%
Panne BA - Bâti 7 - Axe Faible + Neige	12	24,5	1	8	18	1	12	18	1	8	69	1	12	69	1,71	5,87	74	55	Toitures Nulle	Articulés	8	1,73	7,4	7,7	96,6%
Panne BA - Bâti 7 - Axe Faible Q	12	24,5	1	8	18	1	12	18	1	8	69	1	12	69	1,71	5,87	74	30	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,14	9,2	7,7	119,9%

La panne ne subit aucun effort de compression, elle n'est pas soumise au Flambement.

Suivant leur axe fort et leur axe faible, le taux de travail des pannes sous les deux sollicitations (Neige+ 60% de vent et charge d'exploitation seule) est **supérieur à 100 %** (et 96,6% dans l'axe faible avec la sollicitation Neige + 60% de vent). Les pannes de cette portée sont sous-dimensionnées, soit 60% des pannes (environ 70% de la surface de couverture concernée).

*Le taux de sollicitation élevé dans l'axe fort s'explique notamment par la mauvaise disposition des armatures dans les pannes. En effet, les pannes semblent avoir été mises en place à l'envers (armatures de diamètre 12mm en partie haute de panne au lieu d'être en partie basse).*

### 6.6.3 Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°7

A l'aide des outils de relevés lasergrammétriques, les flèches des pannes ont pu être mesurées. Ci-dessous, la localisation des déformations maximales relevées pour les pannes béton de la charpente n°7.

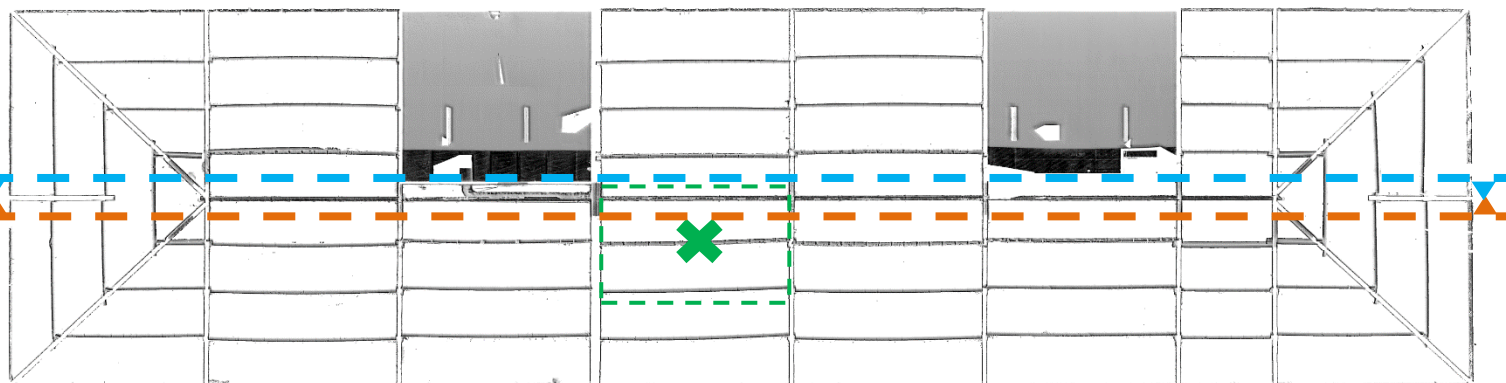
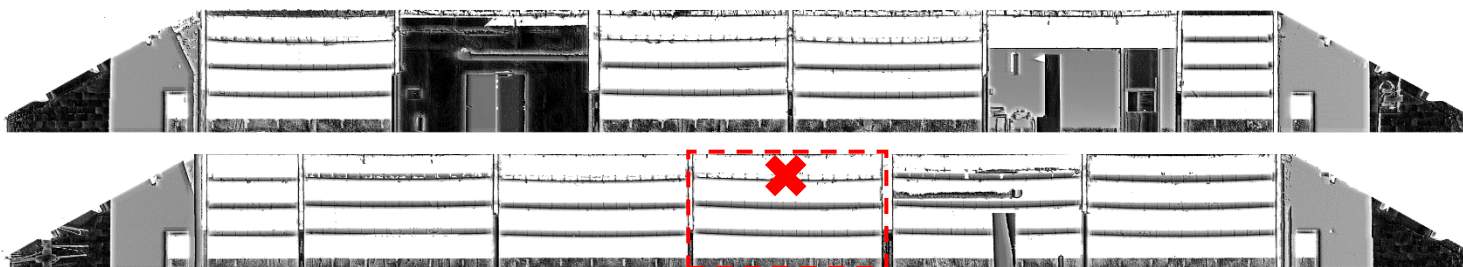


Figure 90 : Bâtiment 7 - De haut en bas : Coupe AA', Coupe BB' et plan de charpente d'après les relevés lasergrammétriques

**Légende :**

✗ : Fléchissement max relevé

✗ : \*Gauchissement max relevé

fléchissement max. (mm)	Gauchissement max. (mm)
47	41

\* Déformation dans l'axe  
faible de la panne

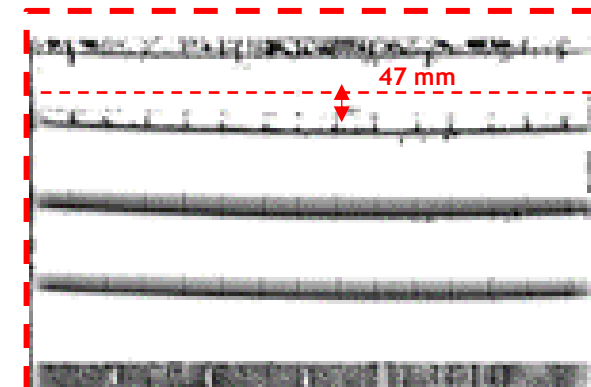


Figure 88 : Vue la panne présentant le fléchissement le plus important.

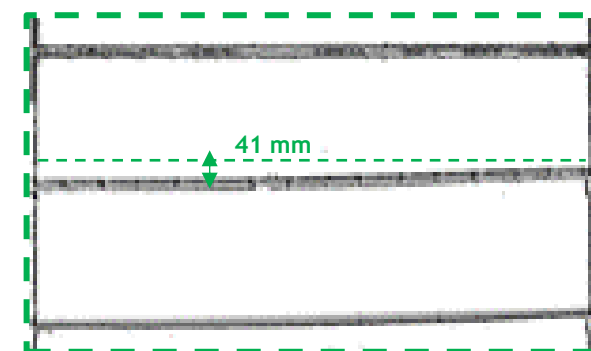


Figure 89 : Vue la panne présentant le gauchissement le plus important.

## 6.7 Charpente du bâtiment n° 13 (Pannes en Béton Armé)

### 6.7.1 Hypothèses des charges

La charpente (pannes béton avec chevrons bois) se situe dans un espace abrité, non chauffé, non isolé, la classe de service 2 est donc considérée pour les chevrons bois. Les différentes charges s'appliquant sur la charpente sont présentées sur le schéma ci-dessous :

$$G_{\text{couverture}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.29 \text{ kN/m}^2$$

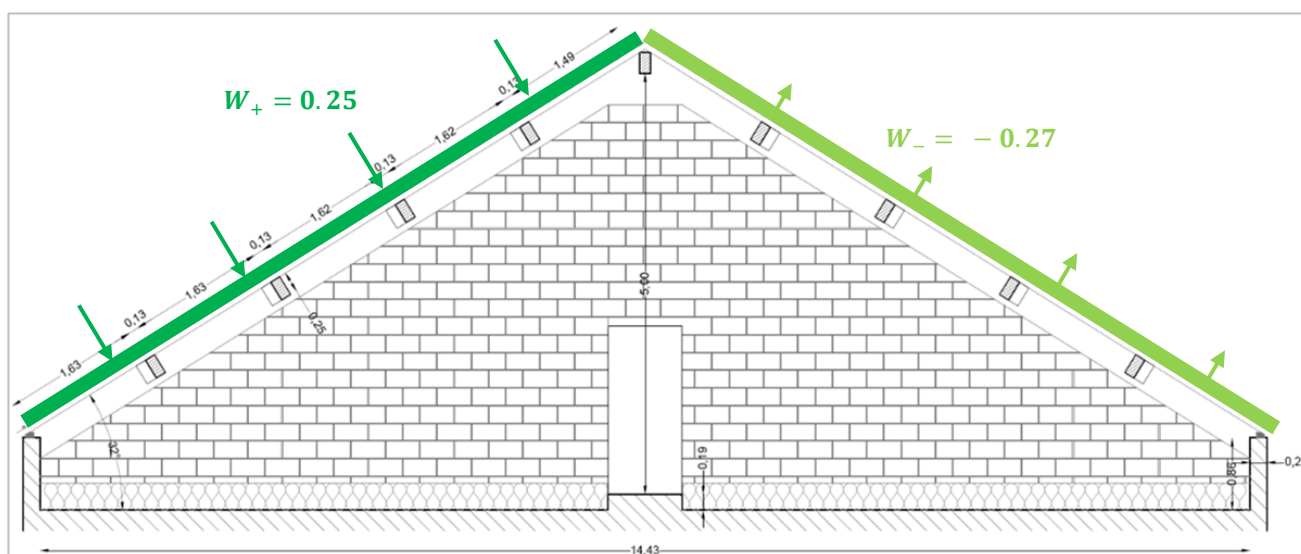


Figure 91 : Efforts du vent sur la charpente du bâti n° 13 (unités en m)

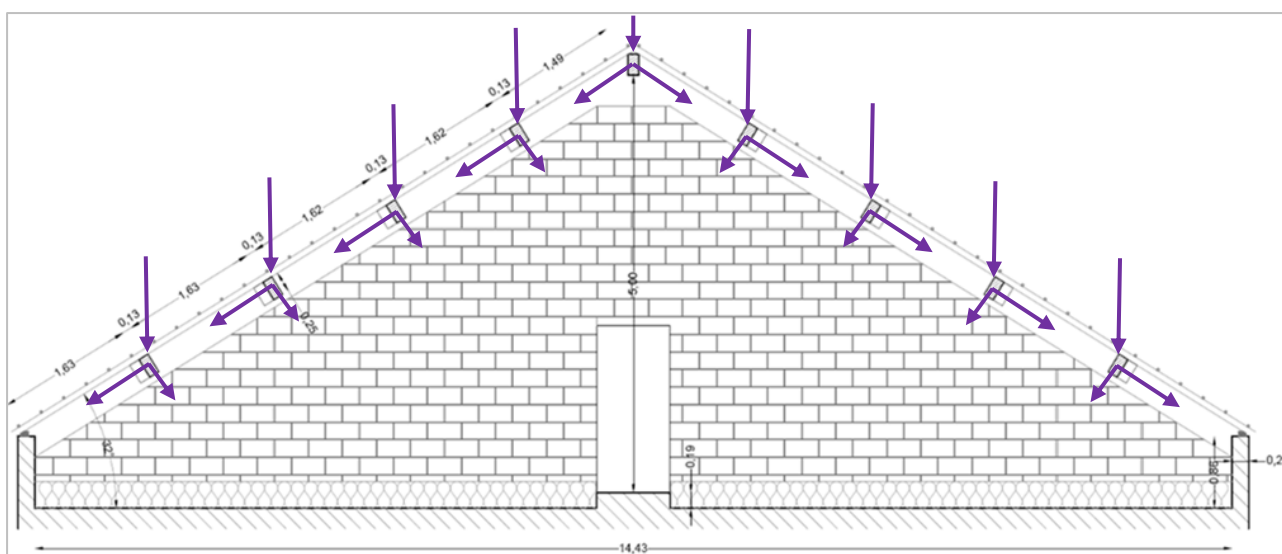


Figure 92 : Charges des pannes du bâti n° 13 (unités en m) hors charges de vent



## 6.7.2 Vérification par le calcul

Nota : Etant donnée la prévalence des contraintes de flexion vis-à-vis des contraintes de cisaillement, lors de la vérification des sections courantes (hors cas particulier d'assemblages), seule la vérification des éléments en flexion est détaillée ci-dessous.

### 6.7.2.1 Chevrans

Les chevrons reposent sur 6 appuis, et sont espacées de 36 cm à 42 cm à l'entraxe soit 39 cm en moyenne.

Les chevrons sont sollicités en flexion composée, le schéma ci-dessous présente un chevron courant avec ces dimensions mesurées sur site. En bleu est représenté la charge perpendiculaire à l'élément, en rouge la sollicitation d'effort normal et en noir les réactions d'appuis.

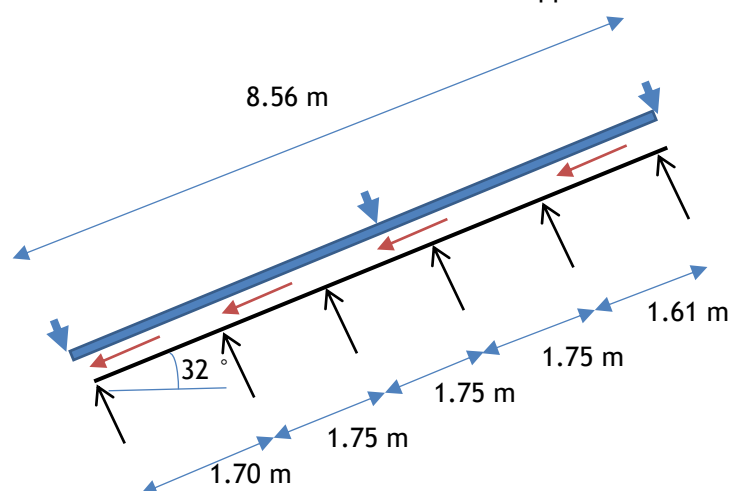


Figure 93 - Schéma d'étude mécanique des chevrons (flexion composée)

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,30	0,80	0,29	0,25	-0,27
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)	32	32	32		
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,10	0,31	0,11	0,10	-0,11
Effort Normal (kN/m)	0,06	0,17	0,06	0	0

Figure 94 - Sollicitations des chevrons

### Vérification ELU des chevrons du bâti n° 13 :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	0,91	0,00	0,03	0,6	9,5	8,3	10%
C2	1.35G + 1.5Q	4,10	0,00	0,13	0,9	14,3	12,5	29%
C3	1.35G + 1.5S	2,07	0,00	0,0675	0,9	14,3	12,5	14%
C4	1.35G + 1.5W+	1,91	0,00	0,03	1,1	17,5	15,2	11%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	2,66	0,00	0,07	1,1	17,5	15,2	15%
C6	1.35G+ 1.5W+ + 0.75S	2,48	0,00	0,05	1,1	17,5	15,2	14%
C7	G + 1.5W-	0,40	0,00	0,02	1,1	17,5	15,2	2%

Figure 95 - Taux de travail ELU des chevrons en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des chevrons sous cette sollicitation est de 29% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les chevrons ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.

Vérification ELS des chevrons du bâti n°13 :  
Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
<b>Chevrons</b>	-	$\ell/150$	$\ell/125$
<b>Éléments structuraux</b>	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.



Figure 96 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
$w_{inst\ G}$ (mm)	2,75	L/300	5,83	47%
$w_{fin}$ (mm)	3,16	L/125	14,00	23%
$w_{fin,net}$ (mm)	3,16	L/250	7,00	45%

Figure 97 - Taux de travail ELS des chevrons

Les chevrons sont vérifiés à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

### 6.7.2.2 Vérification par le calcul des pannes du bâti n° 13

Les pannes reprennent les chevrons et reposent sur des voiles parpaing. Les pannes les plus sollicitées sont les pannes intermédiaires basses. La vérification par le calcul est donc effectuée à partir des relevés et sondages effectués sur ces pannes.

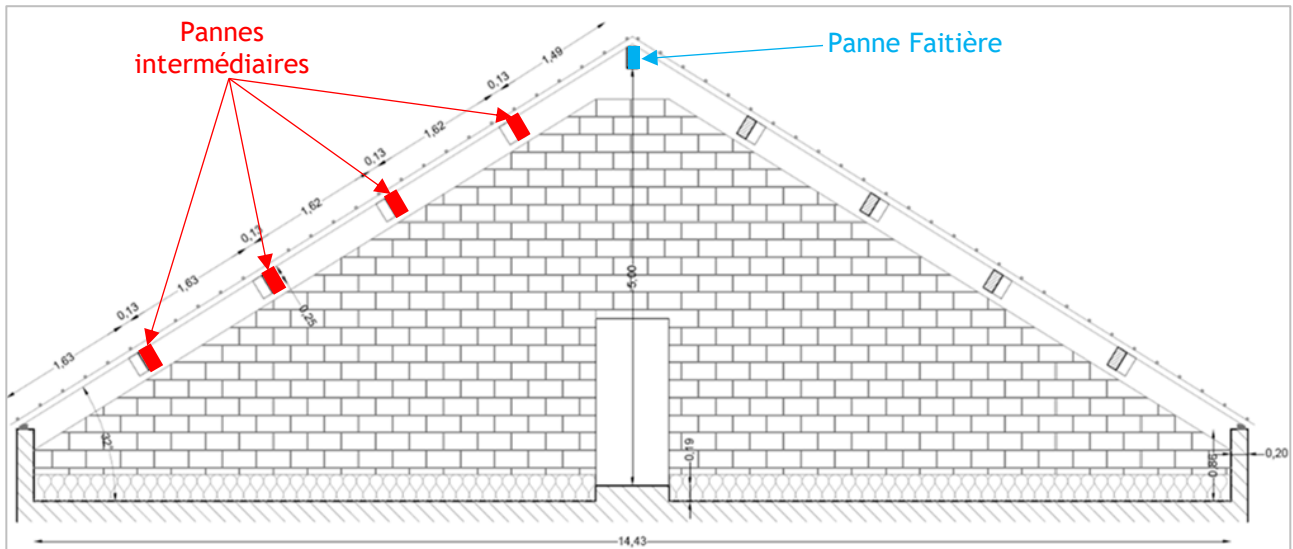


Figure 98 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes

Les portées des pannes sont nombreuses. Les calculs sont réalisés pour la portée de panne la plus fréquente relevée en toiture soit 5.85 m pour la toiture du bâtiment 13.

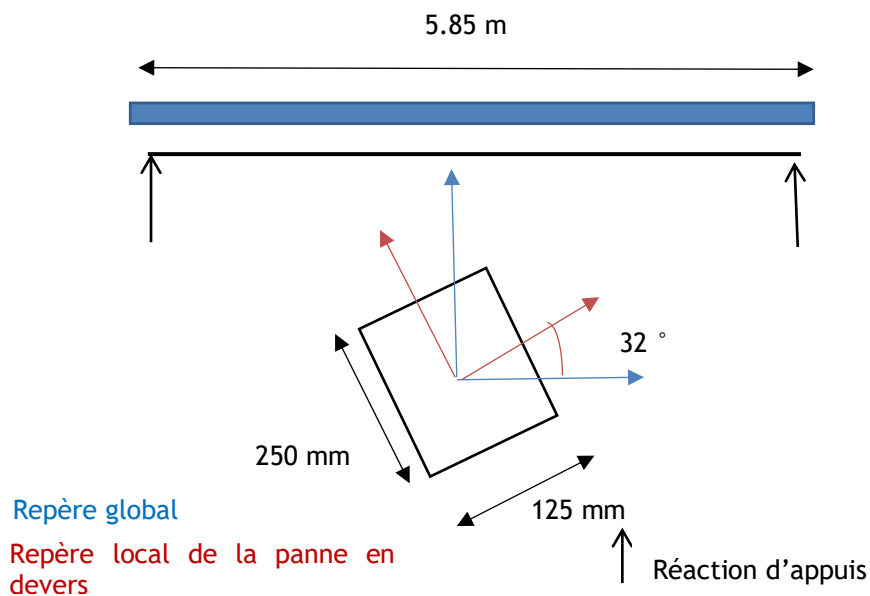


Figure 99 - Schéma d'étude mécanique de la panne courante

Le poids des chevrons est intégré dans la charge surfacique permanente :

$$PP_{\text{Chevrons}} = 0.017 \text{ kN/m}$$

$$\text{Entraxe} = 0.39 \text{ m}$$

$$G_{\text{Chevrons}} = 0.017 / 0.40 = 0.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 0.30 + 0.04 = 0.34 \text{ kN/m}^2$$

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,34	0,80	0,29	0,25	-0,27
Angle de chargement (inclinaison y-z) (°)	32	32	32	0	0
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,50	1,19	0,43	0,44	-0,47
Effort Tangentielle axe faible (kN/m)	0,32	0,74	0,27	0,00	0,00

Figure 100 - Sollicitations des pannes béton intermédiaires



### Vérification ELU des pannes bétons du bâti n° 13 :

Les pannes bétons ont été considérées comme des poutres reposant sur deux appuis sur lesquels ont été appliquées les sollicitations présentées ci-dessus prenant en compte l'angle d'inclinaison des pannes.  
Ces pannes ont été vérifiées suivant leur axe fort et leur axe faible.

### Panne béton armé - portée 5,85 m :

Element vérifié	Hauteur de retombée (poutre) cm	Largeur de poutre cm	Nombre d'aciers 1er lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 1er lit mm	Enrobage du 1er lit mm	Nombre d'aciers 2ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 2ème lit mm	Enrobage du 2ème lit mm	Nombre d'aciers 3ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 3ème lit mm	Enrobage du 3ème lit mm	Nombre d'aciers 4ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 4ème lit mm	Enrobage du 4ème lit mm	Ecartement ou largeur portée m	Portée m	Poids propre et charge permanente du à la kg/m	Autres charges permanentes kg/m	Charges d'exploitation (Q) ELU kg/m²	Conditions d'appuis	Coefficient diviseur du moment	Charge uniforme complète à l'ELU kN/m	Moment sollicitant ELU kN.m	Moment résistant kN.m	Taux de sollicitation ELU %
Panne BA - Bâti 13 - Axe Fort + Neige + 0,6 Vent	25	12,5	2	12	34	2	8	222							1,75	5,85	78	124	Toitures Nulle	Articulés	8	2,70	11,5	15,5	74,5%
Panne BA - Bâti 13 - Axe Fort Q	25	12,5	2	12	34	2	8	222							1,75	5,85	78	51	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,51	10,7	15,5	69,3%
Panne BA - Bâti 13 - Axe Faible + Neige	12,5	25	1	12	30	1	8	30	1	12	75	1	8	79	1,75	5,85	78	60	Toitures Nulle	Articulés	8	1,86	7,9	7,2	110,7%
Panne BA - Bâti 13 - Axe Faible Q	12,5	25	1	12	30	1	8	30	1	12	75	1	8	79	1,75	5,85	78	33	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,26	9,7	7,2	135,0%

La panne ne subit aucun effort de compression, elle n'est pas soumise au Flambement.

Suivant leur axe fort, le taux de travail des pannes dans le cas le plus défavorable (Charges de Neige et 60% de vent) est de **74,5 %**. Les pannes de cette portée semblent correctement dimensionnées dans cet axe.

Cependant, suivant leur axe faible, le taux de travail des pannes sous les deux sollicitations (Neige+ 60% de vent et charge d'exploitation seule) est **supérieur à 100 %**. Les pannes de cette portée sont donc sous-dimensionnées, soit plus de 50% des pannes (environ plus de 60% de la surface de couverture concernée).

### 6.7.3 Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n°13

A l'aide des outils de relevés lasergrammétriques, les flèches des pannes ont pu être mesurées. Ci-dessous, la localisation des déformations maximales relevées pour les pannes béton de la charpente n°13.

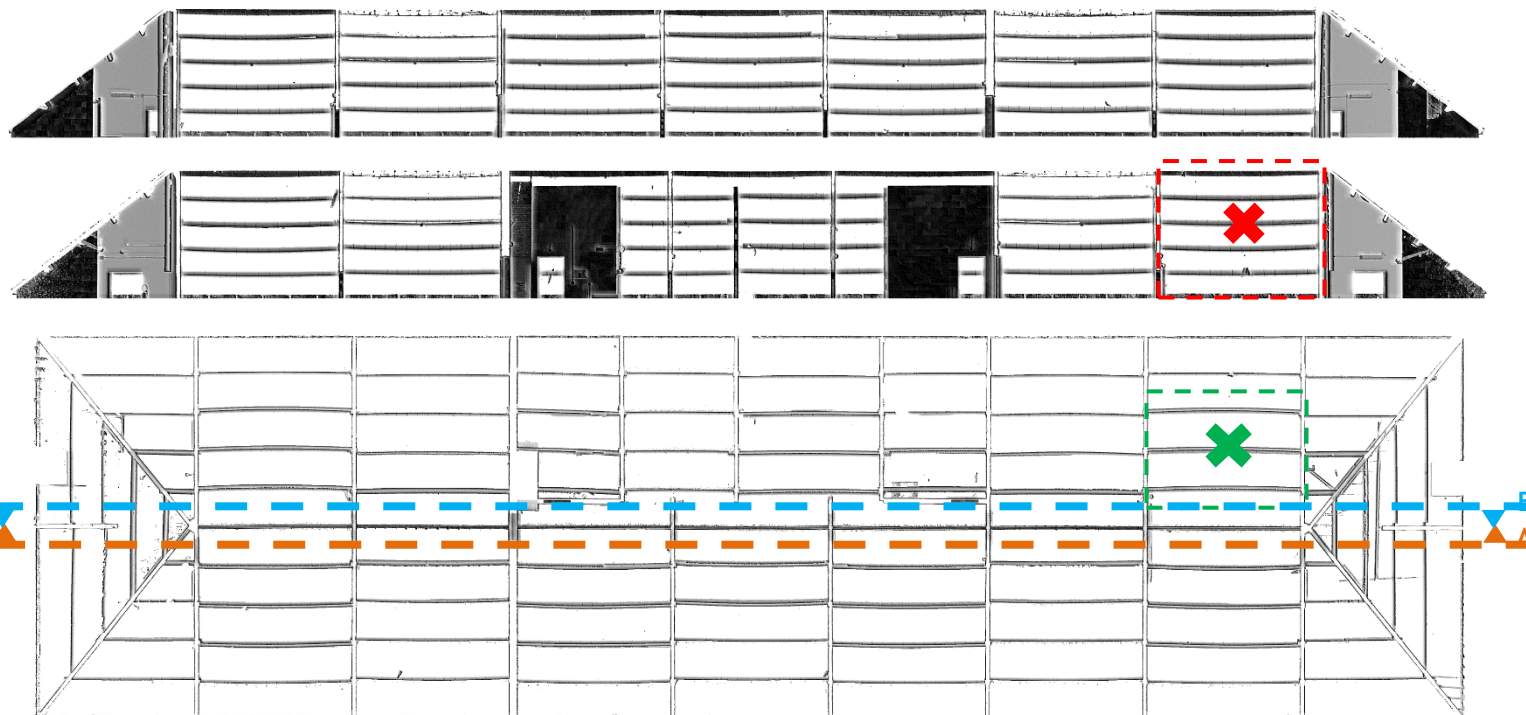


Figure 103 : Bâtiment 13 - De haut en bas : Coupe AA', Coupe BB' et plan de charpente d'après les relevés lasergrammétriques

#### Légende :

✗ : Fléchissement max relevé

✕ : Gauchissement max relevé

fléchissement max. (mm)	Gauchissement max. (mm)
51	50

\* Déformation dans l'axe  
faible de la panne

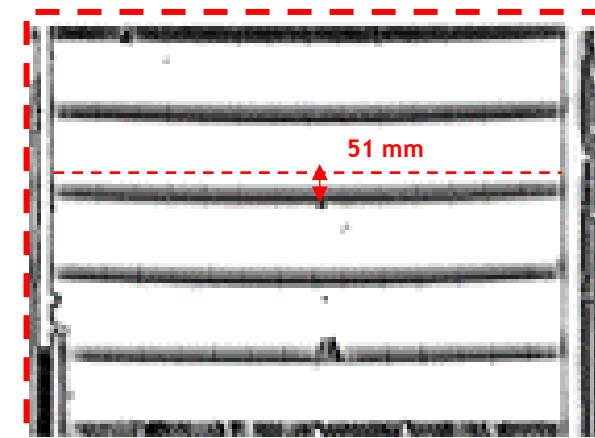


Figure 101 : Vue la panne présentant le fléchissement le plus important.

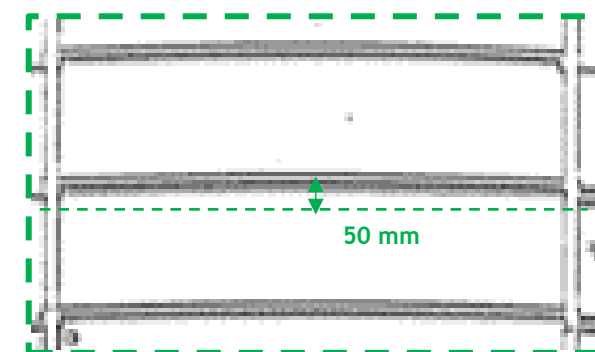


Figure 102 : Vue la panne présentant le gauchissement le plus important.

## 6.8 Charpente du bâtiment n° 14 (Pannes en Béton Armé)

### 6.8.1 Hypothèses des charges

La charpente (pannes béton avec chevrons bois) se situe dans un espace abrité, non chauffé, non isolé, la classe de service 2 est donc considérée pour les chevrons bois. Les différentes charges s'appliquant sur la charpente sont présentées sur le schéma ci-dessous :

$$G_{\text{couverture}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.29 \text{ kN/m}^2$$

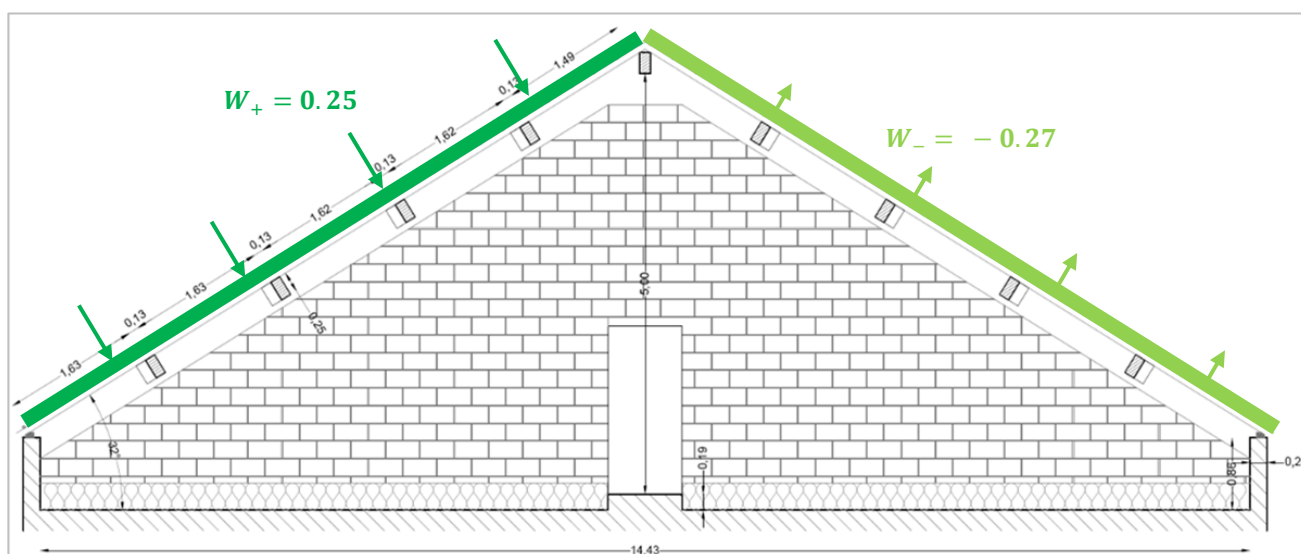


Figure 104 : Efforts du vent sur la charpente du bâti n° 14 (unités en m)

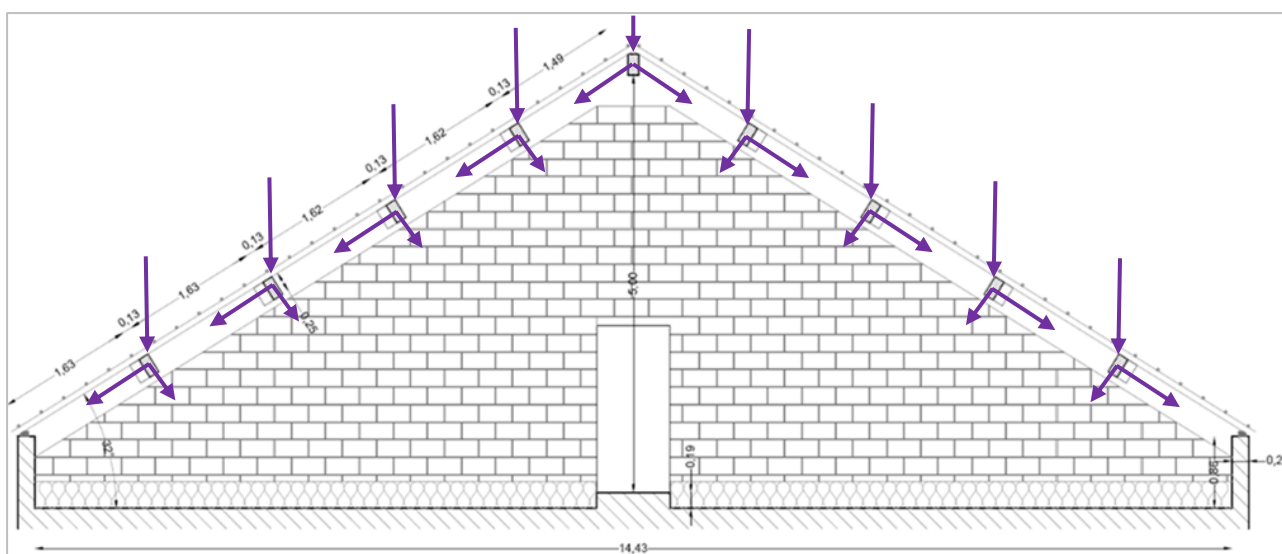


Figure 105 : Charges des pannes du bâti n° 14 (unités en m) hors charges de vent

## 6.8.2 Vérification par le calcul

Nota : Etant donnée la prévalence des contraintes de flexion vis-à-vis des contraintes de cisaillement, lors de la vérification des sections courantes (hors cas particulier d'assemblages), seule la vérification des éléments en flexion est détaillée ci-dessous.

### 6.8.2.1 Chevrans

Les chevrons reposent sur 6 appuis, et sont espacées de 36 cm à 42 cm à l'entraxe soit 39 cm en moyenne.

Les chevrons sont sollicités en flexion composée, le schéma ci-dessous présente un chevron courant avec ces dimensions mesurées sur site. En bleu est représenté la charge perpendiculaire à l'élément, en rouge la sollicitation d'effort normal et en noir les réactions d'appuis.

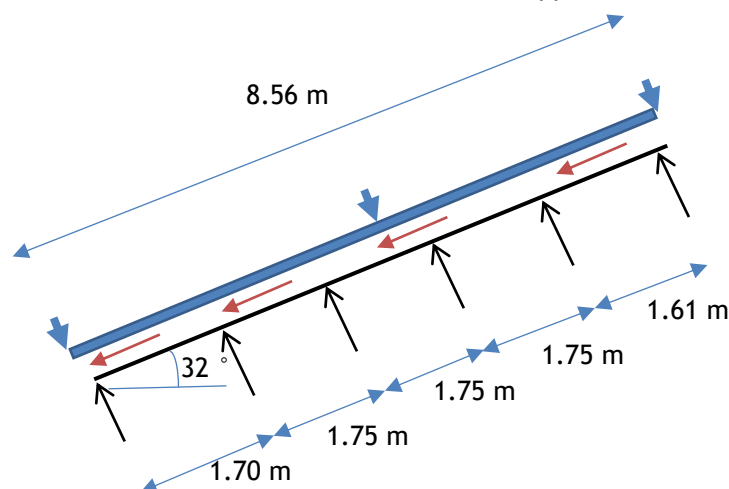


Figure 106 - Schéma d'étude mécanique des chevrons (flexion composée)

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,30	0,80	0,29	0,25	-0,27
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)	32	32	32		
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,10	0,31	0,11	0,10	-0,11
Effort Normal (kN/m)	0,06	0,17	0,06	0	0

Figure 107 - Sollicitations des chevrons

### Vérification ELU des chevrons du bâti n° 14 :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	0,99	0,00	0,04	0,6	9,5	8,3	10%
C2	1.35G + 1.5Q	4,47	0,00	0,14	0,9	14,3	12,5	31%
C3	1.35G + 1.5S	2,25	0,00	0,0736	0,9	14,3	12,5	16%
C4	1.35G + 1.5W+	2,08	0,00	0,04	1,1	17,5	15,2	12%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	2,91	0,00	0,07	1,1	17,5	15,2	17%
C6	1.35G+ 1.5W+ + 0.75S	2,71	0,00	0,05	1,1	17,5	15,2	15%
C7	G + 1.5W-	0,44	0,00	0,03	1,1	17,5	15,2	2%

Figure 108 - Taux de travail ELU des chevrons en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des chevrons sous cette sollicitation est de 31% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les chevrons ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.



Vérification ELS des chevrons du bâti n°14 :  
Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
<b>Chevrons</b>	-	$\ell/150$	$\ell/125$
<b>Éléments structuraux</b>	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.

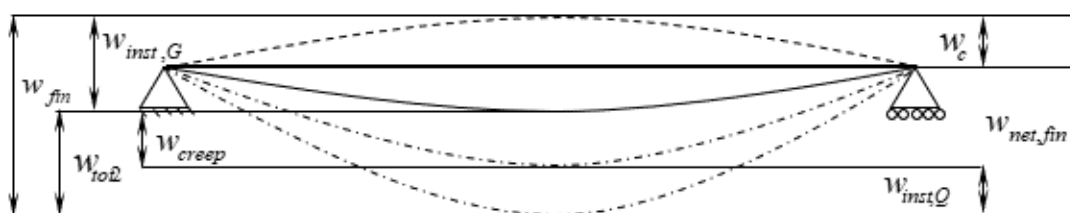


Figure 109 - Critère ELS

Winst G (mm)	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
Wfin (mm)	3,00	L/300	5,83	51%
Wfin,net (mm)	3,44	L/125	14,00	25%
Winst G (mm)	3,44	L/250	7,00	49%

Figure 110 - Taux de travail ELS des chevrons

Les chevrons sont vérifiés à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

### 6.8.2.2 Vérification par le calcul des pannes du bâti n° 14

Les pannes reprennent les chevrons et reposent sur des voiles parpaing. Les pannes les plus sollicitées sont les pannes intermédiaires basses. La vérification par le calcul est donc effectuée à partir des relevés et sondages effectués sur ces pannes.

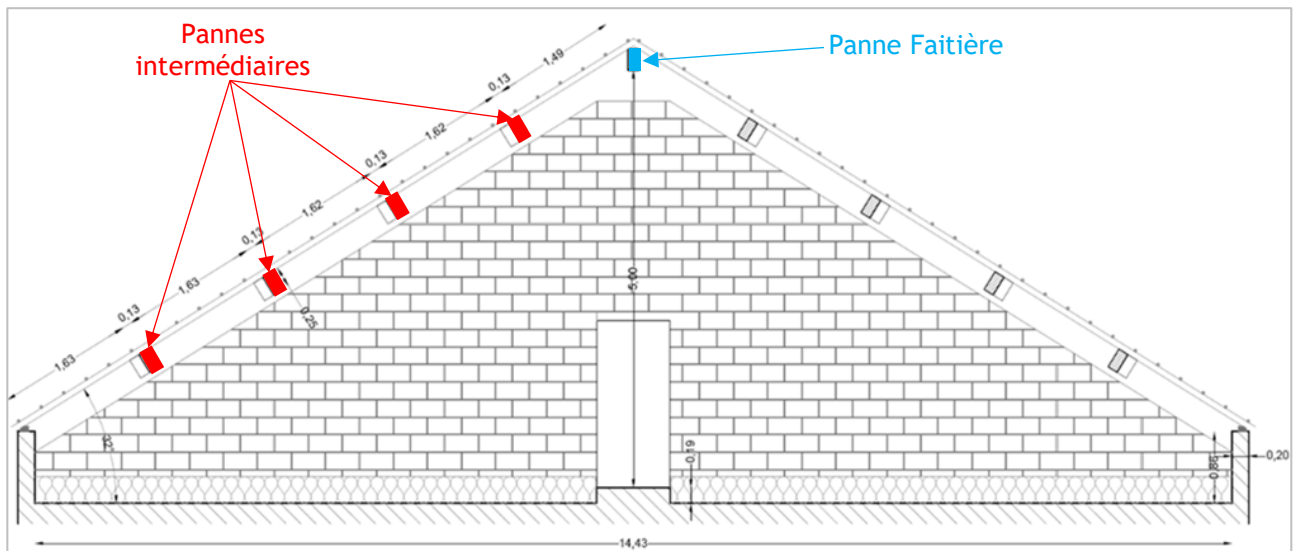


Figure 111 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes

Les portées des pannes sont nombreuses. Les calculs sont réalisés pour la portée de panne la plus fréquente relevée en toiture soit 5.85 m pour la toiture du bâtiment 14.

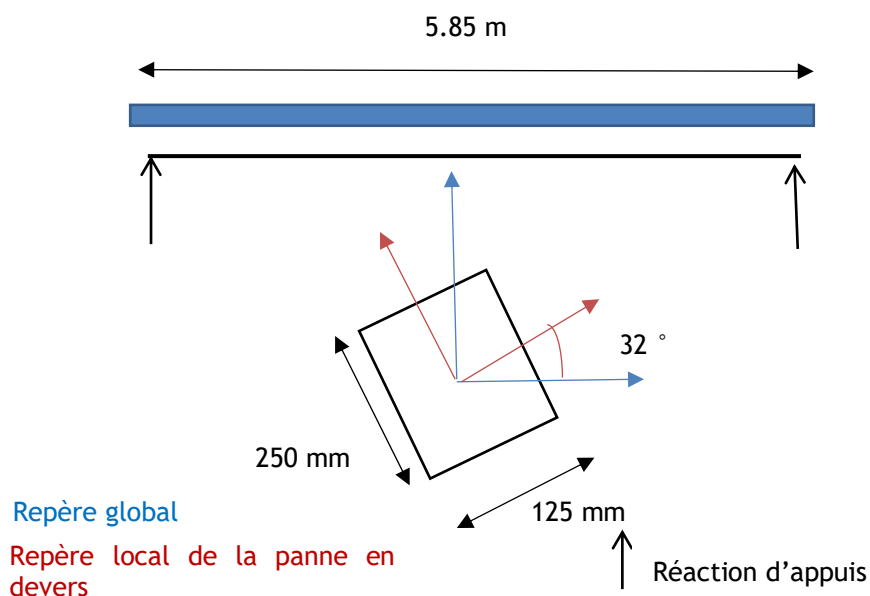


Figure 112 - Schéma d'étude mécanique de la panne courante

Le poids des chevrons est intégré dans la charge surfacique permanente :

$$PP_{Chevrons} = 0.017 \text{ kN/m}$$

$$Entraxe = 0.39 \text{ m}$$

$$G_{Chevrons} = 0.017 / 0.40 = 0.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 0.30 + 0.04 = 0.34 \text{ kN/m}^2$$

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,34	0,80	0,29	0,25	-0,27
Angle de chargement (inclinaison y-z) (°)	32	32	32	0	0
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,50	1,19	0,43	0,44	-0,47
Effort Tangentielle axe faible (kN/m)	0,32	0,74	0,27	0,00	0,00

Figure 113 - Sollicitations des pannes béton intermédiaires

### Vérification ELU des pannes bétons du bâti n° 14 :

Les pannes bétons ont été considérées comme des poutres reposant sur deux appuis sur lesquelles ont été appliquées les sollicitations présentées ci-dessus prenant en compte l'angle d'inclinaison des pannes.  
Ces pannes ont été vérifiées suivant leur axe fort et leur axe faible.

### Panne béton armé - portée 5,85 m :

Element vérifié	Hauteur de retombée (poutre) cm	Largeur de poutre cm	Nombre d'aciers 1er lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 1er lit mm	Enrobage du 1er lit mm	Nombre d'aciers 2ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 2ème lit mm	Enrobage du 2ème lit mm	Nombre d'aciers 3ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 3ème lit mm	Enrobage du 3ème lit mm	Nombre d'aciers 4ème lit nbr ou nbr/ml	Diamètre du 4ème lit mm	Enrobage du 4ème lit mm	Ecartement ou largeur portée m	Portée m	Poids propre et charge permanente du à la kg/m	Autres charges permanentes kg/m	Charges d'exploitation (Q) ELU kg/m2	Conditions d'appuis	Coefficient diviseur du moment	Charge uniforme complète à l'ELU kN/m	Moment sollicitant ELU kN.m	Moment résistant kN.m	Taux de sollicitation ELU %
Panne BA - Bâti 14 - Axe Fort + Neige + 0,6 Vent	25	12,5	2	12	50	2	8	226							1,75	5,85	78	124	Toitures Nulle	Articulés	8	2,70	11,5	14,1	82,1%
Panne BA - Bâti 14 - Axe Fort Q	25	12,5	2	12	50	2	8	226							1,75	5,85	78	51	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,51	10,7	14,1	76,3%
Panne BA - Bâti 14 - Axe Faible + Neige	12,5	25	1	12	48	1	8	38	1	12	91	1	8	87	1,75	5,85	78	60	Toitures Nulle	Articulés	8	1,86	7,9	5,5	144,0%
Panne BA - Bâti 14 - Axe Faible Q	12,5	25	1	12	48	1	8	38	1	12	91	1	8	87	1,75	5,85	78	33	Toitures 31 kg/m²	Articulés	8	2,26	9,7	5,5	175,6%

La panne ne subit aucun effort de compression, elle n'est pas soumise au Flambement.

Suivant leur axe fort, le taux de travail des pannes dans le cas le plus défavorable (Charges de Neige et 60% de vent) est de **82,1 %**. Les pannes de cette portée semblent correctement dimensionnées dans cet axe.

Cependant, suivant leur axe faible, le taux de travail des pannes sous les deux sollicitations (Neige+ 60% de vent et charge d'exploitation seule) est **supérieur à 100 %**. Les pannes de cette portée sont donc sous-dimensionnées, soit plus de 50% des pannes (environ plus de 60% de la surface de couverture concernée).

### 6.8.3 Mesure de la flèche des pannes béton du bâti n° 14

A l'aide des outils de relevés lasergrammétriques, les flèches des pannes ont pu être mesurées. Ci-dessous, la localisation des déformations maximales relevées pour les pannes béton de la charpente n° 14.

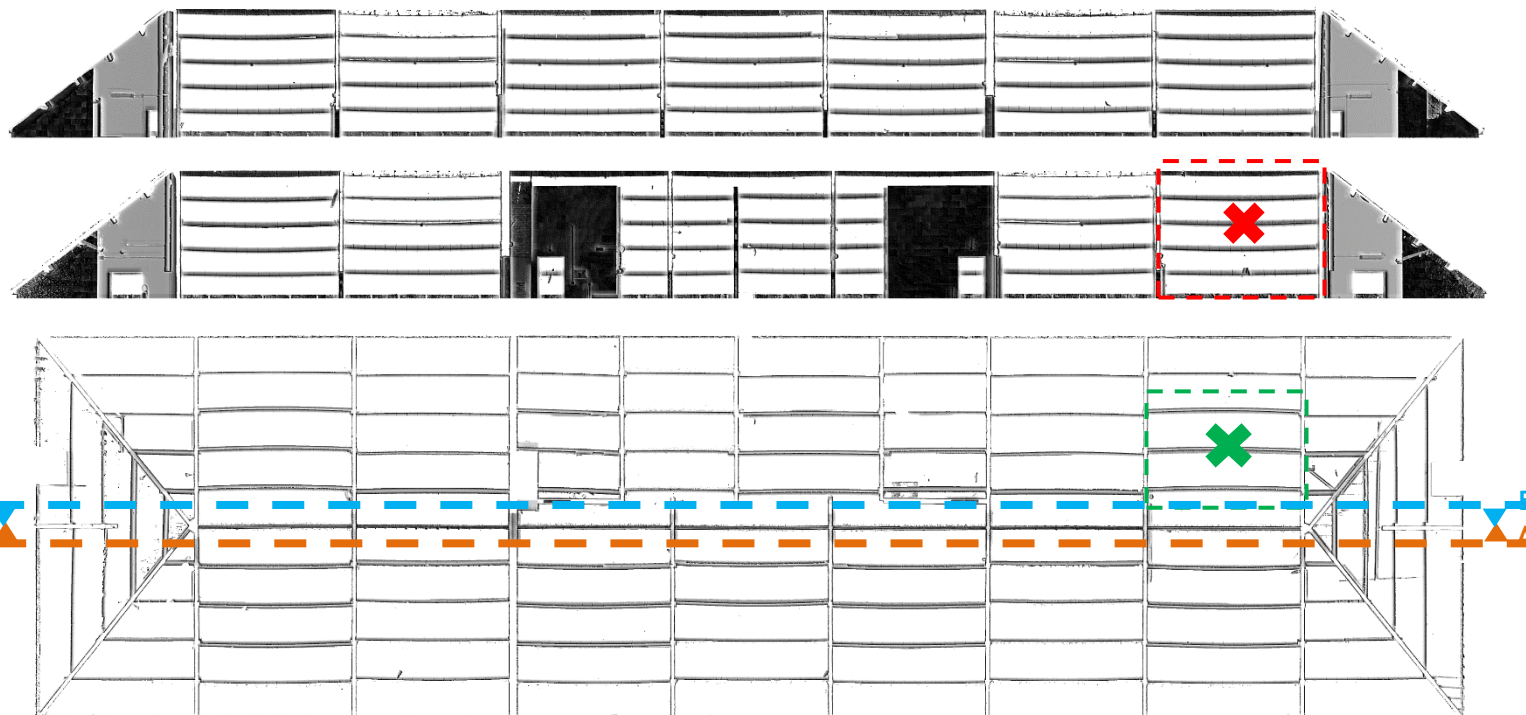


Figure 92 : Bâtiment 116 - De haut en bas : Coupe AA', Coupe BB' et plan de charpente d'après les relevés lasergrammétriques

#### Légende :

✗ : Fléchissement max relevé

✕ : Gauchissement max relevé

fléchissement max. (mm)	Gauchissement max. (mm)
51	50

\* Déformation dans l'axe  
faible de la panne

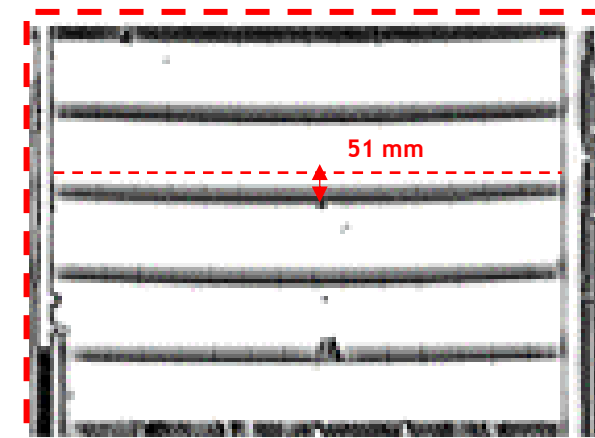


Figure 114 : Vue la panne présentant le fléchissement le plus important.

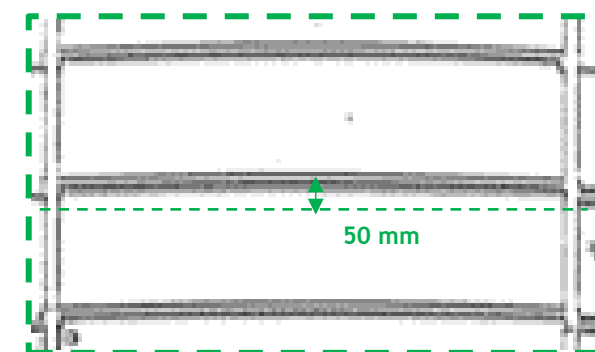


Figure 115 : Vue la panne présentant le gauchissement le plus important.



## 6.9 Charpente du bâtiment n° 58 (Pannes en Bois)

### 6.9.1 Hypothèses des charges

La charpente (pannes bois avec chevrons bois) se situe dans un espace abrité, non chauffé, isolé, la classe de service 2 est donc considérée pour les chevrons et pannes bois. Les différentes charges s'appliquant sur la charpente sont présentées sur le schéma ci-dessous :

$$G_{\text{couverture}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.29 \text{ kN/m}^2$$

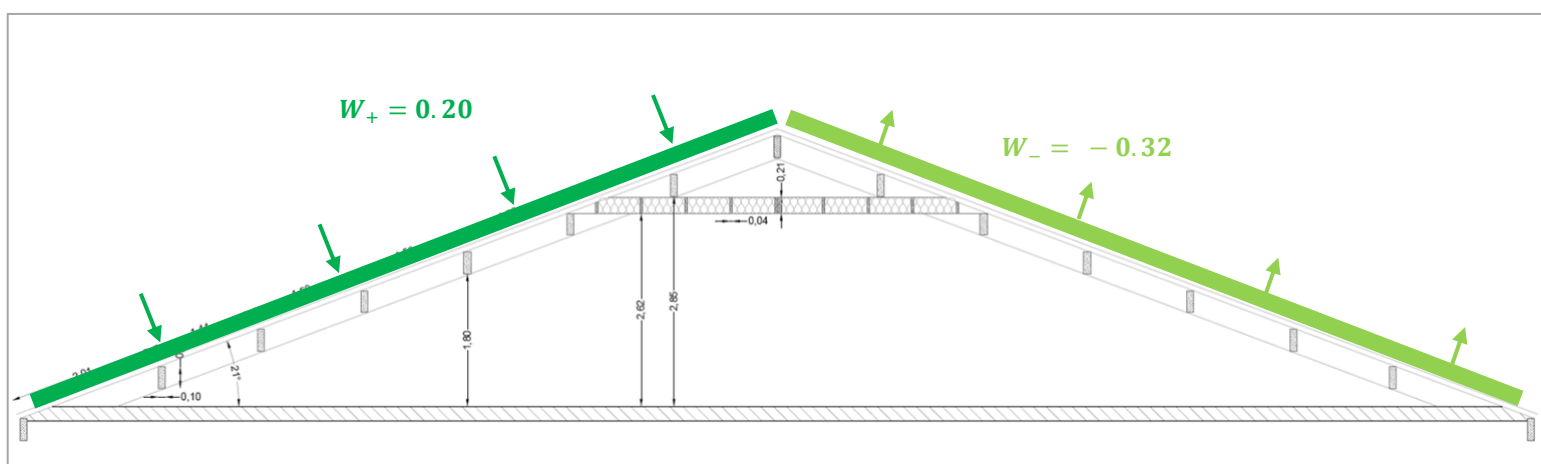


Figure 117 : Efforts du vent sur la charpente du bâti n°58 (unités en m)

### 6.9.2 Vérification par le calcul

Nota : Etant donnée la prévalence des contraintes de flexion vis-à-vis des contraintes de cisaillement, lors de la vérification des sections courantes (hors cas particulier d'assemblages), seule la vérification des éléments en flexion est détaillée ci-dessous.

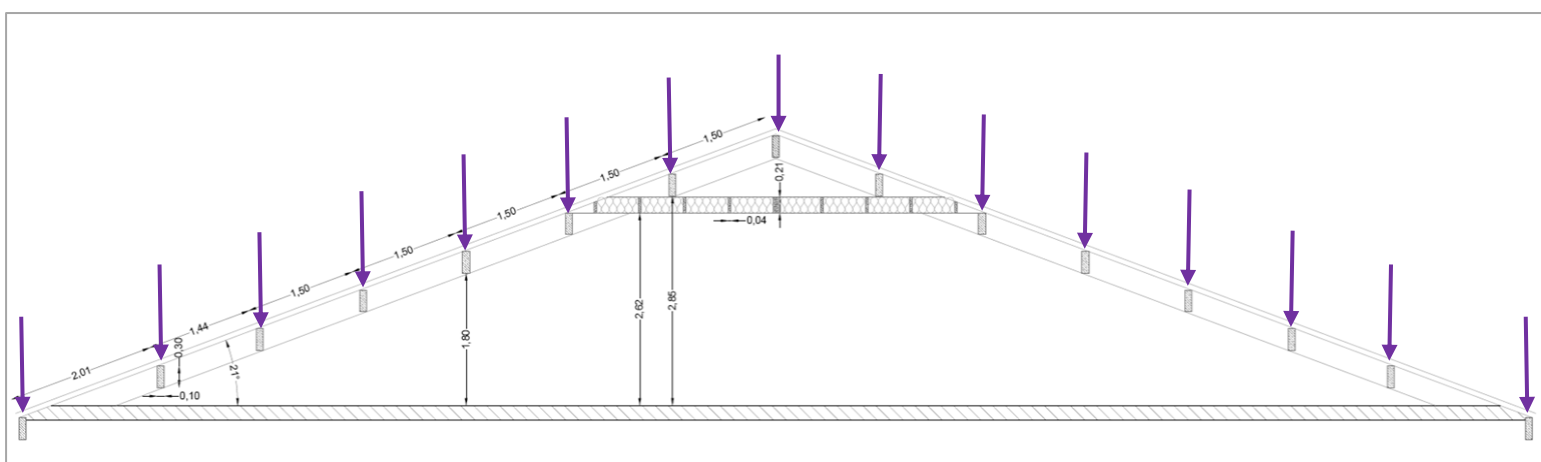


Figure 118 : Charges des pannes du bâti n°58 (unités en m) hors charges de vent

### 6.9.2.1 Chevrans

Les chevrons reposent sur 8 appuis, et sont espacées de 60 cm à l'entraxe en moyenne.

Les chevrons sont sollicités en flexion composée, le schéma ci-dessous présente un chevron courant avec ces dimensions mesurées sur site. En bleu est représenté la charge perpendiculaire à l'élément, en rouge la sollicitation d'effort normal et en noir les réactions d'appuis.

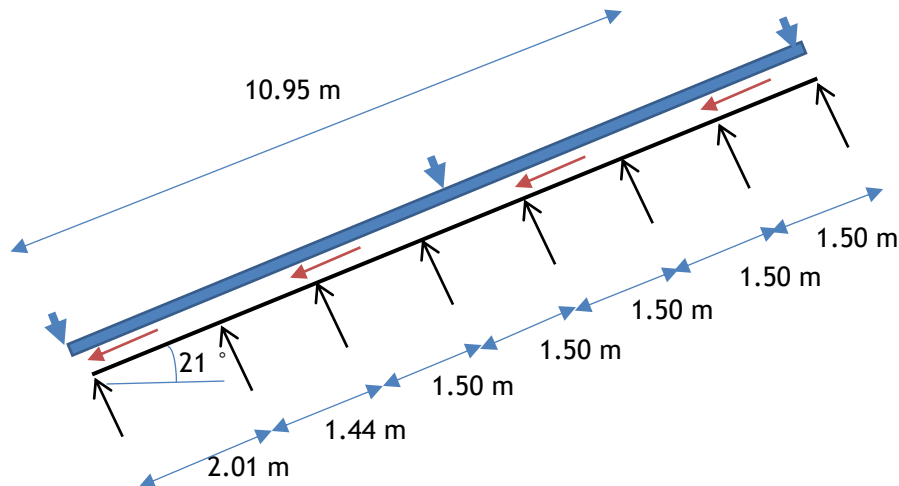


Figure 119 - Schéma d'étude mécanique des chevrons (flexion composée)

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,30	0,80	0,29	0,20	-0,32
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)	21	21	21		
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,17	0,48	0,17	0,12	-0,19
Effort Normal (kN/m)	0,06	0,17	0,06	0,00	0,00

Figure 120 - Sollicitations des chevrons

Vérification ELU des chevrons du bâti n° 58 :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	1,31	0,00	0,03	0,6	9,7	8,3	14%
C2	1.35G + 1.5Q	5,44	0,00	0,12	0,9	14,5	12,5	37%
C3	1.35G + 1.5S	2,80	0,00	0,0630	0,9	14,5	12,5	19%
C4	1.35G + 1.5W+	2,34	0,00	0,03	1,1	17,7	15,2	13%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	3,42	0,00	0,06	1,1	17,7	15,2	19%
C6	1.35G+ 1.5W+ + 0.75S	3,09	0,00	0,05	1,1	17,7	15,2	17%
C7	G + 1.5W-	0,69	0,00	0,02	1,1	17,7	15,2	4%

Figure 121 - Taux de travail ELU des chevrons en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des chevrons sous cette sollicitation est de 37% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les chevrons ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.

Vérification ELS des chevrons du bâti n° 58 :  
Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
<b>Chevrons</b>	-	$\ell/150$	$\ell/125$
<b>Éléments structuraux</b>	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.

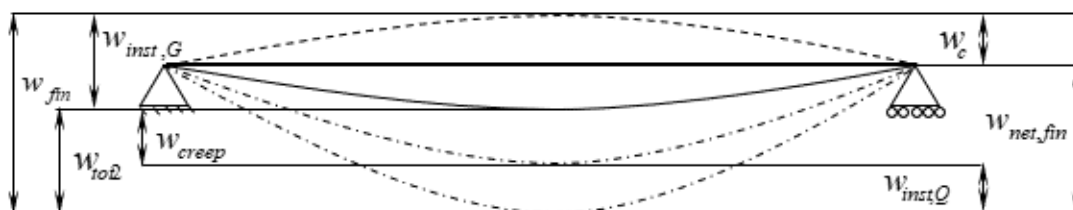


Figure 122 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
$w_{inst\ G}$ (mm)	2,73	L/300	5,00	55%
$w_{fin}$ (mm)	3,35	L/125	12,00	28%
$w_{fin,net}$ (mm)	3,35	L/250	6,00	56%

Figure 123 - Taux de travail ELS des chevrons

Les chevrons sont vérifiés à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

### 6.9.2.2 Vérification par le calcul des pannes du bâti n° 58

Les pannes reprennent les chevrons et reposent sur des voiles parpaing. Les pannes les plus sollicitées sont les pannes intermédiaires basses. La vérification par le calcul est donc effectuée à partir des relevés et sondages effectués sur ces pannes.

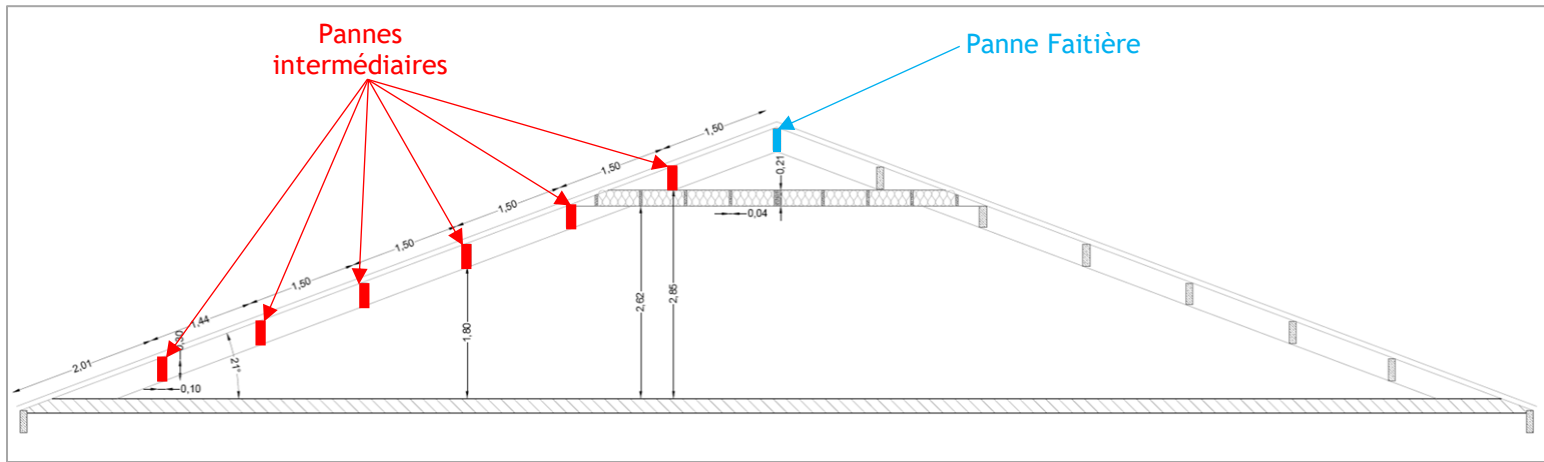


Figure 124 : Géométrie de la toiture - Repérage des pannes

Les portées des pannes sont nombreuses. Les calculs sont réalisés pour les deux portées de pannes les plus importantes et fréquentes relevées en toiture soit :

- 4,95 m (portée la plus fréquente) ;
- 6,77 m (portée la plus importante).

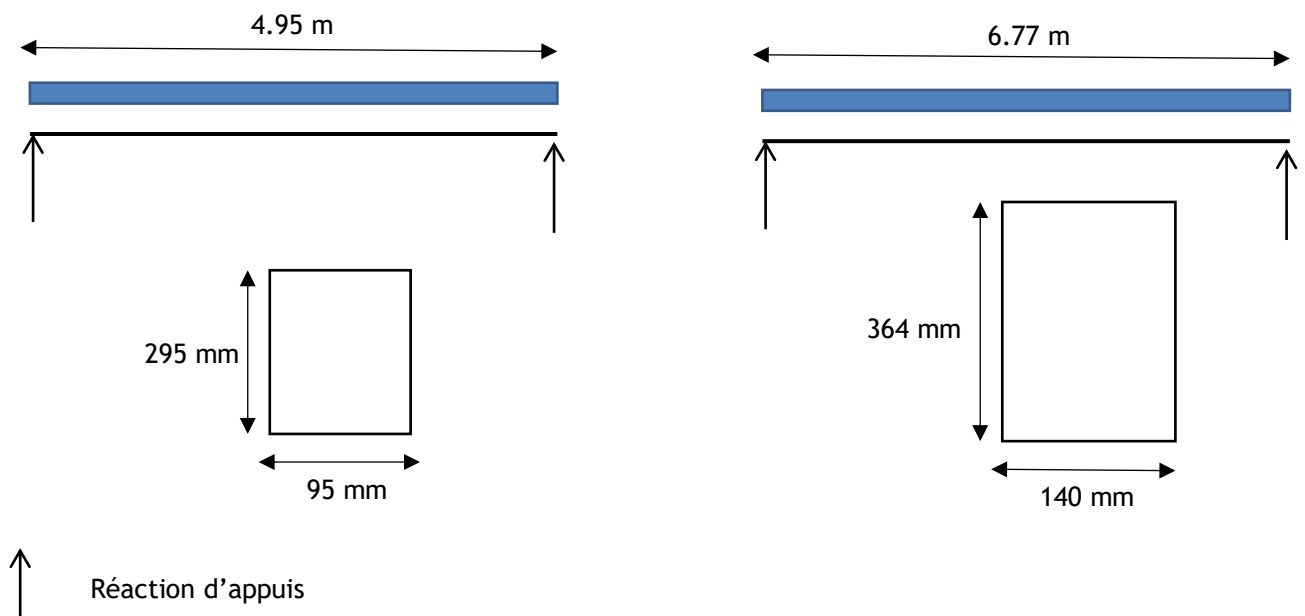


Figure 125 - Schéma d'étude mécanique des pannes courantes



Le poids des chevrons est intégré dans la charge surfacique permanente :

$$PP_{\text{chevrons}} = 0.016 \text{ kN/m}$$

$$Entraxe = 0.60 \text{ m}$$

$$G_{\text{chevrons}} = 0.016 / 0.60 = 0.03 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 0.30 + 0.03 = 0.33 \text{ kN/m}^2$$

	G	Q	S	W+	W-
Charge surfacique (kN/m <sup>2</sup> )	0,33	0,80	0,29	0,20	-0,32
Angle de chargement (inclinaison x-z) (°)				21	21
Effort Tangentiel Axe fort (kN/m)	0,50	1,20	0,43	0,28	-0,45
Effort Tangentielle axe faible (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,11	-0,17

Figure 126 - Sollicitations des pannes intermédiaires

Vérification ELU des pannes de portée 4,95 m du bâti n° 58 :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	1,49	0,00	0,00	0,6	8,3	8,3	18%
C2	1.35G + 1.5Q	5,49	0,00	0,00	0,9	12,5	12,5	44%
C3	1.35G + 1.5S	2,93	0,00	0,0000	0,9	12,5	12,5	23%
C4	1.35G + 1.5W+	2,42	0,36	0,00	1,1	15,2	15,2	18%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	3,49	0,22	0,00	1,1	15,2	15,2	24%
C6	1.35G + 1.5W+ + 0.75S	3,14	0,36	0,00	1,1	15,2	15,2	22%
C7	G + 1.5W-	0,39	-0,57	0,00	1,1	15,2	15,2	0%

Figure 127 - Taux de travail ELU des pannes bois de 4,95 m de portée en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des pannes sous cette sollicitation est de 44% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les pannes de portée 4,95 M ne sont pas soumises au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y pas de risque de flambement.

Vérification ELS des pannes de portée 4,95 m du bâti n° 58 :

Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
Chevrans	-	$\ell/150$	$\ell/125$
Éléments structuraux	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.



Figure 128 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
Uinst G (mm)	6,77	L/300	16,50	41%
Ufin (mm)	8,94	L/125	39,60	23%
Ufin,net (mm)	8,94	L/250	19,80	45%

Figure 129 - Taux de travail ELS des pannes bois de 4,95 m de portée

Les pannes de portée 4,95 m sont vérifiées à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

Vérification ELU des pannes de portée 6,77 m du bâti n° 58 :

En flexion et compression axiale, les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\bullet \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{m,y,d}$  et  $\sigma_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux.
- $f_{m,y,d}$  et  $f_{m,z,d}$  sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion.
- $\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil.
- $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul correspondante à la résistance en compression parallèle au fil.

NOTE : Le facteur  $k_m$  traduit la possibilité de redistribution des contraintes ainsi que l'effet des inhomogénéités du matériau dans une section.

Il convient de prendre pour le facteur  $k_m$  la valeur suivante :

Pour le bois massif, le bois lamellé collé et le LVL :

- Pour les sections rectangulaires :  $k_m = 0,7$
- Pour les autres sections :  $k_m = 1,0$

Pour les autres produits structuraux à base de bois :

- Pour toutes les sections :  $k_m = 1,0$

		$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	$\sigma_{c,0,d}$ (Mpa)	Kmod	Fmd	$f_{c,0,d}$	Vérification
C1	1.35G	1,24	0,00	0,00	0,6	8,3	8,3	15%
C2	1.35G + 1.5Q	4,57	0,00	0,00	0,9	12,5	12,5	37%
C3	1.35G + 1.5S	2,44	0,00	0,0000	0,9	12,5	12,5	20%
C4	1.35G + 1.5W+	2,02	0,30	0,00	1,1	15,2	15,2	15%
C5	1.35G + 1.5S + 0.9 W+	2,91	0,18	0,00	1,1	15,2	15,2	20%
C6	1.35G+ 1.5W+ + 0.75S	2,62	0,30	0,00	1,1	15,2	15,2	19%
C7	G + 1.5W-	0,33	-0,48	0,00	1,1	15,2	15,2	0%

Figure 130 - Taux de travail ELU des pannes bois de 6,77m de portée en flexion composée

La combinaison C2 est dimensionnante à l'ELU, le taux de travail des pannes sous cette sollicitation est de 37% < 100% , l'élément est correctement dimensionné.

Les pannes de portée 6,77 m ne sont pas soumis au déversement ( $K_{crit} = 1$ ).

Etant donné les faibles contraintes normales, il n'y a pas de risque de flambement.

Vérification ELS des pannes de portée 6,77 m du bâti n° 58 :  
Les critères de flèches ELS sont donnés ci-après.

	Bâtiments courants		
	Valeurs limites	Valeurs limites	Valeurs limites
	$w_{inst}(Q)$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
Chevrans		$\ell/150$	$\ell/125$
Éléments structuraux	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/125$

L'Annexe Nationale précise que pour les panneaux de planchers ou supports de toiture,  $w_{net,fin}$  sera inférieure à  $\ell/250$

- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.



Figure 131 - Critère ELS

	Flèche	Critère	Valeur limite	Taux de travail
Uinst G (mm)	8,56	L/300	22,57	38%
Ufin (mm)	11,29	L/125	54,16	21%
Ufin,net (mm)	11,29	L/250	27,08	42%

Figure 132 - Taux de travail ELS des pannes bois de 6,77 m de portée

Les pannes de portée 6,77 m sont vérifiées à l'ELS sous la combinaison la plus défavorable (C10).

### 6.9.3 Mesure de la flèche des pannes bois du bâti n°58

A l'aide des outils de relevés lasergrammétriques, les flèches des pannes ont pu être mesurées. Ci-dessous, la localisation des déformations maximales relevées pour les pannes bois de la charpente n°58. Dans le cas présent, les pannes ne présentent pas de déformations importantes (<10mm).

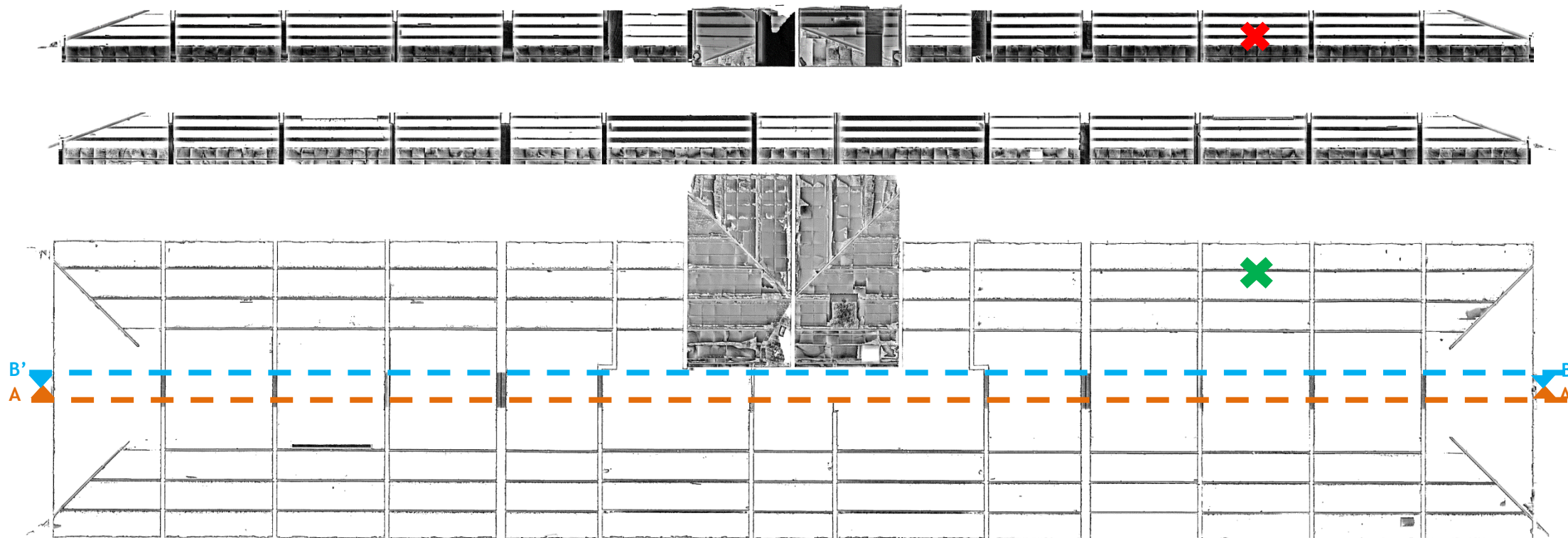


Figure 133 : Bâtiment 58 - De haut en bas : Coupe AA', Coupe BB' et plan de charpente d'après les relevés lasergrammétriques

#### Légende :

✗ : Fléchissement max relevé

✚ : \*Gauchissement max relevé

fléchissement max. (mm)	Gauchissement max. (mm)
6	8

\* Déformation dans l'axe  
faible de la panne



## 7. CONCLUSION

---

L'ensemble des investigations et inspections effectuées dans les charpentes des bâtiments n° 3, 6, 7, 13, 14 et 58 ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

### Bâti 58 - Pannes en bois et chevrons en bois

- La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 21° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 38,4 % ;
- La charpente est constituée d'une structure bois reposant sur des voiles maçonnés en parpaing ;
- Une trame de charpente se compose de :
  - Chevrons bois espacés de 0,60 m (entraxe) en moyenne ;
  - Une panne faîtière ;
  - Six pannes intermédiaires en bois ;
  - Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 20 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné.
- Il a été relevé deux sections de pannes différentes couvrant des portées différentes :
  - 29,5 cm x 9,5 cm (h. x ep.) pour 4.95 m de portée (portée la plus fréquente) ;
  - 36,4 cm x 14 cm (h. x ep.) pour 6,77 m (portée la plus importante).
- Des désordres d'humidité (traces de coulures sur isolants et bois) ont été observés au droit des fenêtres de toits. Ces désordres paraissent anciens mais ils méritent une vérification lors d'importantes précipitations ;
- Il a été observé sur une panne une zone noircie potentiellement due à un possible défaut d'étanchéité ou humidité causée par la possible formation de condensation en sous-face des tuiles ;
- Les chevrons et les pannes bois ont été vérifiées à l'ELU et à l'ELS et semblent correctement dimensionnées en accord avec les déformations mesurées sur les éléments bois à partir des relevés laser 3D (<10mm).

### Bâti 3 - Pannes métalliques - Ferme Industrielle - chevrons en bois

- La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 29° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 55 % ;
- La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34,5 cm en moyenne à l'entraxe) qui semblent recouverts de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule ;
- La charpente est constituée d'une structure métallique ;
- Une trame de charpente se compose de :
  - Chevrons bois espacés de 0.37 m (entraxe) en moyenne ;
  - Une panne faîtière ;
  - Trois pannes intermédiaires ;
  - Une ferme métallique (ou poutre-treillis) avec :
    - Deux Arbalétriers
    - Huit Diagonales
    - Six Montants
    - Un poinçon
    - Un entrain retroussé
- Les pannes métalliques relevées semblent être des IPE AA 120.

- Plusieurs désordres ont été relevés :
  - L'ensemble de la couverture semble vieillissant (sous-face blanchie des tuiles devenues poreuses, présence de mousses en extérieur au niveau des noues et faitages notamment) ;
  - Corrosion superficielle généralisée d'indice i1 sur l'ensemble des structures métalliques de la charpente potentiellement causée par l'humidité de l'air ambiant des combles non-isolés ;
  - Une trame de chevrons (peints en rouges au droit de la sortie d'aération) présente des espacements plus importants que les autres ;
  - La présence de potentiels nuisibles (nids, pied de chevron partiellement dégradé) a pu être observée ;
  - Une rangée de tuiles en partie basse de la croupe Sud n'est plus fixée sur les liteaux bois et présente un risque de chute. Elles ont potentiellement été soulevées par le vent dont la puissance a pu être amplifiées par la topographie du terrain (situation en bordure de plateau, dénivelé de 18m).
- Les pannes métalliques et les chevrons bois ont été vérifiés à l'ELU et à l'ELS et semblent correctement dimensionnées ;

#### Bâti 6 - Pannes en béton armé et chevrons en bois

- La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 30° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 58 %.
- La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :
  - Chevrons bois espacés de 0.40 m (entraxe) en moyenne ;
  - Une panne faîtière en béton armé ;
  - Trois pannes intermédiaires en béton armé.
- La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) qui semblent recouverts de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule ;
- Plusieurs désordres ont été relevés :
  - L'ensemble de la couverture semble vieillissant (sous-face blanchie des tuiles devenues poreuses, présence de mousses en extérieur au niveau des noues et faitages notamment) et plusieurs tuiles cassées ont été observées ;
  - De multiples fissures d'ouverture 0,1mm ont pu être observées en sous-face des pannes bétons en travée courante (portée 5,87m) potentiellement dues aux déformations de ces pannes ;
  - Des fissures horizontales et diagonales traversantes ont été observées sur plusieurs voiles parpaings sur lesquels reposent les pannes. Ces fissures sont notamment situées aux extrémités de ces voiles et sont potentiellement dues à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait ;
  - Des épaufrures sur les pannes bétons ont été observées en plusieurs endroits et sont probablement dues au frottement des fixations métalliques des chevrons sur les pannes bétons potentiellement causé par les mouvements de la couverture ;
- Les chevrons bois ont été vérifiés à l'ELU et à l'ELS et semblent correctement dimensionnées ;
- La vérification des pannes en béton armé indique un sous-dimensionnement de celles-ci (taux de sollicitation supérieur à 100% à l'ELU suivant l'axe faible dans le cas le plus défavorable en charge d'exploitation seule). De plus, la mesure des flèches indique des déformations importantes dans l'axe fort (fléchissement max relevé de 45 mm) et l'axe faible (gauchissement max relevé de 27 mm) ;

**Bâti 7 - Pannes en béton armé et chevrons en bois**

- La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 30° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 58 %.
- La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :
  - Chevrons bois espacés de 0.40 m (entraxe) en moyenne ;
  - Une panne faîtière en béton armé ;
  - Trois pannes intermédiaires en béton armé ;
  - Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 15 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné ;
- La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) qui semblent recouverts de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule ;
- Plusieurs désordres ont été relevés :
  - L'ensemble de la couverture semble vieillissant (sous-face blanchie des tuiles devenues poreuses, présence de mousses en extérieur au niveau des noues et faitages notamment) et plusieurs tuiles cassées ont été observées ;
  - De multiples fissures s'ouverture 0,1mm ont pu être observées en sous-face des pannes bétons en travée courante (portée 5,87m) potentiellement dues aux déformations de ces pannes ;
  - Des fissures horizontales et diagonales traversantes ont été observées sur plusieurs voiles parpaings sur lesquels reposent les pannes. Ces fissures sont notamment situées aux extrémités de ces voiles et sont potentiellement dues à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait ;
  - Des épaufrures sur les pannes bétons ont été observées en plusieurs endroits et sont probablement dues au frottement des fixations métalliques des chevrons sur les pannes bétons potentiellement causé par les mouvements de la couverture ;
  - Des armatures en abouts de pannes et en surface de rampant en béton ont été observées et présentent des corrosions d'indices i1 à i2 ;
  - Un désordre d'humidité (mousses et peinture écaillée) a été observé dans une pièce encloisonnée sur des parois en placo (traces d'humidité, formation de moisissures) pouvant être causé par une infiltration d'eau en toiture ;
- Les chevrons bois ont été vérifiés à l'ELU et à l'ELS et semblent correctement dimensionnés ;
- Les pannes béton semblent avoir été posées à l'envers (aciers de diamètre 12mm en partie haute de panne et de diamètre 8mm en partie basse de panne), ne pouvant potentiellement pas reprendre correctement les charges de toiture (deux pannes à des endroits différents dans la charpente ont été sondés pour vérification et présentent cette même anomalie) ;
- La vérification des pannes en béton armé indique un sous-dimensionnement de celles-ci (taux de sollicitation supérieur à 100% à l'ELU) expliquant leurs déformations importantes dans l'axe fort (fléchissement max relevé de 47 mm) et l'axe faible (gauchissement max relevé de 41 mm).

**Bâti 13 - Pannes en béton armé et chevrons en bois**

- La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 32° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 62,5%.
- La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :
  - Chevrons bois espacés d'environ 0,40 m (entraxe) en moyenne ;
  - Une panne faîtière en béton armé ;
  - Quatre pannes intermédiaires en béton armé ;
  - Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 15 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné ;
- La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) et de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule. Il a également été observé la présence d'un écran de sous-toiture entre les liteaux et les chevrons ;
- Plusieurs désordres ont été relevés :
  - L'ensemble de la couverture semble vieillissant (présence de mousses en extérieur au niveau des noues et faitages notamment) ;
  - De multiples fissures d'ouverture 0,1mm ont pu être observées en sous-face des pannes béton en travée courante (portée 5,87m) potentiellement dues aux déformations de ces pannes ;
  - Des fissures horizontales et diagonales traversantes ont été observées sur plusieurs voiles parpaings sur lesquels reposent les pannes. Ces fissures sont notamment situées aux extrémités de ces voiles et sont potentiellement dues à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait ;
  - Il a été observé depuis l'extérieur du bâtiment des déformations au niveau du faîtage liés aux déformations des pannes sous toitures ;
- Les chevrons bois ont été vérifiés à l'ELU et à l'ELS et semblent correctement dimensionnés ;
- La vérification des pannes en béton armé indique un sous-dimensionnement de celles-ci (taux de sollicitation supérieur à 100% à l'ELU suivant l'axe faible dans le cas le plus défavorable en charge d'exploitation seule mais également avec les charges de neige et 60% de vent). De plus, la mesure des flèches indique des déformations importantes dans l'axe fort (fléchissement max relevé de 51 mm) et dans l'axe faible (gauchissement max relevé de 50 mm).

**Bâti 14 - Pannes en béton armé et chevrons en bois**

- La toiture se compose de quatre pans (deux croupes et deux longs pans) inclinés d'environ 32° par rapport à l'horizontale, soit une pente de 62,5 %.
- La charpente est constituée d'une structure mixte en bois et en béton armé composée de :
  - Chevrons bois espacés d'environ 0,40 m (entraxe) en moyenne ;
  - Une panne faîtière en béton armé ;
  - Quatre pannes intermédiaires en béton armé ;
  - Un voile composé de parpaings creux (20 x 40 x 15 cm - h x L x ep.) et d'un rampant en béton chaîné ;
- La couverture est composée de liteaux (25 x 25 mm espacés de 34 cm en moyenne à l'entraxe) qui semblent recouverts de tuiles mécaniques modèle Huguenot H14 grand moule ;
- Plusieurs désordres ont été relevés :
  - L'ensemble de la couverture semble vieillissant (sous-face blanchie des tuiles devenues poreuses, présence de mousses en extérieur au niveau des noues et faitages notamment) et plusieurs tuiles cassées ont été observées ;

- Des fissures horizontales et diagonales traversantes ont été observées sur plusieurs voiles parpaings sur lesquels reposent les pannes. Ces fissures sont notamment situées aux extrémités de ces voiles et sont potentiellement dues à un tassement du bâtiment en partie centrale ou à un phénomène de retrait ;
  - Des épaufrures sur les pannes béton ont été observées en plusieurs endroits et sont probablement dues au frottement des fixations métalliques des chevrons sur les pannes bétons potentiellement causé par les mouvements de la couverture ;
  - Des armatures en abouts de pannes et en surface de rampant en béton ont été observées et présentent des corrosions d'indices i1 à i2 ;
  - Une obturation de souche de cheminée éventrée a été observée potentiellement dû à l'humidité et à de possibles infiltrations d'eau depuis le sommet de la cheminée ;
  - La présence de potentiels nuisibles (nids sur une panne) a pu être observée.
- Les chevrons bois ont été vérifiés à l'ELU et à l'ELS et semblent correctement dimensionnés ;
  - La vérification des pannes en béton armé indique un sous-dimensionnement de celles-ci (taux de sollicitation supérieur à 100% à l'ELU suivant l'axe faible dans le cas le plus défavorable en charge d'exploitation seule mais également avec les charges de neige et 60% de vent). De plus, la mesure des flèches indique des déformations importantes dans l'axe fort (fléchissement max relevé de 51 mm) et dans l'axe faible (gauchissement max relevé de 50 mm).

*Une mission de maîtrise d'œuvre pourra être proposée suite à la remise du présent rapport et à la demande de la maîtrise d'Ouvrage.*



## 8. PRECONISATIONS

---

Suite aux investigations et aux calculs les préconisations les plus importantes sont décrites ci-dessus, il est ainsi proposé les préconisations suivantes :

### Bâti 58 - Pannes en bois

- Il est préconisé de vérifier que la toiture ne présente pas d'infiltrations lors des pluies au droit des fenêtres de toits. Le cas échéant, l'étanchéité des fenêtres devra être vérifiées et reprise afin de stopper les infiltrations ;
- Il est préconisé de vérifier la panne bois dont la surface est noircie. Dans le cas où celle-ci présenterait un pourrissement en profondeur, il est préconisé de remplacer la panne et de vérifier l'étanchéité de la toiture au droit du désordre.

### Bâti 3 - Pannes métalliques - Ferme Industrielle

Il est préconisé :

- le nettoyage par brossage et l'application d'une peinture anti-corrosion sur l'ensemble de la charpente métallique ;
- la dépose en remplacement de l'ensemble de la couverture tuile vieillissante compris liteaux. Une nouvelle couverture adaptée aux pentes du toit et à la situation du bâti (exposé au vent) devra être installée suivant les règles de l'Art ;
- La mise en place d'un écran de sous-toiture ou d'un isolant mince diminuant les amplitudes thermiques de la structure dans les combles ;
- l'ajout de nouveaux chevrons bois à l'emplacement de la sortie d'aération afin de compléter les manques.
- Lors de la phase de maîtrise d'œuvre, il sera vérifié la nécessité de la mise en place d'une protection au feu des armatures ou non.

### Bâti 6-7-13 et 14 - Pannes béton

Concernant les bâtiments en charpente béton dont les pannes présentent des déformations importantes, il sera intéressant d'étudier lors de la mission de maîtrise d'œuvre les deux solutions suivantes :

- la reprise complète de la charpente comprenant notamment la dépose en démolition des pannes bétons et la fourniture et pose de pannes en bois lamellé-collé en remplacement ;
- le renforcement dans la mesure du possible des pannes béton actuelles.

Il est cependant préconisé pour l'ensemble des bâtis :

- la dépose en remplacement de l'ensemble des couvertures tuiles vieillissantes. Une nouvelle couverture adaptée aux pentes de toits et à la situation du bâti (exposé au vent) devra être installée suivant les règles de l'Art ;
- la mise en place d'un écran de sous-toiture ou d'un isolant mince diminuant les amplitudes thermiques de la structure dans les combles ;
- le calfeutrement au mastic ou au mortier de réparation des fissures observées sur les voiles parpaings. Ces voiles devront être à surveiller. Dans le cas de réouverture des fissures dans la décennie suivant le calfeutrement, il pourra être préconisé la mise en place d'un chaînage semi-actif en pied de voiles.
- A la vue des fissures observées, il pourrait être intéressant de réaliser des investigations géotechniques de type G5 au droit de ces bâtiments afin de vérifier la stabilité du sol (montant d'environ 10 000 € estimé - non inclus dans le préchiffrage ci-après).

## 9. PRECHIFFRAGE

Le préchiffrage des travaux préconisés est présenté ci-après (dans la présente étude, il est proposé de chiffrer la reprise complète de la charpente des bâtis 6, 7, 13 et 14). Ce préchiffrage ne comprend pas l'étude des potentiels désordres observés au droit des fenêtres de toit du bâtiment n°58 (charpente bois), ni le chiffrage d'une réparation de la panne potentiellement dégradée :

<b>INTERNAT D'EXCELLENCE DE SOURDUN</b> <b>77487 SOURDUN</b> <b>REFECTION DES TOITS DES BÂTIS N°3-6-7-13-14</b> <b>ESTIMATION DES TRAVAUX</b> <b>DÉTAILS EN EUROS H.T.</b>					
N°	LIBELLÉ	Unités	Quantité	Prix unitaire H.T.	Estimatif (Prix en Euros H.T.)
<b>BASE</b>					
<b>1</b>	<b>BÂTI N°3 - Charpente Métallique</b>				
1.1	- Etudes EXE	Ens	1,00	5 000,00 €	5 000,00 €
1.2	- Fourniture et pose d'un échafaudage d'accès à la toiture.	m2	1 716,00	60,00 €	102 960,00 €
1.3	- Dépose en démolition de l'ensemble de la couverture tuile du bâtiment compris évacuation en déchetterie.	m2	1 122,00	25,00 €	28 050,00 €
1.4	- Nettoyage par brossage manuel et application d'un passivant et d'une peinture anti-corrosion sur toutes les parties visibles de l'ensemble des éléments métalliques de la charpente.	ml	1 094,50	130,00 €	142 285,00 €
1.5	- Fourniture et pose de chevrons en complément de ceux manquant.	ml	19,80	15,00 €	297,00 €
1.6	- Fourniture et pose d'une nouvelle couverture de type tuiles mécaniques.	m2	1 122,00	60,00 €	67 320,00 €
1.7	- Fourniture et pose d'un écran de sous-toiture ou isolant mince.	m2	1 122,00	20,00 €	22 440,00 €
1.8	- Fourniture et pose de pattes de fixations métalliques afin de fixer correctement l'ensemble des chevrons bois aux pannes métalliques..	m2	1 122,00	30,00 €	33 660,00 €
	<b>Sous-Total BÂTI N°3 - Charpente Métallique</b>				<b>402 012,00 €</b>
<b>2</b>	<b>BÂTI N°6 - Charpente Béton</b>				
2.1	- Etudes EXE	Ens	1,00	2 000,00 €	2 000,00 €
2.2	- Fourniture et pose d'un échafaudage d'accès à la toiture.	m2	1 012,00	60,00 €	60 720,00 €
2.3	- Dépose en démolition de l'ensemble de la couverture tuile du bâtiment compris liteaux et chevrons y compris évacuation en déchetterie.	m2	814,00	25,00 €	20 350,00 €
2.4	- Dépose en démolition de l'ensemble des pannes béton armé.	m3	11,42	450,00 €	5 138,72 €
2.5	- Fourniture et pose d'une nouvelle charpente de toit en remplacement des pannes béton et comprenant des pannes en bois lamellé collé sur sabots métalliques fixés sur les voiles parpaings compris fourniture et pose des éléments de fixations, et la fourniture et pose de nouveaux chevrons.	m2	814,00	110,00 €	89 540,00 €
2.6	- Traitement de l'ensemble des éléments bois de la charpente	m2	814,00	11,00 €	8 954,00 €
2.7	- Fourniture et pose d'une nouvelle couverture de type tuiles mécaniques compris fourniture et pose de liteaux.	m2	814,00	60,00 €	48 840,00 €
2.8	- Fourniture et pose d'un écran de sous-toiture ou isolant mince.	m2	814,00	20,00 €	16 280,00 €
2.9	- Traitement par calfeutrement des fissures traversantes sur voiles parpaing.	ml	22,00	50,00 €	1 100,00 €
	<b>Sous-Total BÂTI N°6 - Charpente Béton</b>				<b>252 922,72 €</b>

<b>3</b>	<b>BÂTI N°7 - Charpente Béton</b>				
3.1	- Etudes EXE	Ens	1,00	2 000,00 €	2 000,00 €
3.2	- Fourniture et pose d'un échafaudage d'accès à la toiture.	m2	1 012,00	60,00 €	60 720,00 €
3.3	- Dépose en démolition de l'ensemble de la couverture tuile du bâtiment compris liteaux et chevrons y compris évacuation en	m2	814,00	25,00 €	20 350,00 €
3.4	- Dépose en démolition de l'ensemble des pannes béton armé.	m3	11,42	450,00 €	5 138,72 €
3.5	- Fourniture et pose d'une nouvelle charpente de toit en remplacement des pannes béton et comprenant des pannes en bois lamellé collé sur sabots métalliques fixés sur les voiles parpaings compris fourniture et pose des éléments de fixations, et la fourniture et pose de nouveaux chevrons.	m2	814,00	110,00 €	89 540,00 €
3.6	- Traitement de l'ensemble des éléments bois de la charpente	m2	814,00	11,00 €	8 954,00 €
3.7	- Fourniture et pose d'une nouvelle couverture de type tuiles mécaniques compris fourniture et pose de liteaux.	m2	814,00	60,00 €	48 840,00 €
3.8	- Fourniture et pose d'un écran de sous-toiture ou isolant mince.	m2	814,00	20,00 €	16 280,00 €
3.9	- Traitement par calfeutrement des fissures traversantes sur voiles parpaing.	ml	22,00	50,00 €	1 100,00 €
	<b>Sous-Total BÂTI N°7 - Charpente Béton</b>				<b>252 922,72 €</b>
<b>4</b>	<b>BÂTI N°13 - Charpente Béton</b>				
4.1	- Etudes EXE	Ens	1,00	2 000,00 €	2 000,00 €
4.2	- Fourniture et pose d'un échafaudage d'accès à la toiture.	m2	2 310,00	60,00 €	138 600,00 €
4.3	- Dépose en démolition de l'ensemble de la couverture tuile du bâtiment compris liteaux et chevrons y compris évacuation en	m2	1 177,00	25,00 €	29 425,00 €
4.4	- Dépose en démolition de l'ensemble des pannes béton armé.	m3	18,34	450,00 €	8 252,58 €
4.5	- Fourniture et pose d'une nouvelle charpente de toit en remplacement des pannes béton et comprenant des pannes en bois lamellé collé sur sabots métalliques fixés sur les voiles parpaings compris fourniture et pose des éléments de fixations, et la fourniture et pose de nouveaux chevrons.	m2	1 177,00	110,00 €	129 470,00 €
4.6	- Traitement de l'ensemble des éléments bois de la charpente	m2	1 177,00	11,00 €	12 947,00 €
4.7	- Fourniture et pose d'une nouvelle couverture de type tuiles mécaniques compris fourniture et pose de liteaux.	m2	1 177,00	60,00 €	70 620,00 €
4.8	- Fourniture et pose d'un écran de sous-toiture ou isolant mince.	m2	1 177,00	20,00 €	23 540,00 €
4.9	- Traitement par calfeutrement des fissures traversantes sur voiles parpaing.	ml	44,00	50,00 €	2 200,00 €
	<b>Sous-Total BÂTI N°13 - Charpente Béton</b>				<b>417 054,58 €</b>

5	BÂTI N°14 - Charpente Béton				
5.1	- Etudes EXE	Ens	1,00	2 000,00 €	2 000,00 €
5.2	- Fourniture et pose d'un échafaudage d'accès à la toiture.	m2	2 310,00	60,00 €	138 600,00 €
5.3	- Dépose en démolition de l'ensemble de la couverture tuile du bâtiment compris liteaux et chevrons y compris évacuation en	m2	1 177,00	25,00 €	29 425,00 €
4.4	- Dépose en démolition de l'ensemble des pannes béton armé.	m3	18,34	450,00 €	8 252,58 €
4.5	- Fourniture et pose d'une nouvelle charpente de toit en remplacement des pannes béton et comprenant des pannes en bois lamellé collé sur sabots métalliques fixés sur les voiles parpaings compris fourniture et pose des éléments de fixations, et la fourniture et pose de nouveaux chevrons.	m2	1 177,00	110,00 €	129 470,00 €
5.7	- Traitement de l'ensemble des éléments bois de la charpente	m2	1 177,00	11,00 €	12 947,00 €
5.8	- Fourniture et pose d'une nouvelle couverture de type tuiles mécaniques.	m2	1 177,00	60,00 €	70 620,00 €
5.9	- Fourniture et pose d'un écran de sous-toiture ou isolant mince.	m2	1 177,00	20,00 €	23 540,00 €
5.10	- Traitement par calfeutrement des fissures traversantes sur voiles parpaing.	ml	44,00	50,00 €	2 200,00 €
	<b>Sous-Total BÂTI N°14 - Charpente Béton</b>				<b>417 054,58 €</b>
	<b>TOTAL MONTANT HT - TRAVAUX</b>				<b>1 741 966,59 €</b>
	<b>MOE</b>	%	12,5%		<b>217 745,82 €</b>
	<b>BUREAU DE CONTRÔLE</b>	%	2,5%		<b>43 549,16 €</b>
	<b>CSPS</b>	%	2,0%		<b>34 839,33 €</b>
	<b>OPC</b>	%	3,0%		<b>52 259,00 €</b>
	<b>ASSURANCES PARTICULIERES</b>	%	4,0%		<b>69 678,66 €</b>
	<b>ALEAS</b>	%	15,0%		<b>261 294,99 €</b>
	<b>DIVERS FRAIS DE PILOTAGE DE PROJET</b>	%	5,0%		<b>87 098,33 €</b>
	<b>TOTAL MONTANT HT - HONORAIRES &amp; FRAIS ANNEXES</b>				<b>766 465,30 €</b>
	<b>TOTAL PROJET H.T</b>				<b>2 508 431,90 €</b>
	<b>T.V.A. 20%</b>				<b>501 686,38 €</b>
	<b>TOTAL PROJET TTC</b>				<b>3 010 118,27 €</b>