COMPTE RENDU D'INTERVENTION

Du 18 au 21 Juillet 2022

ESID IDF

Diagnostic de structure

Bâtiments 429-430-435
121ème Régiment du Train à Montlhéry

N° dossier : D2101.246				Réf commande :		
Indice	Date	Chargé d'affaire	Visa	Vérifié par	Visa	Contenu
1	02/09/2022	L.BOUR		V.HOUDET		50 pages 4 annexes

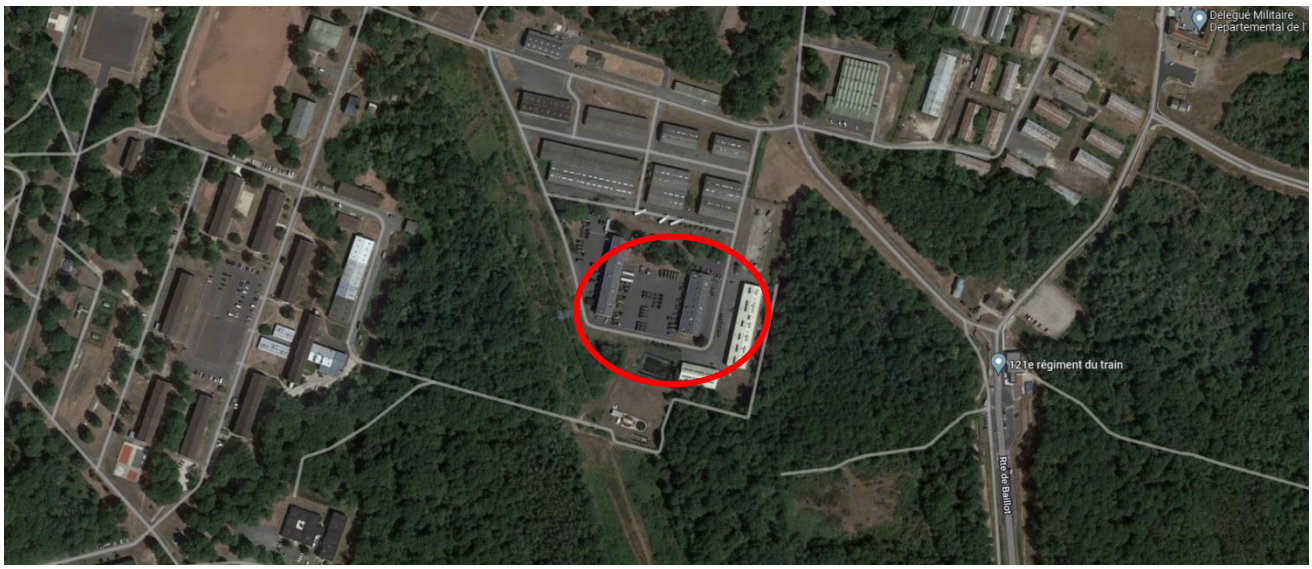
MasterDiag - 44 rue de l'Amée - 51110 LAVANNES – Tél : 09.63.21.66.92 – Fax : 03.26.47.65.78
N° de Siret : 538 912 122 00016 - Code APE 7490B - N° TVA : FR 33 538912122
E-mail : contact@masterdiag.fr – Site internet : www.masterdiag.fr

SOMMAIRE

I. BUT DE L'INTERVENTION : 3
II. METHODOLOGIE DE L'INTERVENTION 4
III. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – BÂTIMENT 429 5
A. Reconnaissance de la charpente 5
B. Reconnaissances du dallage 12
1. Caractéristiques du dallage 12
2. Qualité du béton 16
3. Essai pressiométrique 17
4. Synthèse 18
IV. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – BÂTIMENT 430 19
A. Reconnaissance de la charpente 19
B. Reconnaissances du dallage 25
1. Caractéristiques du dallage 25
2. Qualité du béton 30
3. Essai pressiométrique 31
4. Synthèse 32
V. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – BÂTIMENT 435 33
A. Reconnaissance de la charpente 33
B. Reconnaissances du dallage 41
1. Caractéristiques du dallage 41
2. Qualité du béton 46
3. Essai pressiométrique 47
4. Synthèse 48
VI. CONCLUSIONS 49
VII. RECAPITULATIF DES ANNEXES 50

I. BUT DE L'INTERVENTION :

Dans le cadre de la réhabilitation de la Zone Technique des bâtiments 435, 429 et 430 à MONTLHERY un diagnostic est nécessaire.



Bâtiments 429, 430 et 435, objet de l'intervention, situés au 121ème Régiment du Train à Montlhéry.

L'objectif de l'intervention est donc de déterminer les caractéristiques structurelles du dallage et de la charpente des 3 bâtiments et de fournir les éléments à la MOE afin de définir la faisabilité du projet.

II. METHODOLOGIE DE L'INTERVENTION

Afin de procéder au diagnostic, nous avons réalisé l'intervention suivante :

- ***INTERVENTION SUR SITE :***
  - *Cartographie / inspection des bâtiments 429, 430 et 435 à la nacelle (façade, charpente, structure)*
  - *3 x 3 carottages de dallage sur les bâtiments afin d'en définir leur constitution (ep, ferraillage, forme, dallage terre-plein ou porté),*
  - *3 essais pressiométriques à 1 m sous dallage,*
  - *Relevé d'une travée de charpente par bâtiment,*
  - *Photographies,*
  - *Rebouchage des sondages.*

- ***ESSAIS ET ANALYSES EN LABORATOIRE :***
  - *9 essais de compression,*
  - *3 modélisations des charpentes aux éléments finis,*
  - *3 vérifications de portance des dallages,*
  - *Rédaction d'un compte rendu d'intervention avec synthèse des résultats.*

III. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – BÂTIMENT 429

A. Reconnaissance de la charpente

Le bâtiment 429 est constitué d'une zone hangar et d'une zone de bureau.

Bâtiment 429

La charpente métallique du hangar est constituée de portiques en profilés IPE, régulièrement espacés. Le côté Ouest de la charpente est prolongé sur 4,8m et correspond à la zone de bureaux avec une mezzanine en plancher collaborant sur ossature métallique.

Les pannes de la charpente sont des IPE140 et la couverture est en bac acier avec un isolant et une étanchéité bitumineuse.

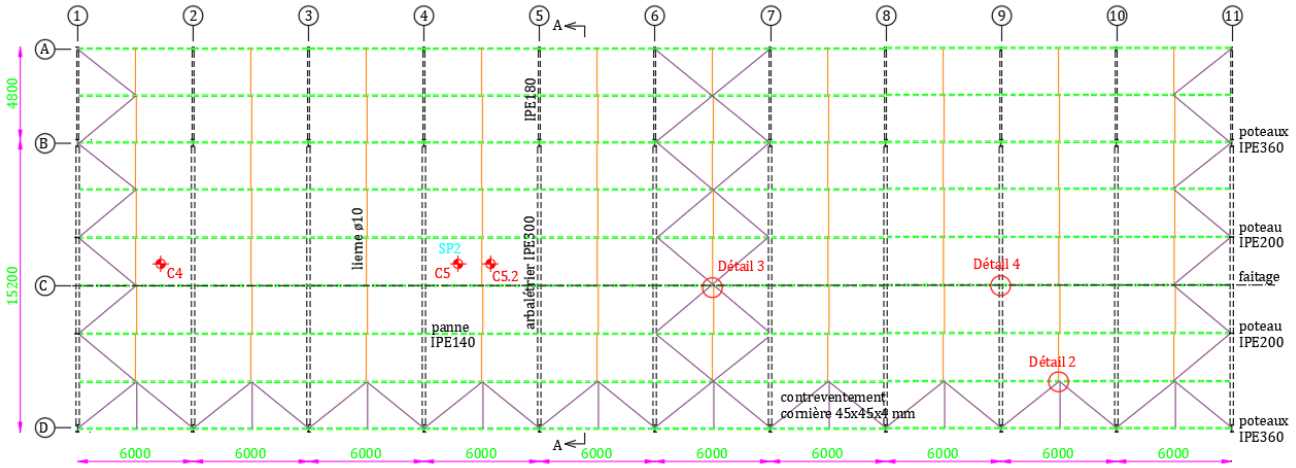
Un pont roulant est présent sur deux rails reposant sur les poteaux des portiques de la charpente.

Les relevés ont permis de réaliser les plans et coupes suivants :

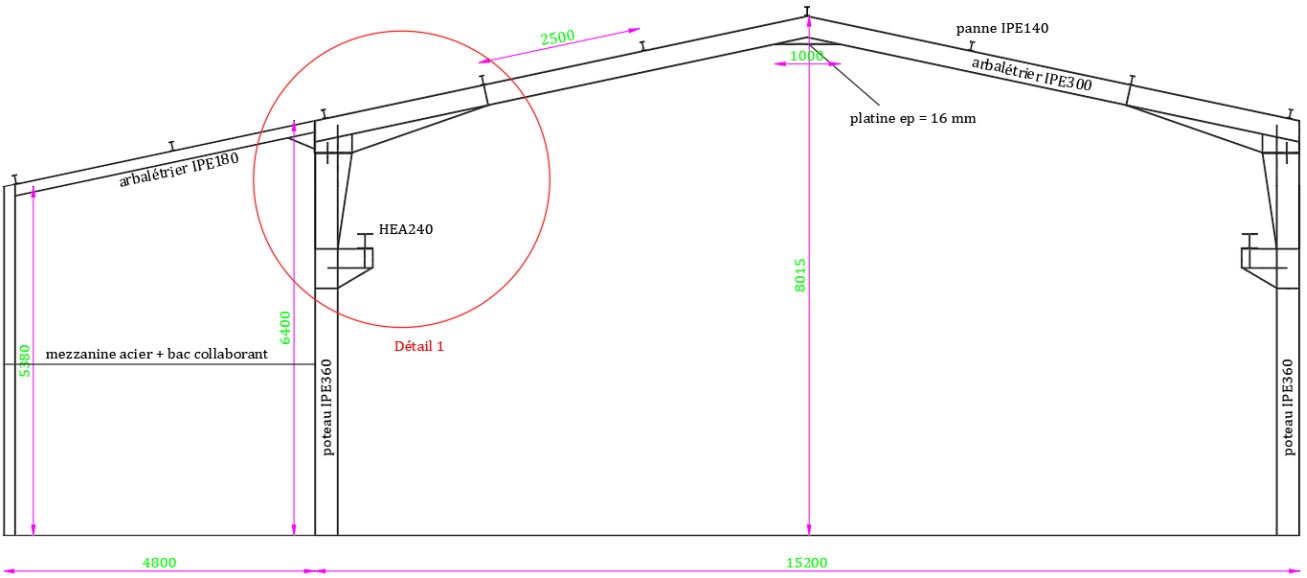
Une vue en plan de la charpente visible en annexe 1a.

Une coupe AA de la charpente visible en annexe 1b.

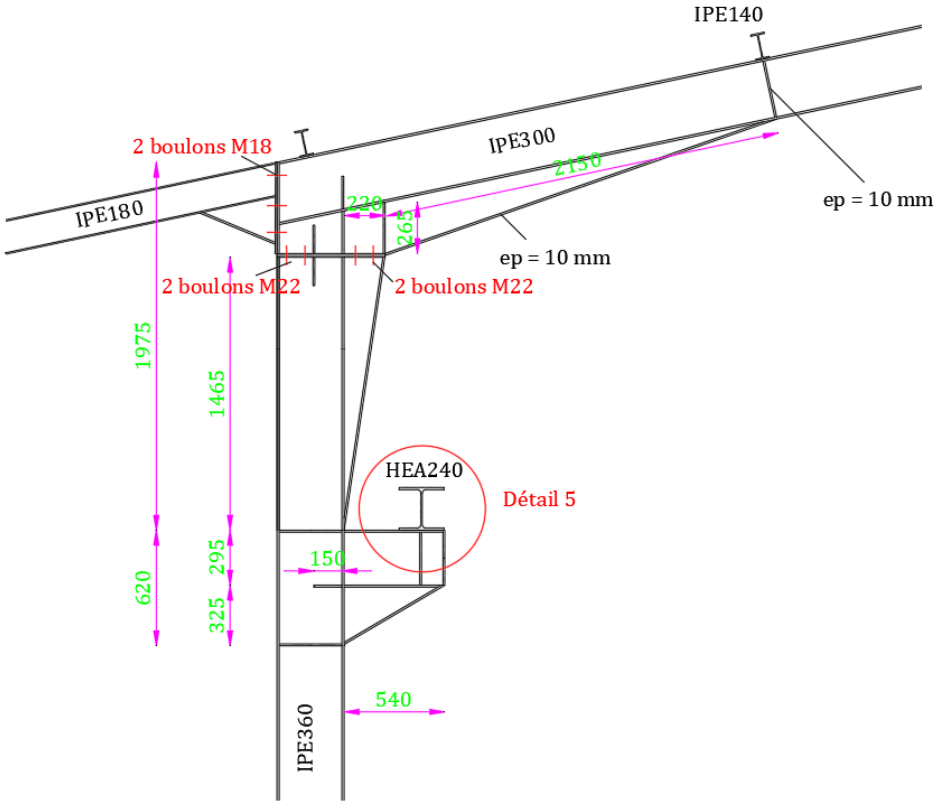
Un carnet de détail de la charpente visible en annexe 1c.



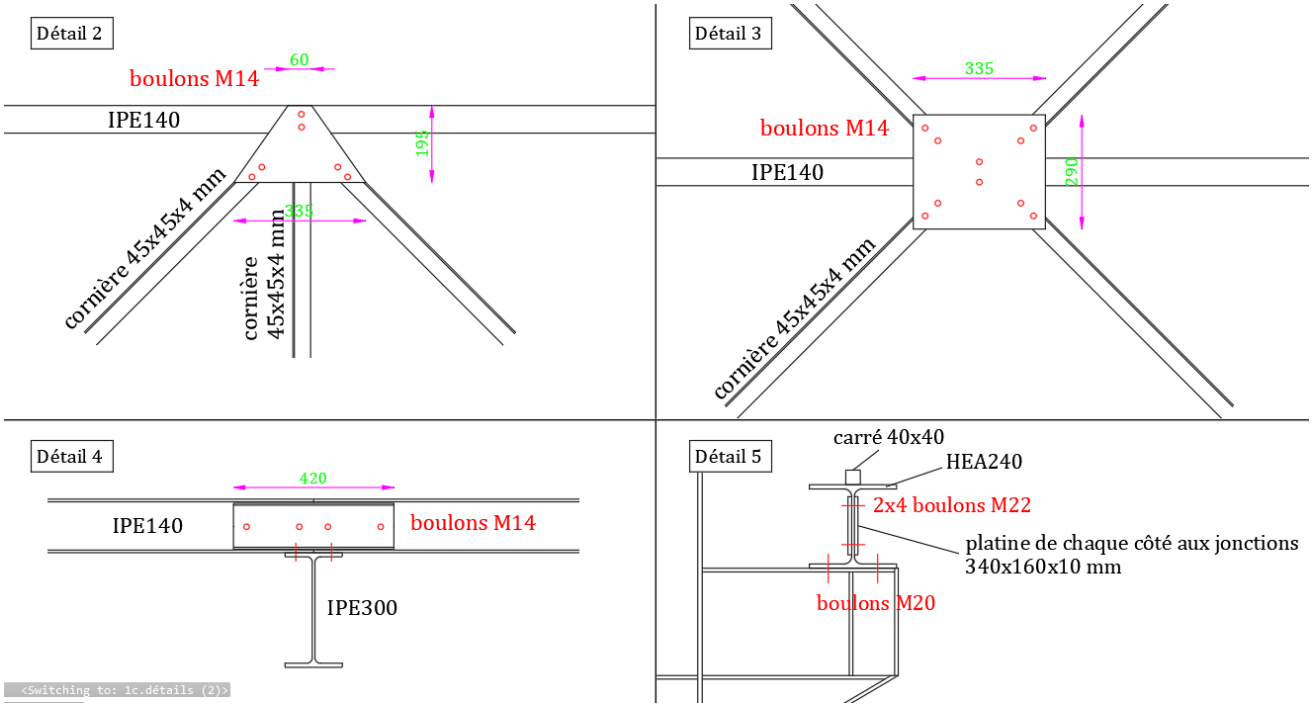
Vue en plan de la charpente



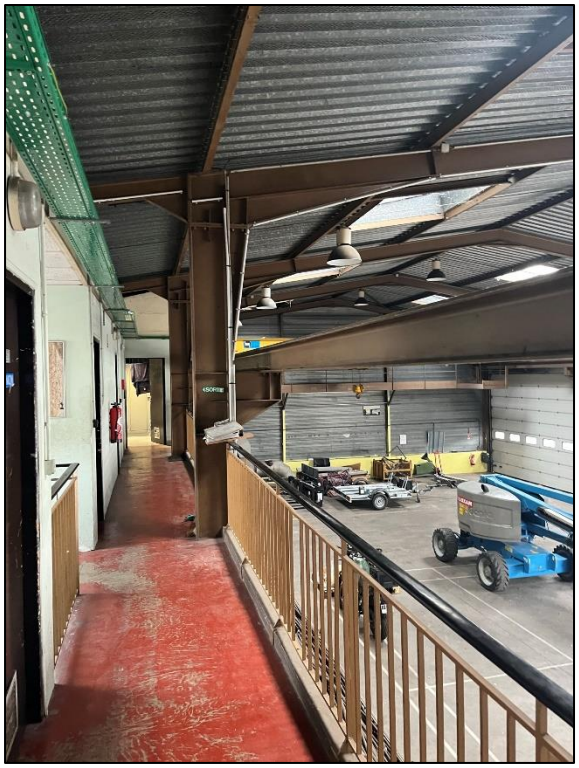
Coupe AA de la charpente

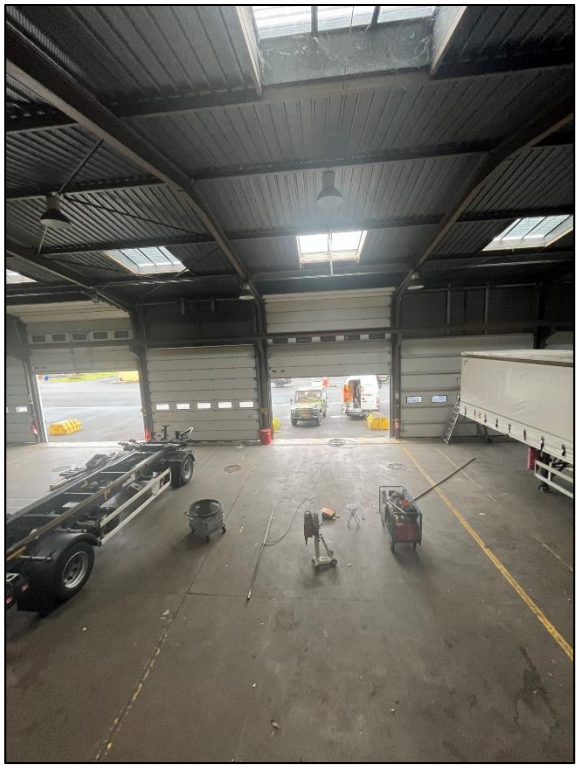


Détail 1

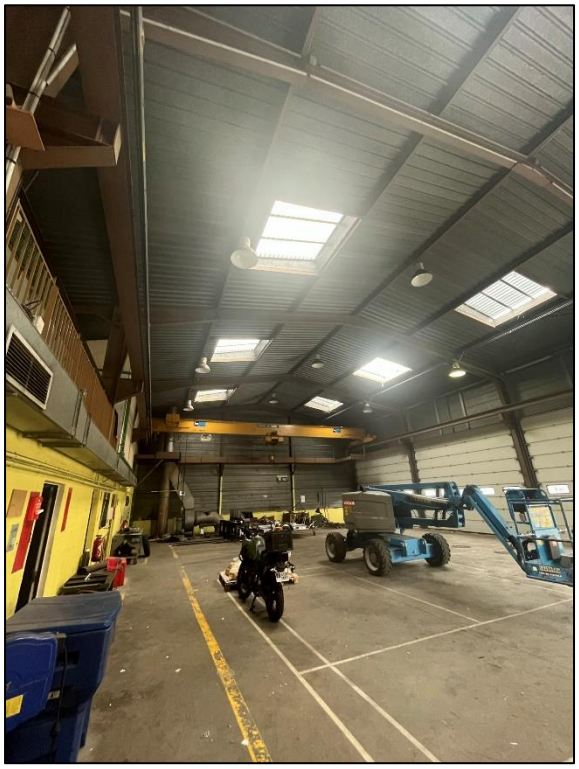


Détails 2 à 5





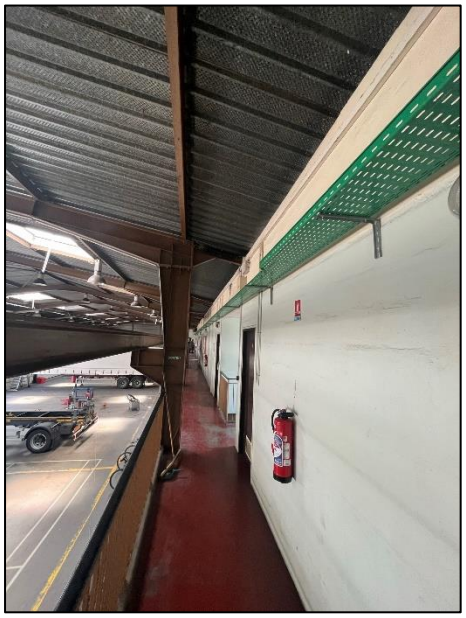
Vues générales de la charpente

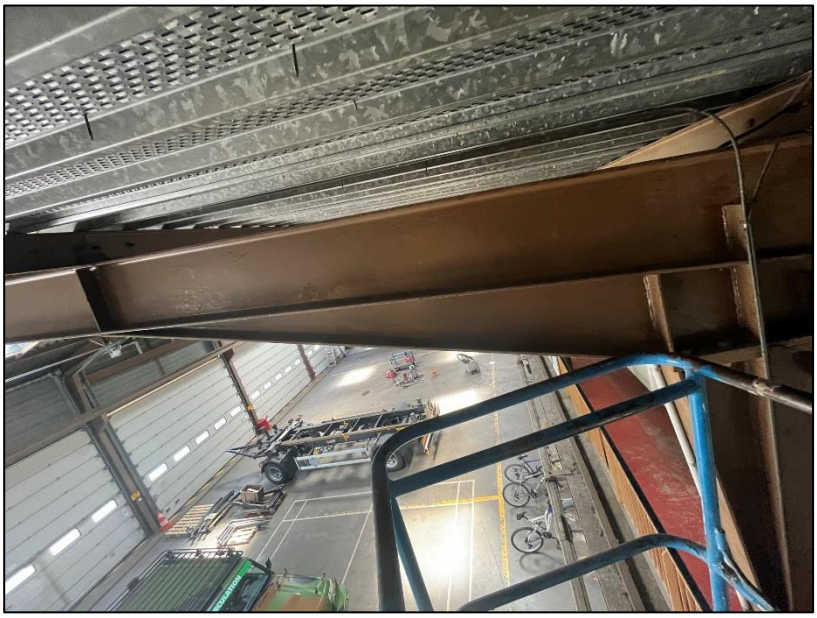


Vues générales de la charpente

Fissures en surface de dalle

Mezzanine

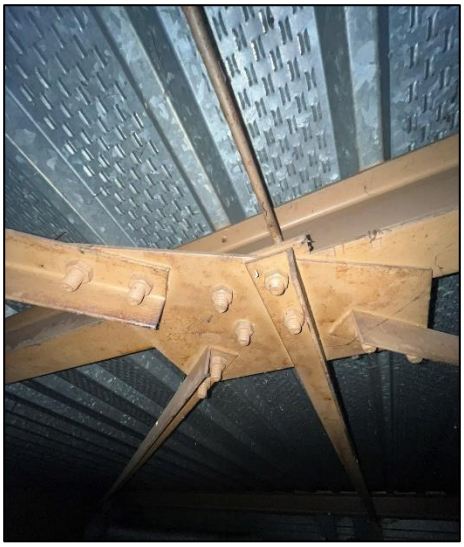




Poteaux IPE360 en file B

Détail de l'assemblage arbalétriers sur poteau en file B (Détail 1)

Lierne entre pannes

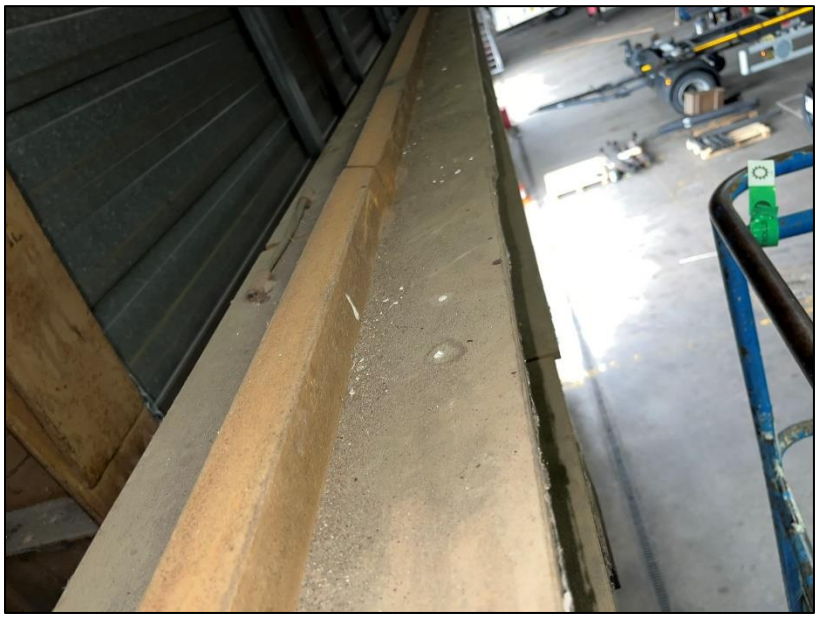


Assemblage contreventement

Assemblage contreventement
(Détail 2)

Assemblage contreventement
(Détail 3)

Assemblage pannes (Détail 4)



Assemblage poutre du pont roulant (Détail 5)

B. Reconnaissances du dallage

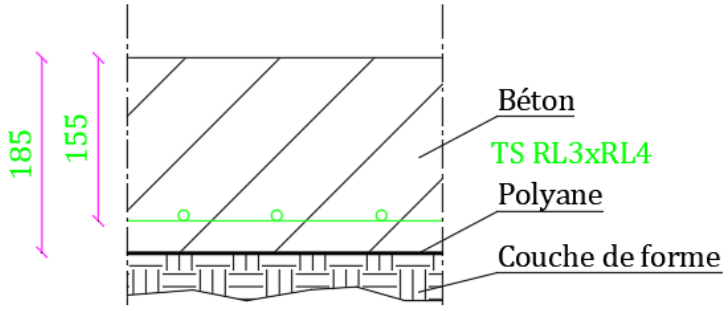
1. Caractéristiques du dallage

Des investigations ont été menées au niveau du dallage du hangar afin d'en définir les caractéristiques et permettre le recalcul de la capacité portante du dallage.

Ainsi, trois carottages ont été effectués pour définir la constitution du dallage, son ferraillage et estimer sa qualité.

Les résultats sont les suivants :

Carottage C4 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C4

Photographie du carottage C4

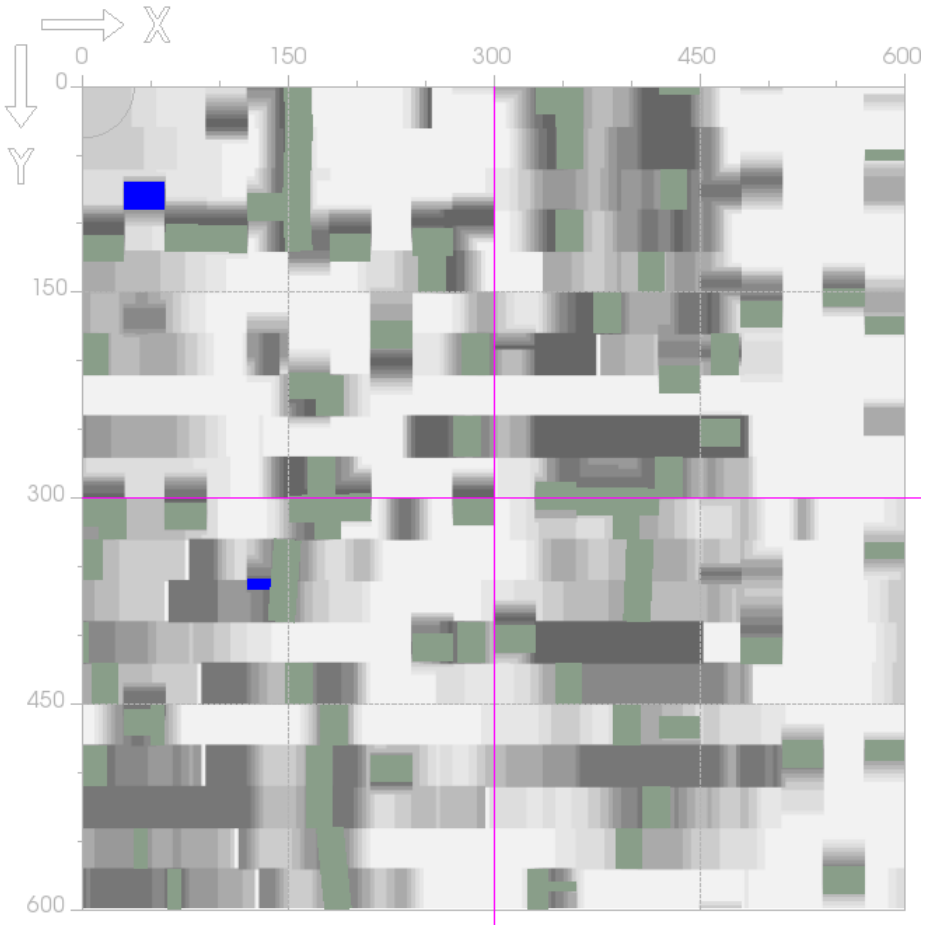
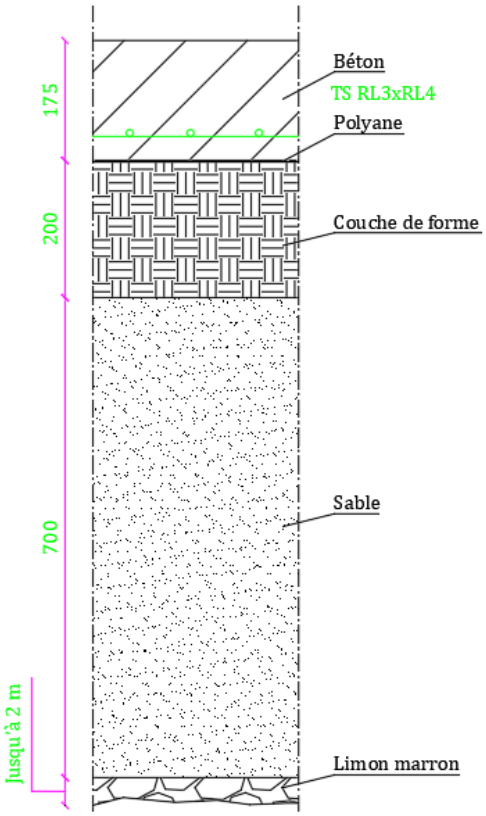


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C4
– ferraillage trop profond non détecté

Carottage C5 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C5

Photographie du carottage C5

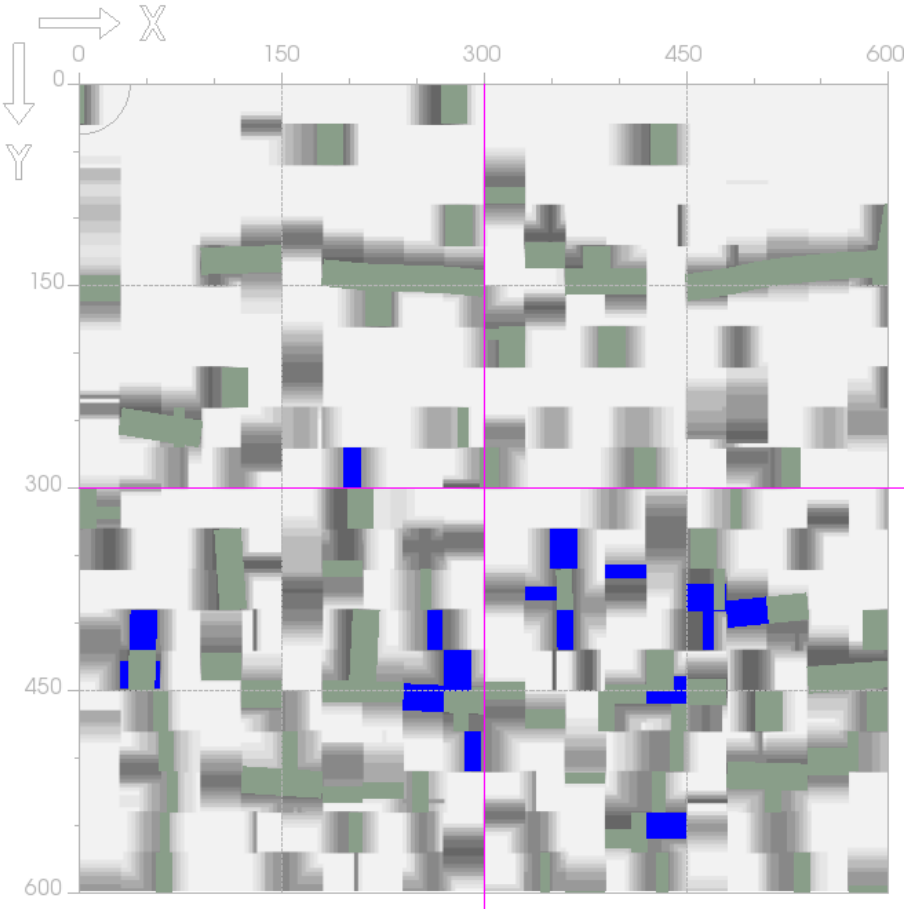
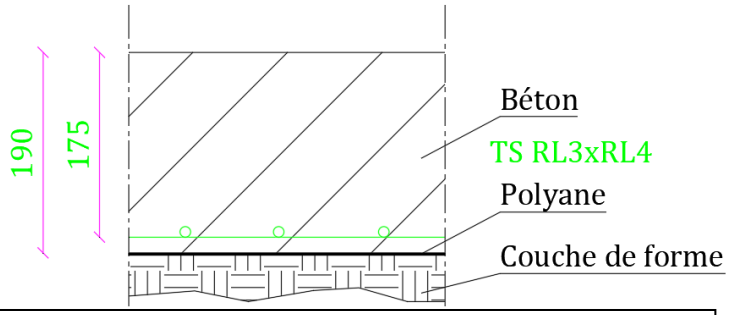


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C5 – ferraillage trop profond non détecté

Carottage C6 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C6

Photographie du carottage C6

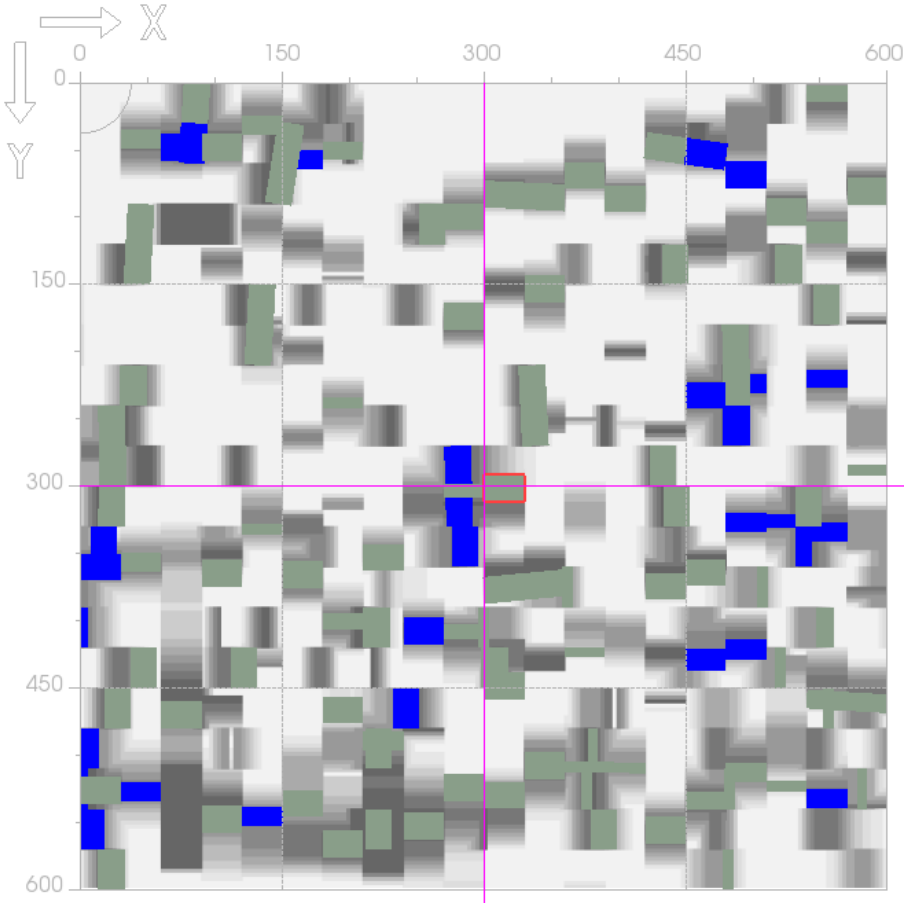


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C6
– ferraillage trop profond non détecté

2. Qualité du béton

Trois essais de compression ont été effectués sur les carottes afin d'avoir un avis sur la qualité du béton. Les prélèvements ont été rectifiés avant essai, la résistance indiquée est donc la résistance à cœur du béton. Les essais ont été réalisés conformément à la norme NF EN 12390-3, le 31/08/2022.

Les résultats sont les suivants :

Rectification pour la compression : Rectifieuse
Système de mesure : Presse controlab – 3000KN – classe 1

Prélèvement	Caractéristiques des éprouvettes				Densité	Charge à la rupture (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Conformité de la rupture	
	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)	H/D	Masse (g)				C	NC
C4	73	170	2.3	1683	2.37	149	35.6	X	
C5	93	157	1.7	2488	2.33	332	47.6	X	
C6	73	172	2.3	1650	2.29	117	28.0	X	
						Moyenne	37.0		

Classe de résistance estimée selon NF EN 206/CN = C30/37.

Nota (Rappel sur les recommandations de la norme NF EN 13791) :

Pour une zone d'essai donnée, l'évaluation de la résistance caractéristique à la compression des bétons doit reposer sur au moins 3 prélèvements. Ce nombre minimal de 3 éprouvettes se rapporte à des carottes ayant un diamètre d'au moins 100 mm. Lorsque le diamètre des carottes est inférieur à 100 mm, la norme NF EN 13791 recommande d'augmenter le nombre de carottes. La recommandation repose sur le nombre de prélèvements à retenir en fonction du diamètre : N = -(0,12 x Ø) + 15 avec Ø en mm. Ex : pour un diamètre Ø = 71 mm, un nombre minimum de 7 prélèvements doit être réalisé afin d'évaluer la résistance caractéristique à la compression des bétons selon les recommandations de la norme NF EN 13791.

3. Essai pressiométrique

Un essai pressiométrique a été réalisé sous le dallage dans le carottage C5 afin de déterminer le module Em du sol sous-jacent.

Il s'avère que le sol sous-jacent est constitué d'une couche de forme d'environ 20 cm puis de sable sur 70 cm puis de limon marron.

Les résultats des essais sont les suivants :

SP2 (dans le carottage C5) :

Type de sonde : Sonde 44 - Tube fendu Ø 55mm
Type de forage : (type de forage inconnu)
Inertie : 1 (du 27/06/2022)
Calibrage : calibrage (du 31/05/2022)

Profondeur de l'essai (-Zs) : 1.50 m
Hauteur du C.P.V. (Zc) : 1.60 m
Nappe d'eau (-Zw) : Inconnu

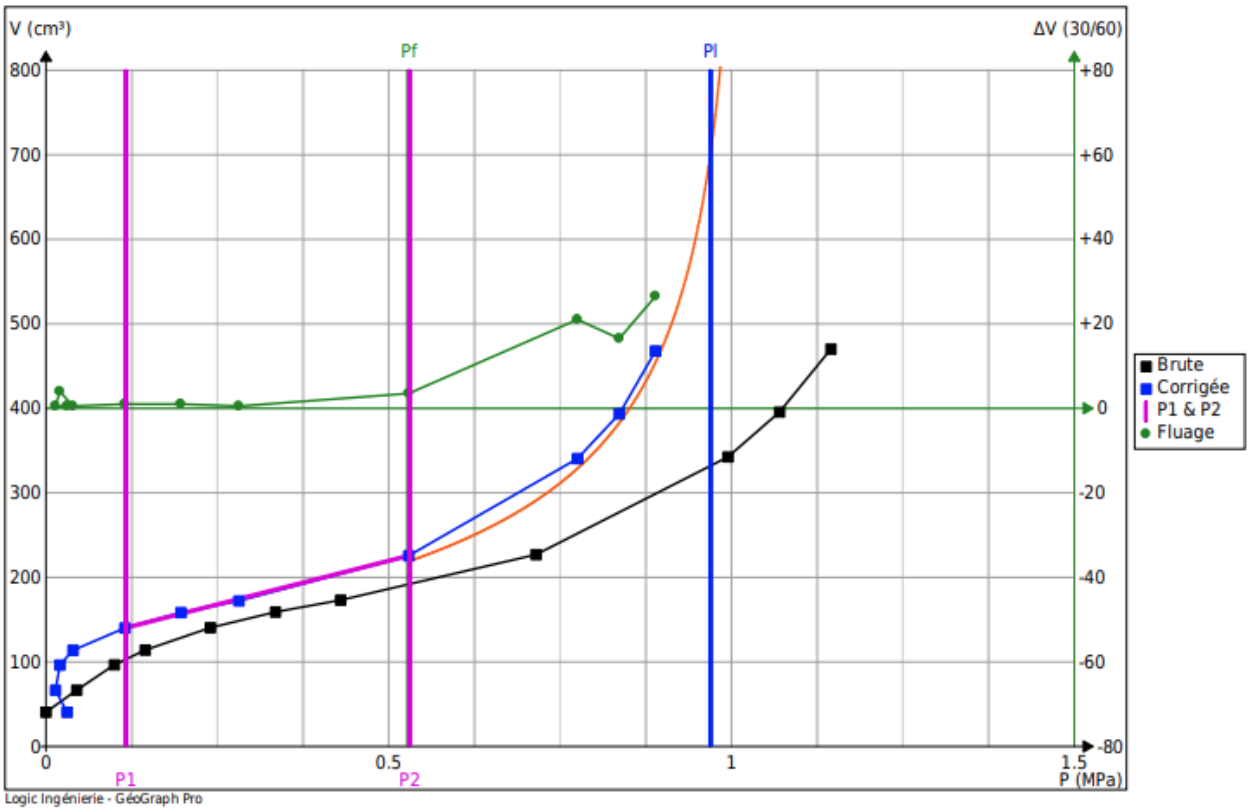
Em (MPa) : 8.041
Pf* (MPa) : 0.516
Pl* (MPa) : 0.956

Em/Pl* : 8.411
Pl*/Pf* : 1.853
σhs (MPa) : 0.013
Pel (MPa) : 0.322
Vel (cm³) : 550

P1 (MPa) : 0.115
V1 (cm³) : 140.0
P2 (MPa) : 0.529
V2 (cm³) : 225.6

Vs (cm³) : 441.9
a (cm³/MPa) : 2.00
Vc (cm³) : 113.0
ls (mm) : 210
di (mm) : 58

Valeurs brutes	P (MPa)	0.000	0.045	0.100	0.145	0.240	0.335	0.430	0.715	0.995	1.070	1.145
	V (cm³)	40.5	66.5	96.5	114.0	140.5	159.0	173.0	227.0	342.5	395.5	470.0
Valeurs corrigées	P (MPa)	0.031	0.014	0.020	0.040	0.115	0.197	0.282	0.529	0.775	0.836	0.889
	V (cm³)	40.5	66.4	96.3	113.7	140.0	158.3	172.1	225.6	340.5	393.4	467.7



4. Synthèse

C4, C5 et C6 :

- Dallage en béton armé de 17,5 cm à 19 cm d'épaisseur
- Qualité du béton estimée C30/37
- Ferraillage en place : RL3xRL4, esp = NC
- Présence de joints de retraits
- Module Em à -1,00 m = 8,04 MPa

IV. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – BÂTIMENT 430

A. Reconnaissance de la charpente

Le bâtiment 430 est constitué d'une zone hangar et d'une zone de bureau.

Bâtiment 430

La charpente métallique du hangar est constituée de portiques en profilés IPE, régulièrement espacés.

Les pannes de la charpente sont des IPE160 et la couverture est en bac acier avec un isolant et une étanchéité bitumineuse.

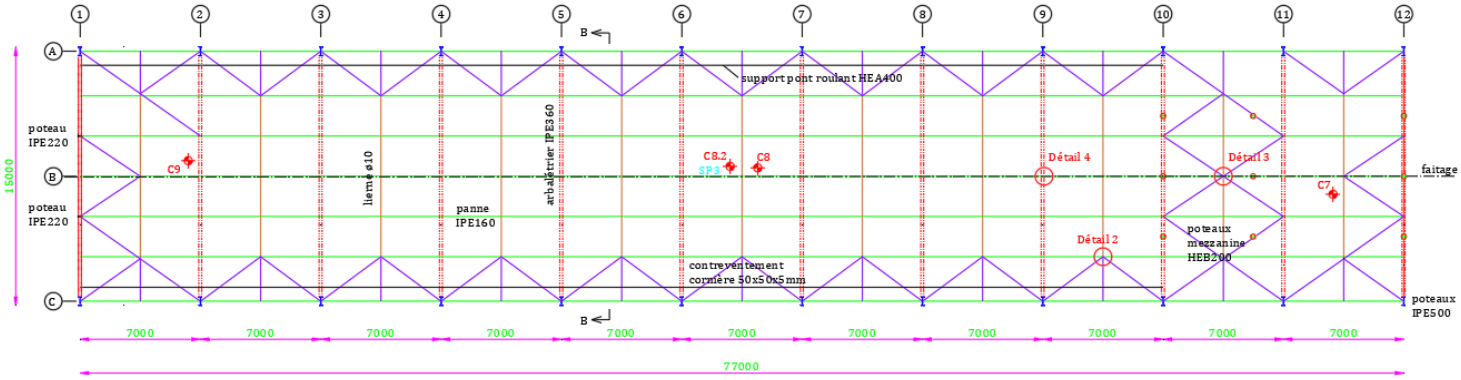
Un pont roulant est présent sur deux rails reposant sur les poteaux des portiques de la charpente.

Les relevés ont permis de réaliser les plans et coupes suivants :

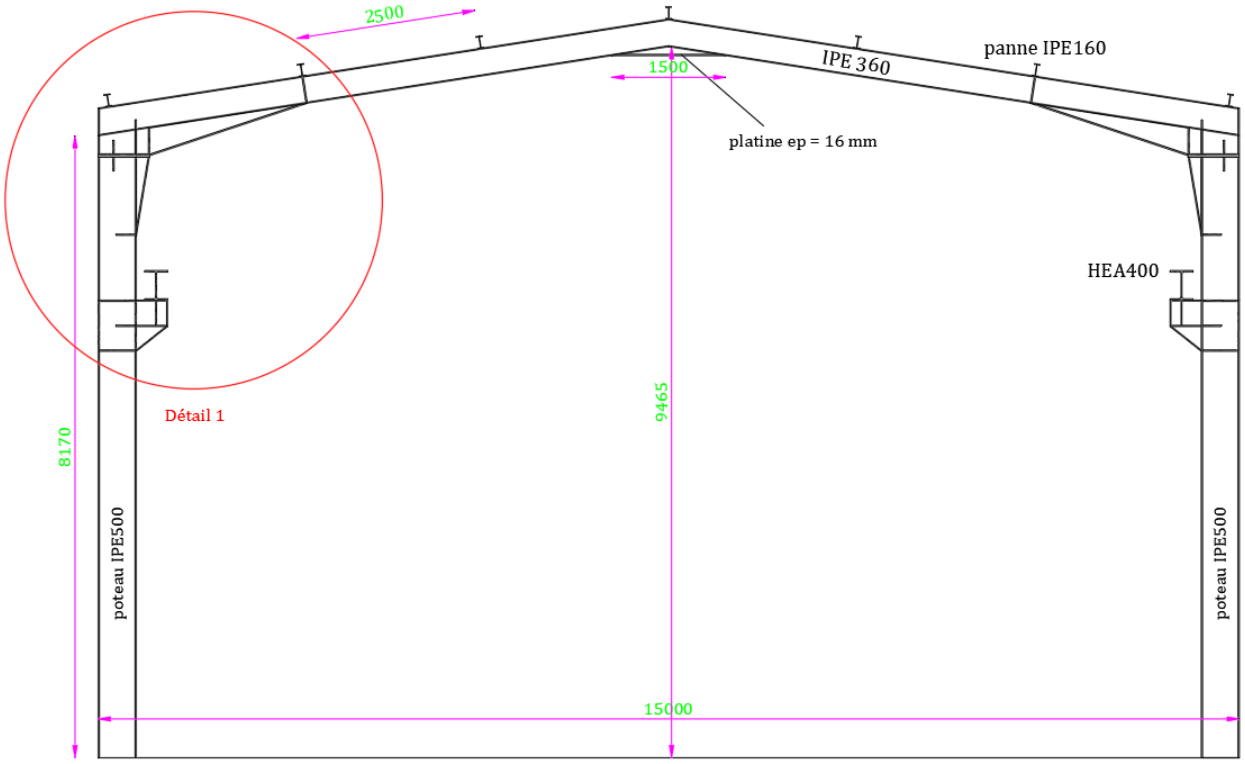
Une vue en plan de la charpente visible en annexe 2a.

Une coupe AA de la charpente visible en annexe 2b.

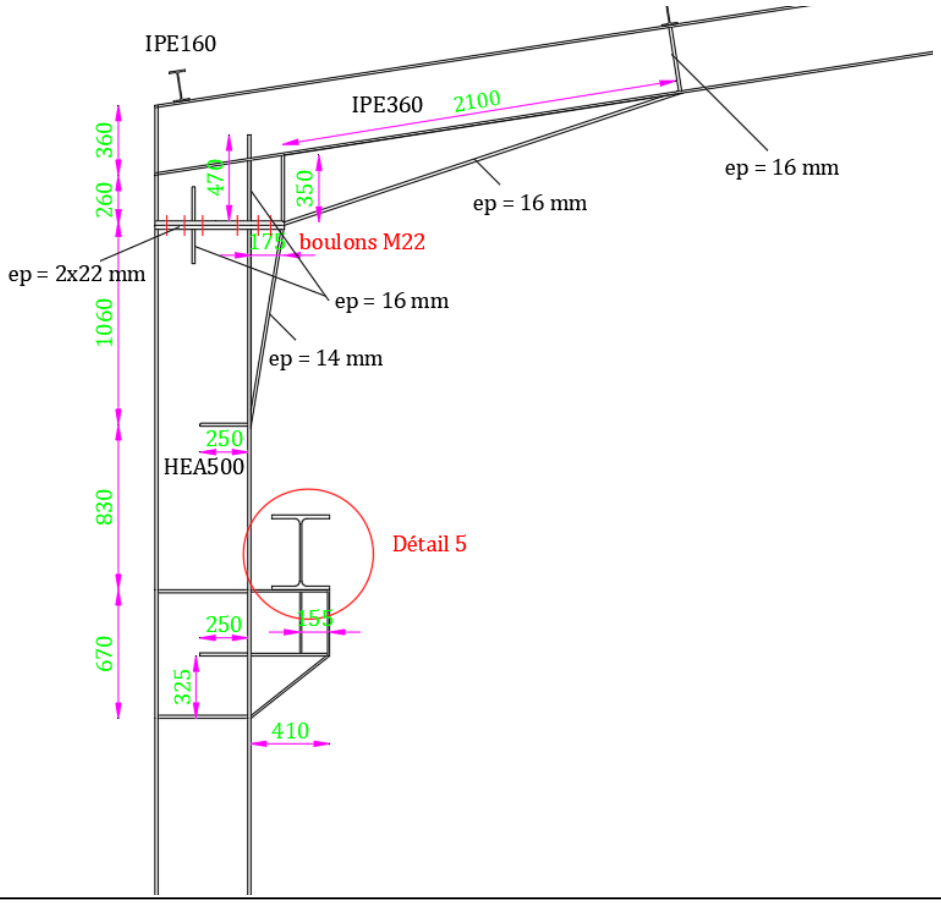
Un carnet de détail de la charpente visible en annexe 2c.



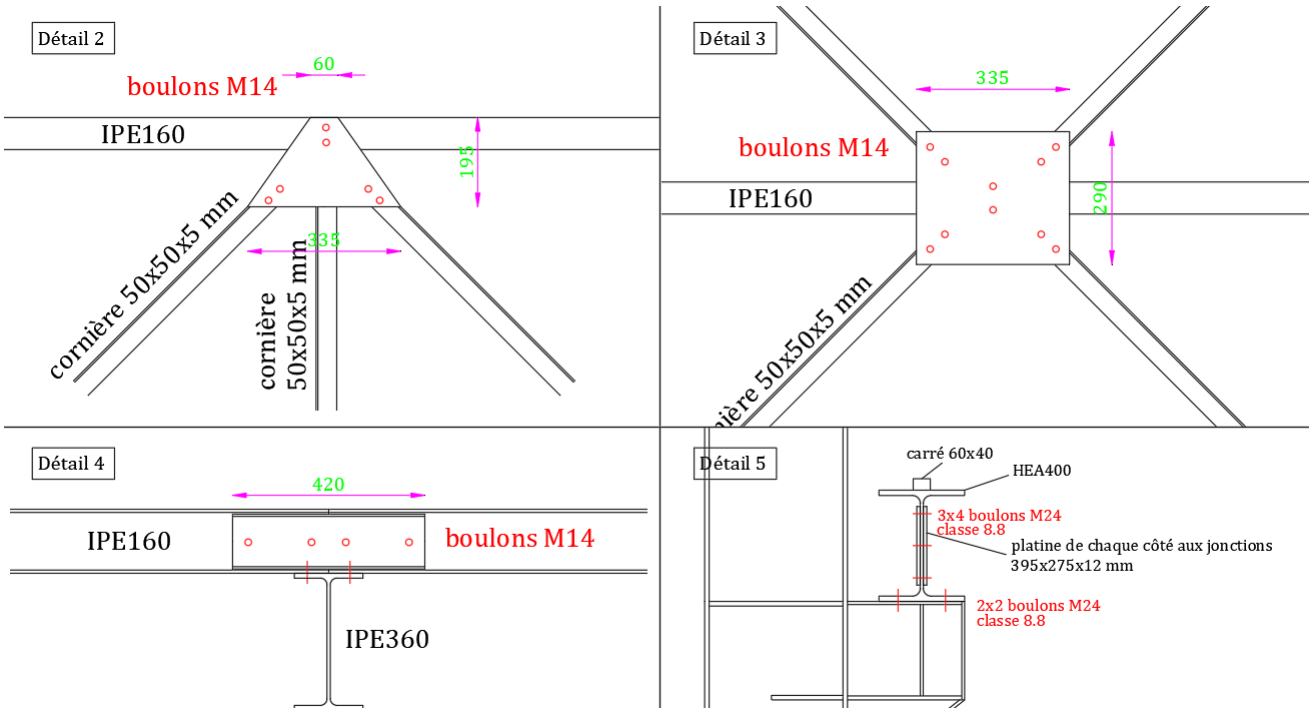
Vue en plan de la charpente



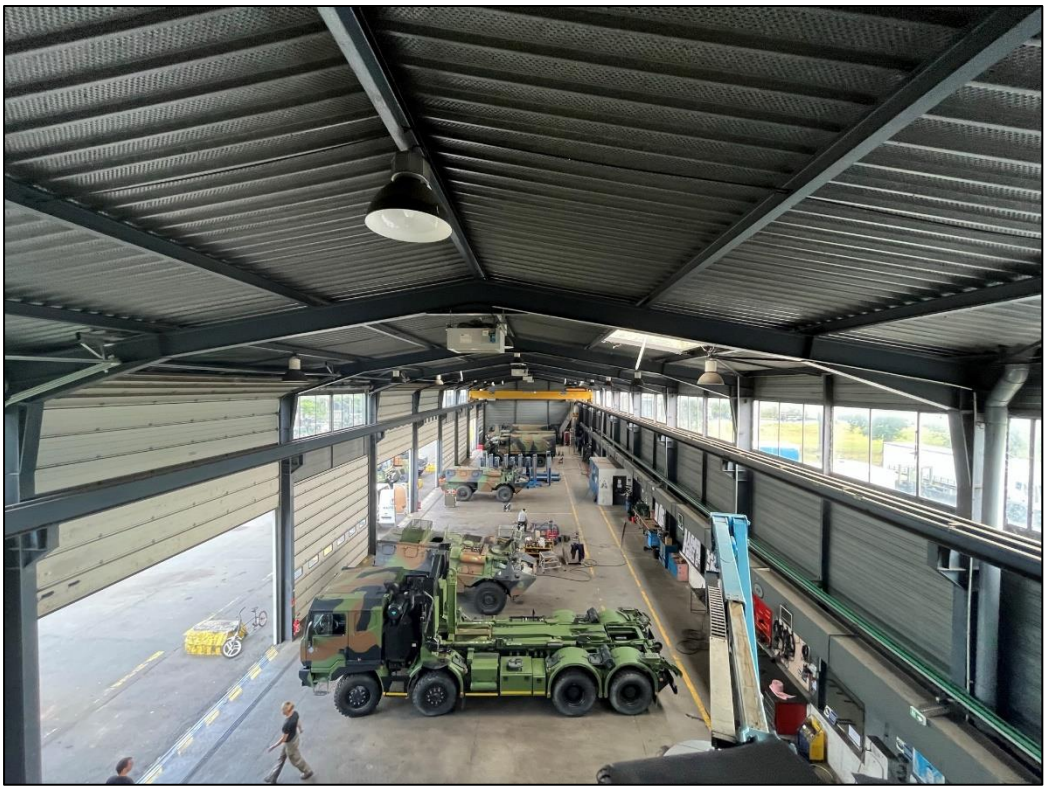
Coupe BB de la charpente



Détail 1



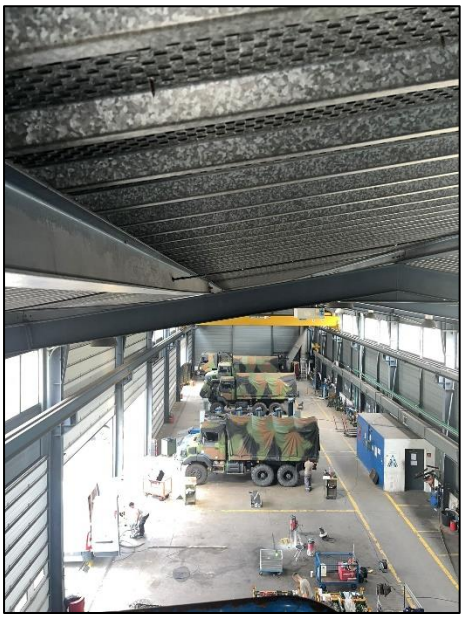
Détails 2 à 5



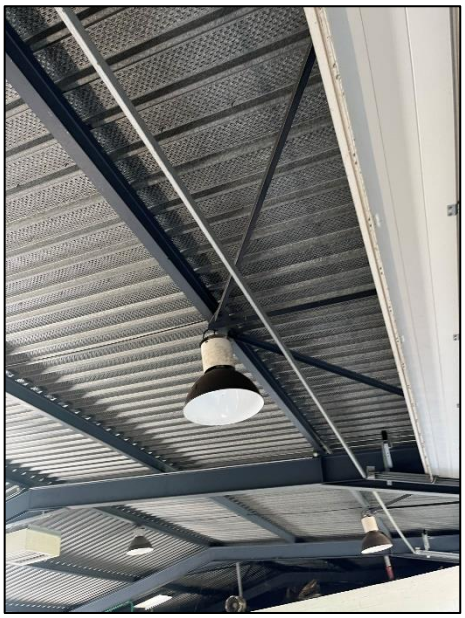
Vue générale de la charpente

Vue de la toiture depuis l'extérieur

Détail de l'assemblage arbalétrier sur poteau (Détail 1)



Lierne entre pannes



Contreventement

Poutre du pont roulant sur appui

Panne sur arbalétrier

Faitage

B. Reconnaissances du dallage

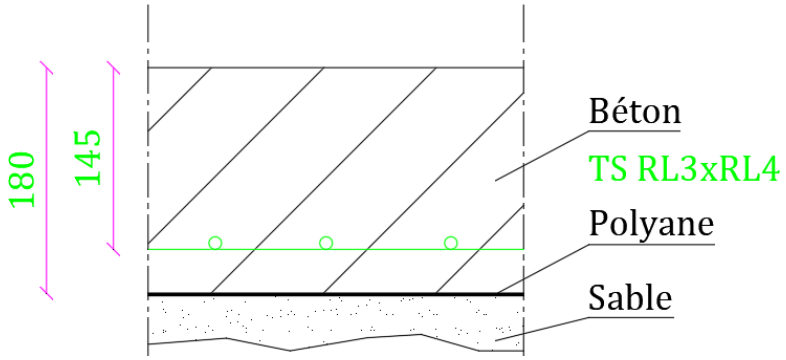
1. Caractéristiques du dallage

Des investigations ont été menées au niveau du dallage du hangar afin d'en définir les caractéristiques et permettre le recalcul de la capacité portante du dallage.

Ainsi, trois carottages ont été effectués pour définir la constitution du dallage, son ferraillage et estimer sa qualité.

Les résultats sont les suivants :

Carottage C7 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C7

Photographie du carottage C7

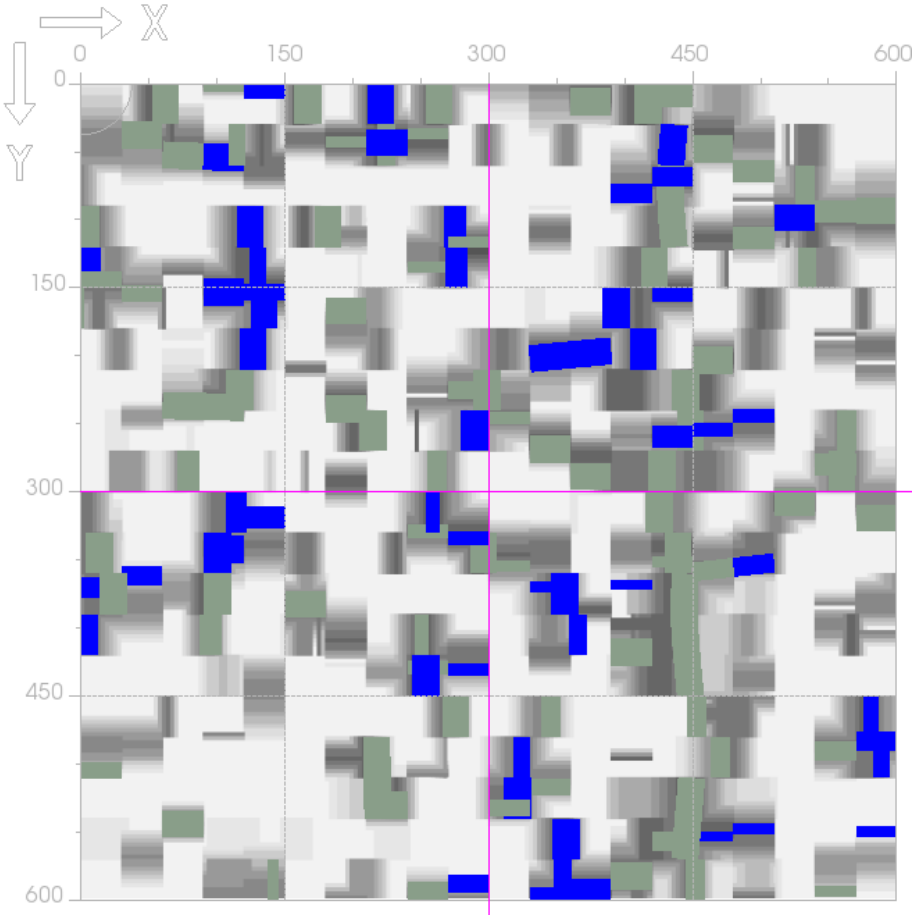
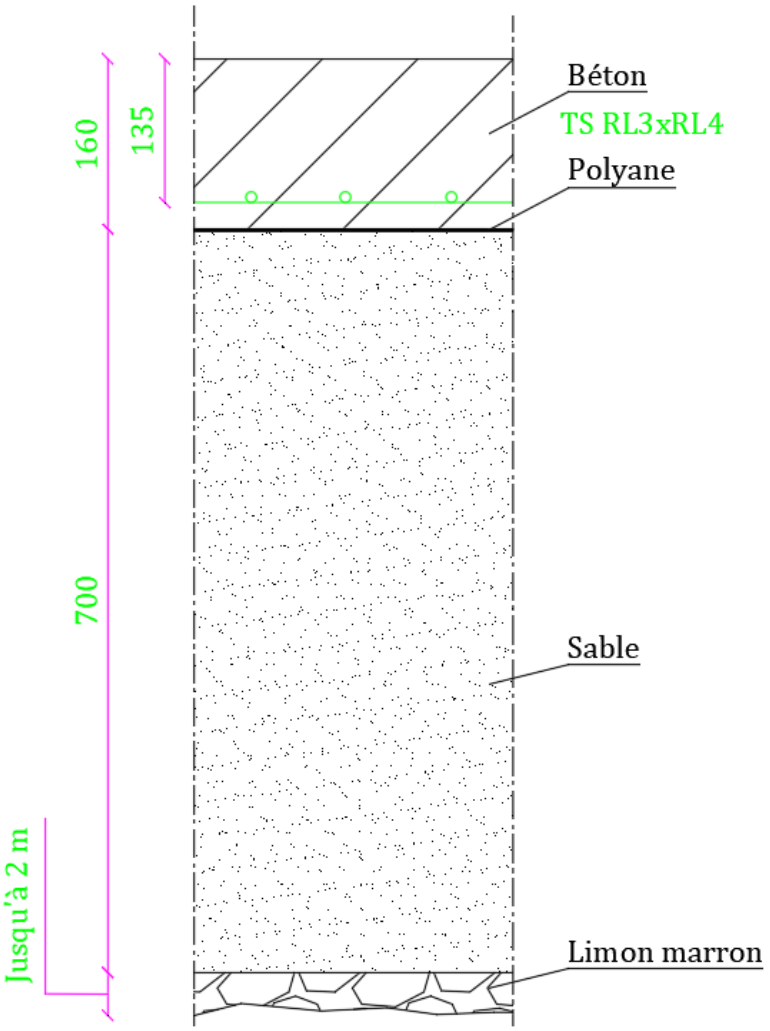


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C7
– ferraillage trop profond non détecté

Carottage C8 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C8

Photographie du carottage C8

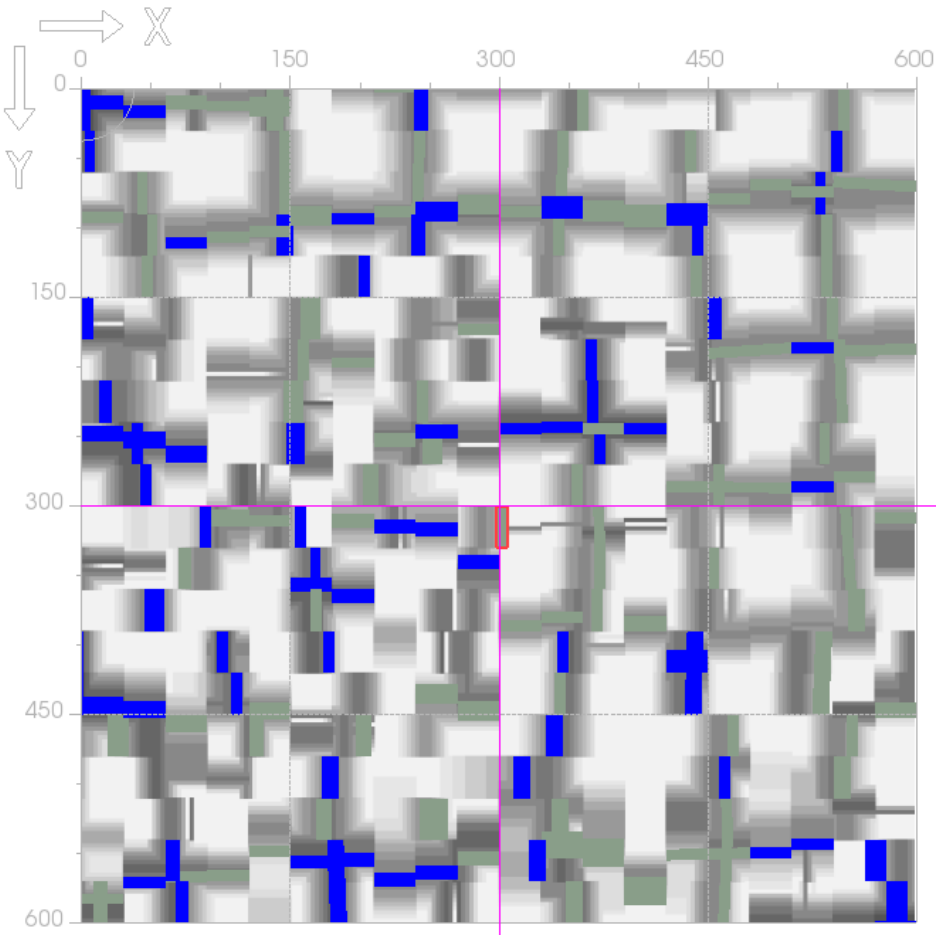
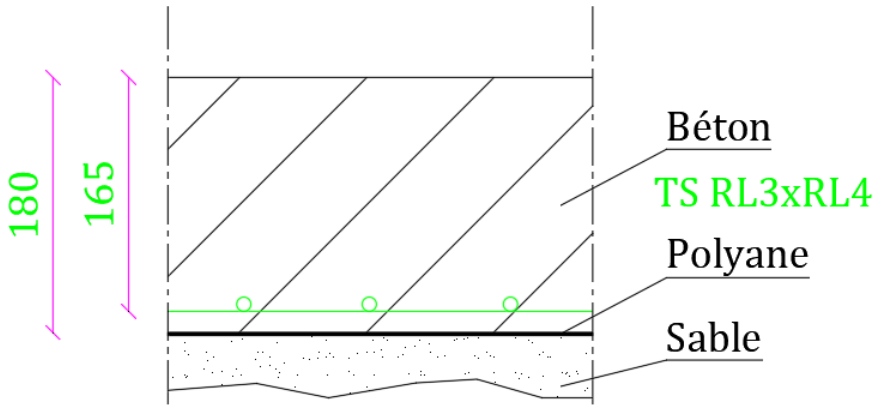
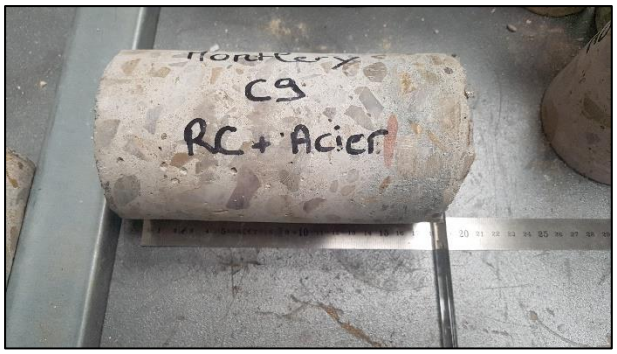


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C8
– ferraillage trop profond non détecté

Carottage C9 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C9



Photographie du carottage C9

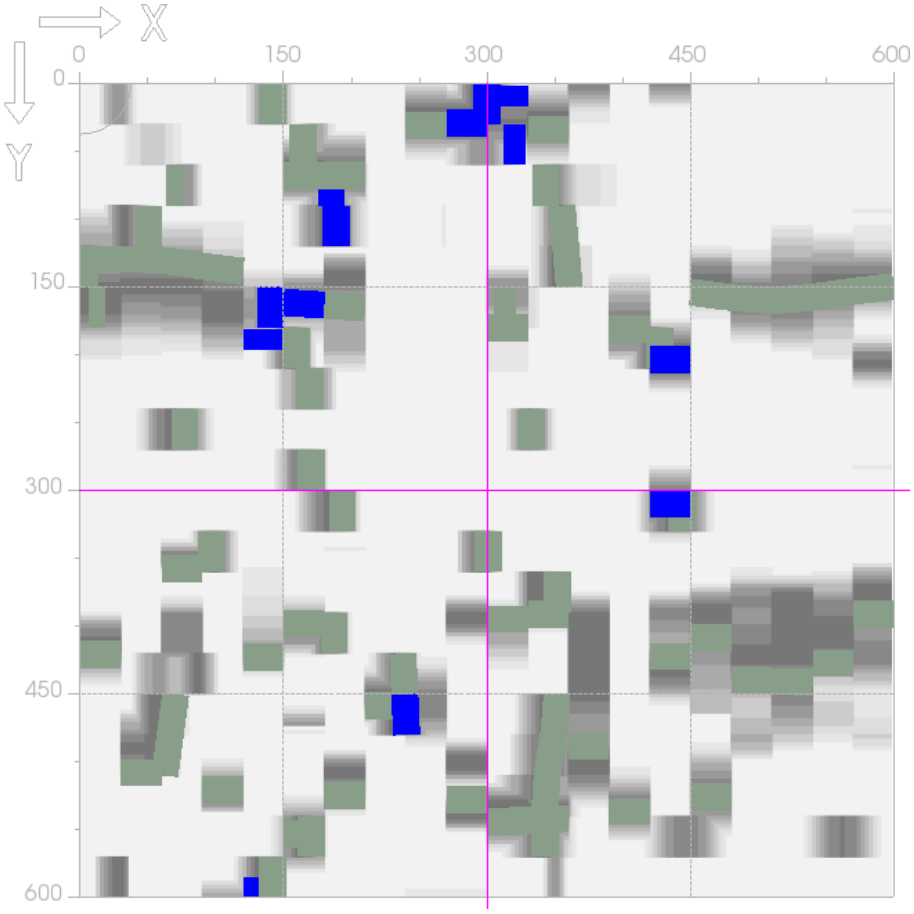


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C9
– ferraillage trop profond non détecté

2. Qualité du béton

Trois essais de compression ont été effectués sur les carottes afin d'avoir un avis sur la qualité du béton. Les prélèvements ont été rectifiés avant essai, la résistance indiquée est donc la résistance à cœur du béton. Les essais ont été réalisés conformément à la norme NF EN 12390-3, le 31/08/2022.

Les résultats sont les suivants :

Rectification pour la compression : Rectifieuse
Système de mesure : Presse controlab – 3000KN – classe 1

Prélèvement	Caractéristiques des éprouvettes				Densité	Charge à la rupture (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Conformité de la rupture	
	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)	H/D	Masse (g)				C	NC
C7	93	166	1.8	2541	2.25	190	27.9	X	
C8	73	146	2.0	1424	2.33	139	33.2	X	
C9	93	155	1.7	2471	2.35	209	30.0	X	
						Moyenne	30.4		

Classe de résistance estimée selon NF EN 206/CN = C30/37.

Nota (Rappel sur les recommandations de la norme NF EN 13791) :

Pour une zone d'essai donnée, l'évaluation de la résistance caractéristique à la compression des bétons doit reposer sur au moins 3 prélèvements. Ce nombre minimal de 3 éprouvettes se rapporte à des carottes ayant un diamètre d'au moins 100 mm. Lorsque le diamètre des carottes est inférieur à 100 mm, la norme NF EN 13791 recommande d'augmenter le nombre de carottes. La recommandation repose sur le nombre de prélèvements à retenir en fonction du diamètre : N = -(0,12 x Ø) + 15 avec Ø en mm. Ex : pour un diamètre Ø = 71 mm, un nombre minimum de 7 prélèvements doit être réalisé afin d'évaluer la résistance caractéristique à la compression des bétons selon les recommandations de la norme NF EN 13791.

3. Essai pressiométrique

Un essai pressiométrique a été réalisé sous le dallage dans le carottage C8 afin de déterminer le module Em du sol sous-jacent.

Il s'avère que le sol sous-jacent est constitué de sable sur 70 cm puis de limon marron.

Les résultats des essais sont les suivants :

SP3 (dans le carottage C8) :

Type de sonde : Sonde 44 - Tube fendu Ø 55mm
Type de forage : (type de forage inconnu)
Inertie : 1 (du 27/06/2022)
Calibrage : calibrage (du 31/05/2022)

Profondeur de l'essai (-Zs) : 1.35 m
Hauteur du C.P.V. (Zc) : 1.60 m
Nappe d'eau (-Zw) : Inconnu

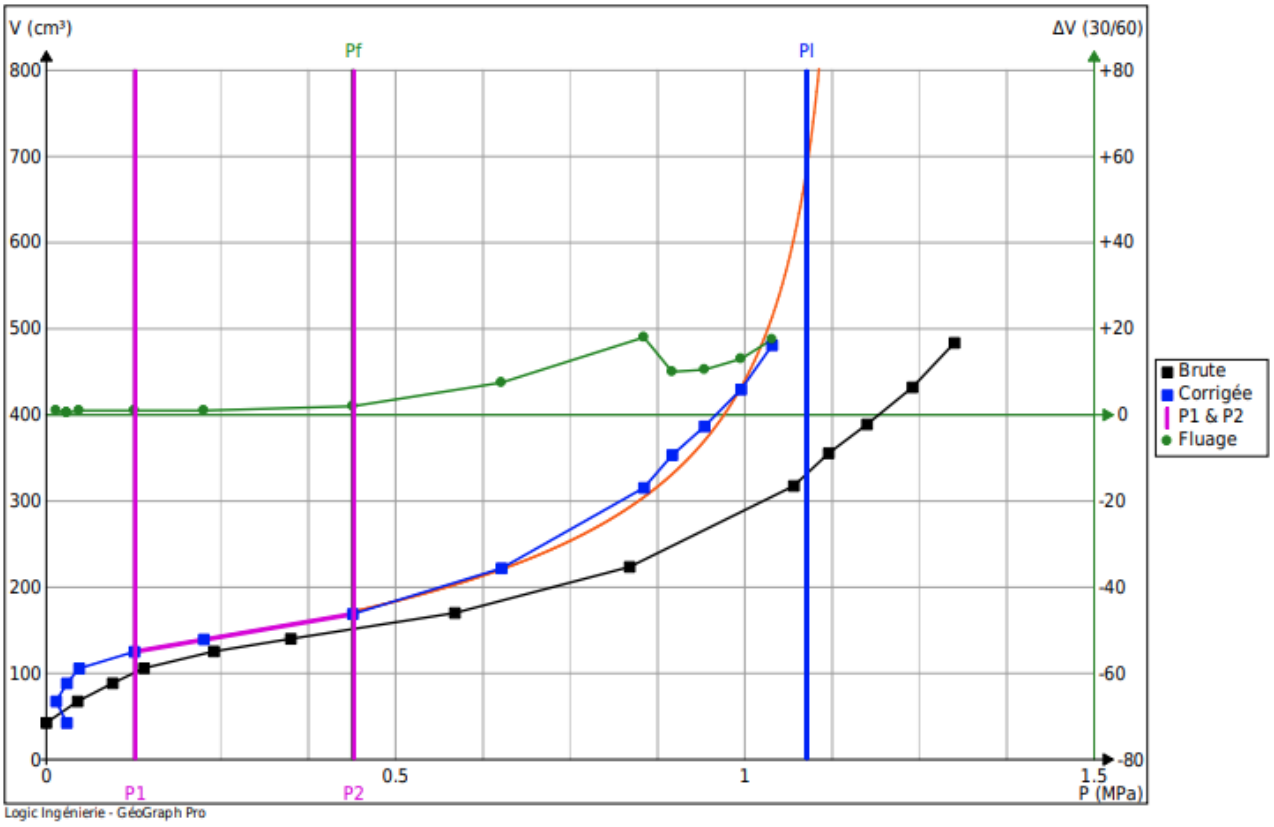
Em (MPa) : 11.179
Pf* (MPa) : 0.427
Pl* (MPa) : 1.077

Em/Pl* : 10.380
Pl*/Pf* : 2.524
σhs (MPa) : 0.012
Pel (MPa) : 0.322
Vel (cm³) : 550

P1 (MPa) : 0.126
V1 (cm³) : 125.0
P2 (MPa) : 0.439
V2 (cm³) : 168.8

Vs (cm³) : 441.9
a (cm³/MPa) : 2.00
Vc (cm³) : 113.0
ls (mm) : 210
di (mm) : 58

Valeurs brutes	P (MPa)	0.000	0.045	0.095	0.140	0.240	0.350	0.585	0.835	1.070	1.120	1.175	1.240	1.300
	V (cm³)	42.5	67.5	88.5	106.0	125.5	140.0	170.0	223.5	317.5	355.5	389.0	432.0	483.5
Valeurs corrigées	P (MPa)	0.030	0.014	0.030	0.047	0.126	0.226	0.439	0.652	0.856	0.896	0.942	0.995	1.039
	V (cm³)	42.5	67.4	88.3	105.7	125.0	139.3	168.8	221.8	315.4	353.3	386.6	429.5	480.9



4. Synthèse

C7, C8 et C9 :

- Dallage en béton armé de 16 cm à 18 cm d'épaisseur
- Qualité du béton estimée C30/37
- Ferraillage en place : RL3xRL4, esp = NC
- Présence de joints de retraits
- Module Em à -1,00 m = 11,18 MPa

V. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – BÂTIMENT 435

A. Reconnaissance de la charpente

Le bâtiment 435 est constitué d'une zone hangar et d'une zone de bureau.

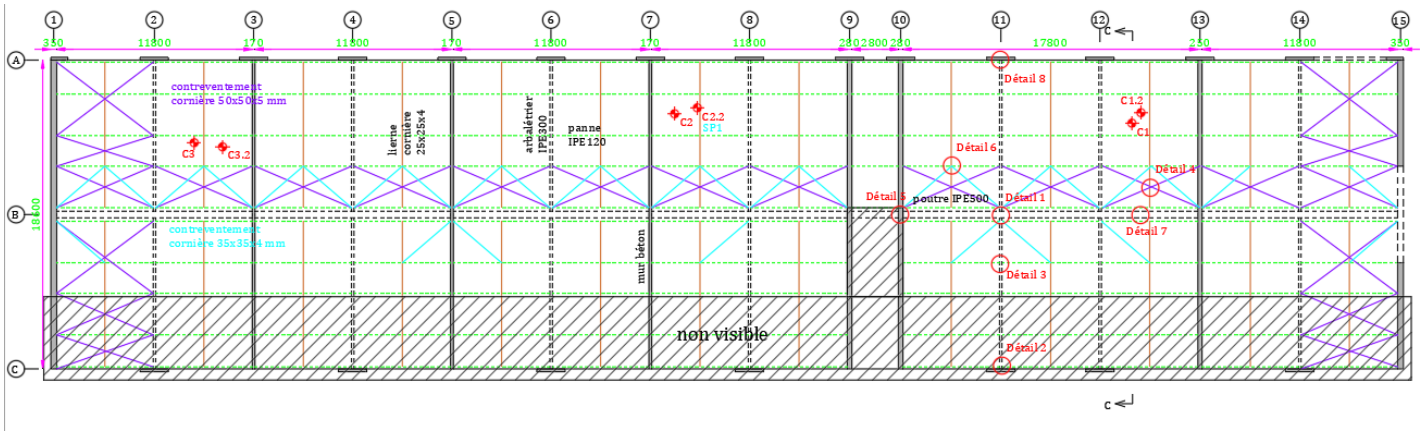
Bâtiment 435

La charpente métallique du hangar est constituée d'une poutre principale au faitage en IPE 500 reposant sur des murs de refend en béton. Des arbalétriers en IPE300 prennent appui sur le profilé IPE500 au faitage et reposent sur des poteaux BA en rive.

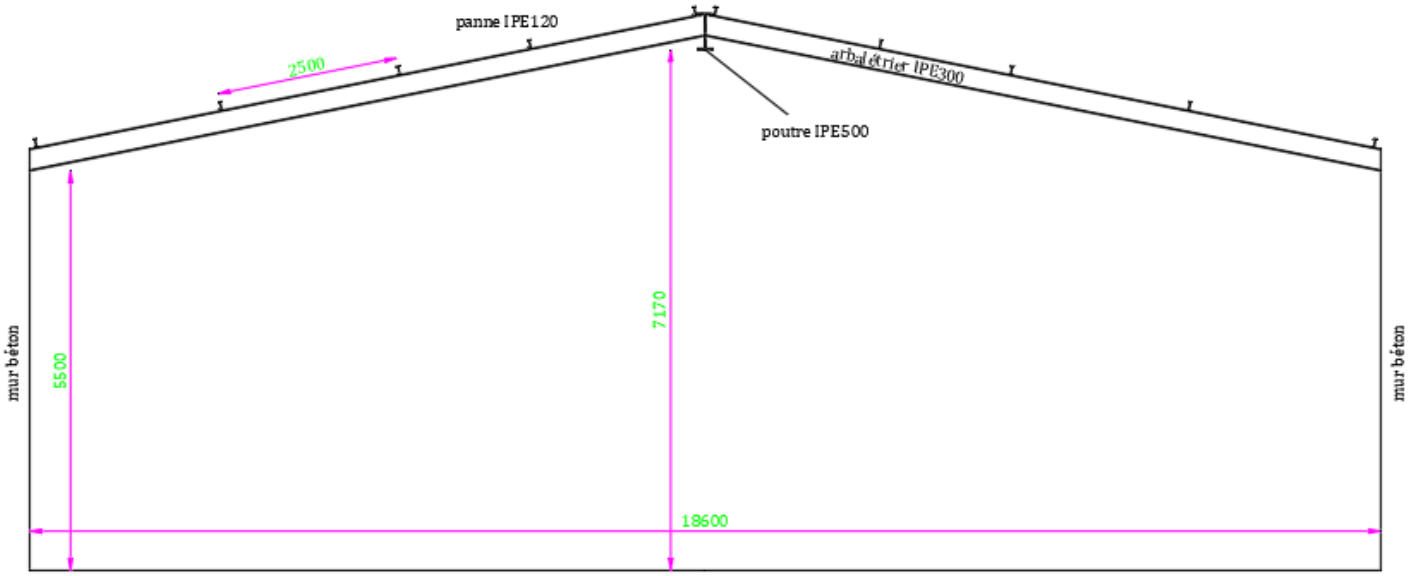
Les pannes de la charpente sont des IPE120 et la couverture est en panneau sandwich isolé (polystyrène).

Les relevés ont permis de réaliser les plans et coupes suivants :

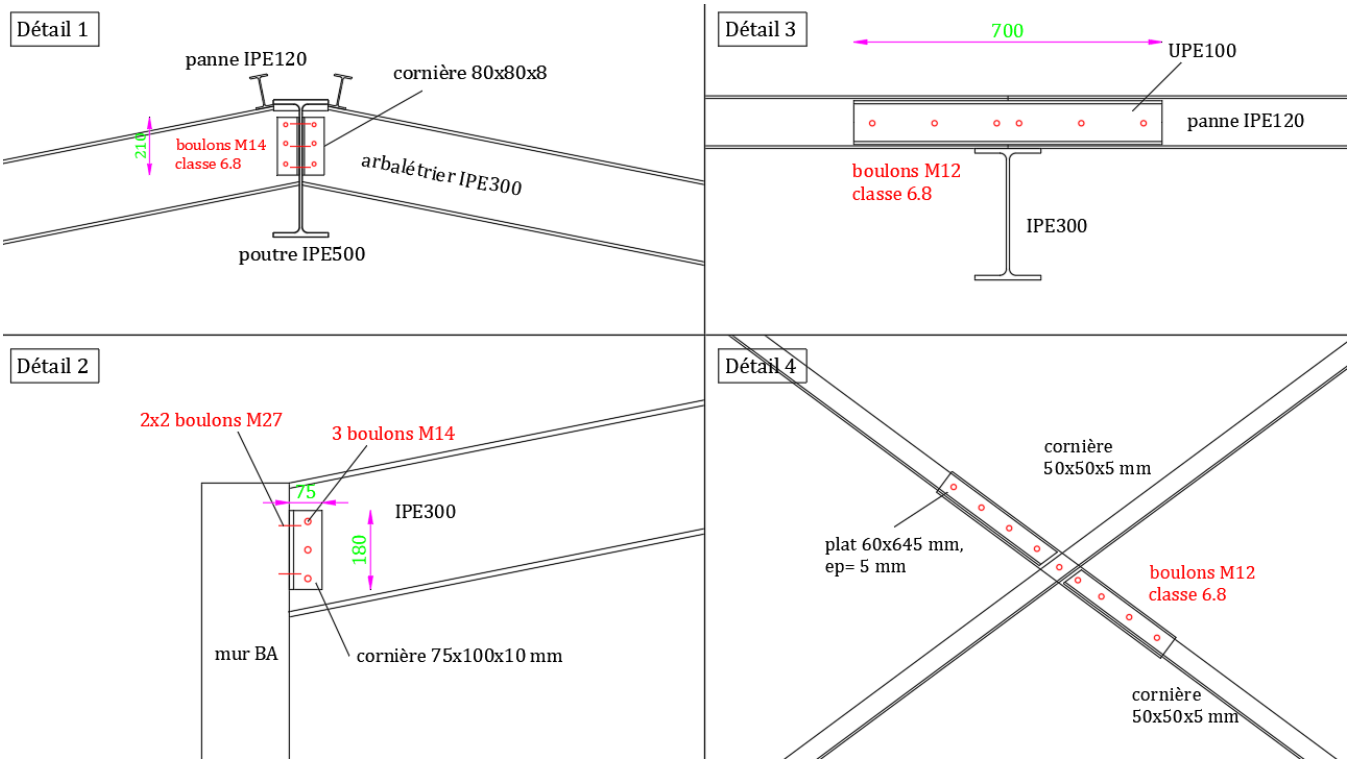
Une vue en plan de la charpente visible en annexe 3a.
Une coupe AA de la charpente visible en annexe 3b.
Un carnet de détail de la charpente visible en annexe 3c.



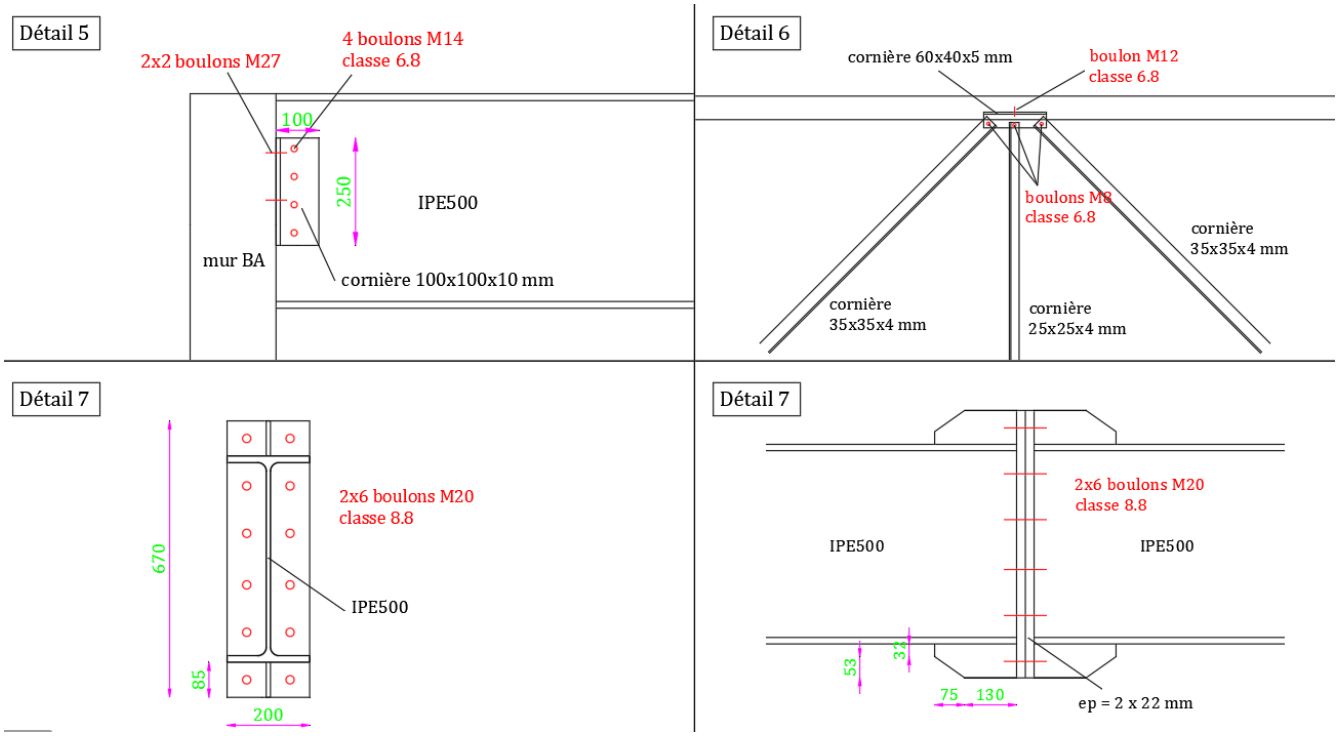
Vue en plan de la charpente



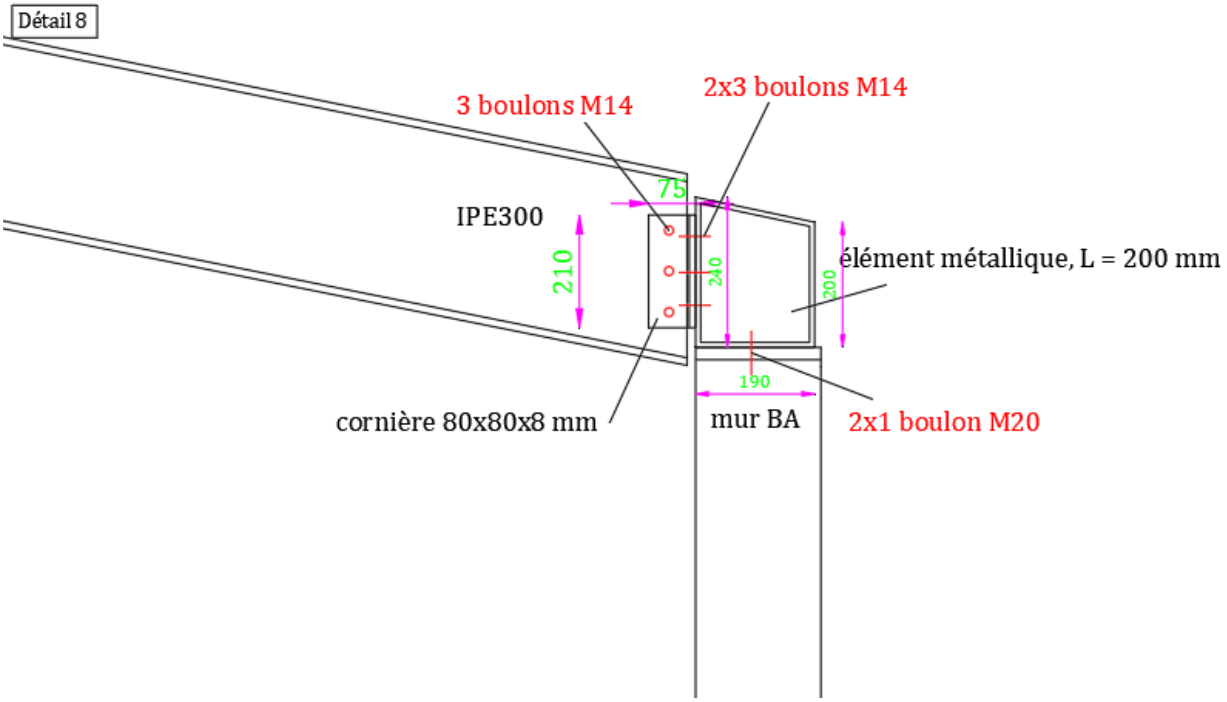
Coupe CC de la charpente



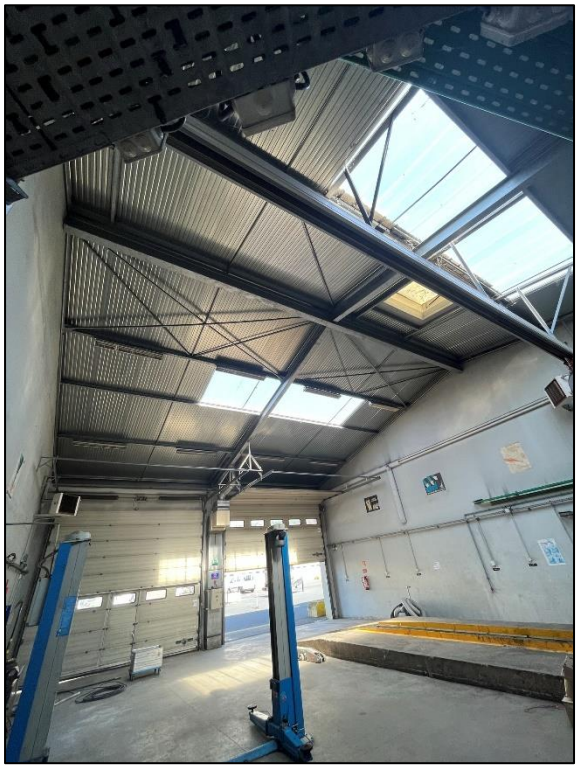
Détails 1 à 4

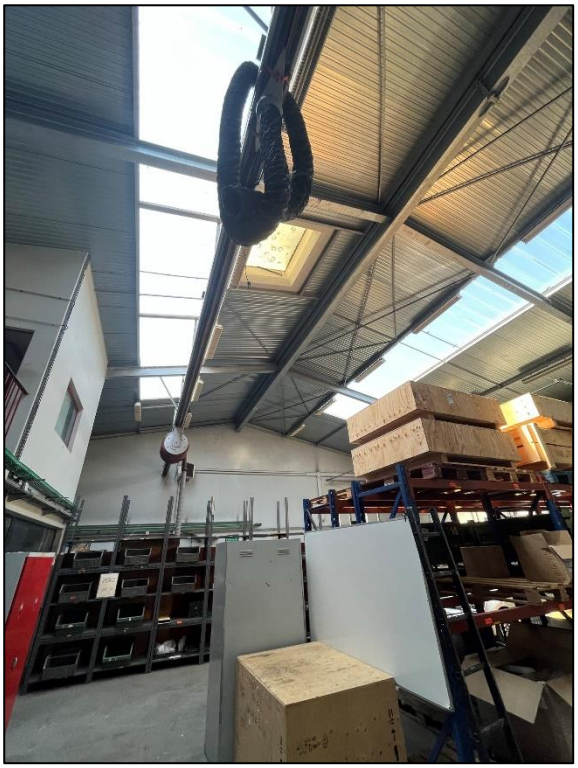


Détails 5 à 7



Détail 8



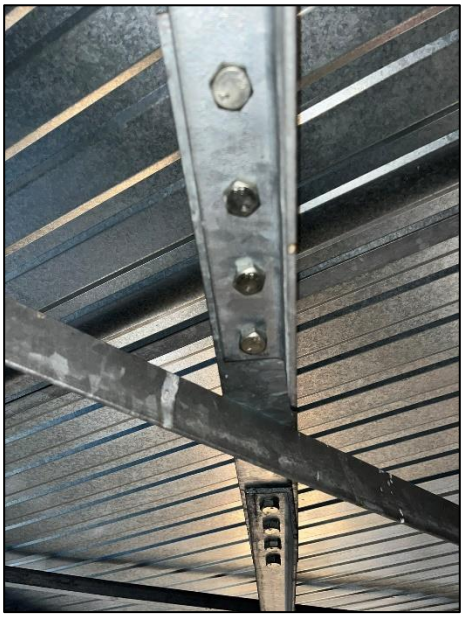


Vues générales de la charpente

Détail 1

Assemblage contreventement

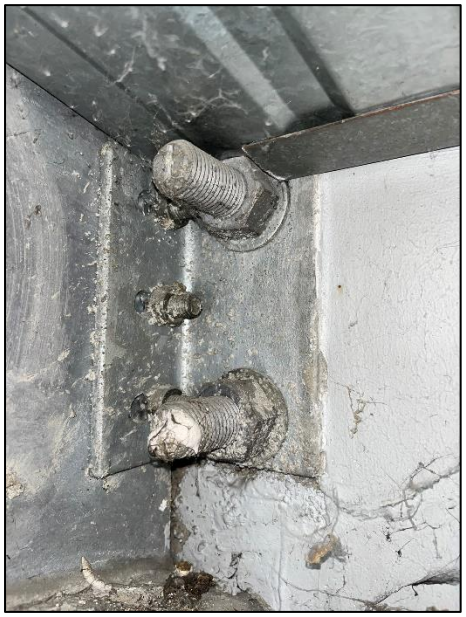
Détail 6



Détail 4

IPE 500 au faitage

Détail 5



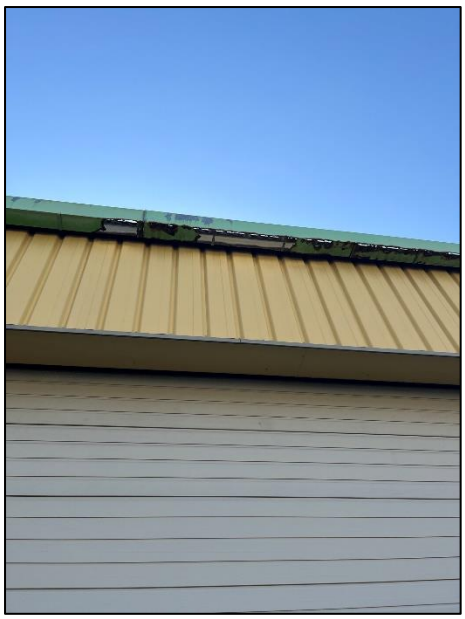
Détail 2

Détail 8

Détail 7

Détail 3

Couverture



Chéneaux complètement dégradés

Infiltrations dans le bâtiment

Il a été constaté quelques désordres au niveau de ce bâtiment notamment au niveau des gouttières sur la façade avant du bâtiment qui sont à remplacer car complètement percées par la corrosion. De même, il a été constaté des infiltrations d'eaux dans les 3 cages d'escalier du bâtiment entrainant le cloquage des peintures et la ruine des faux plafonds. Le phénomène doit être traité avant qu'il n'affecte la structure.

B. Reconnaissances du dallage

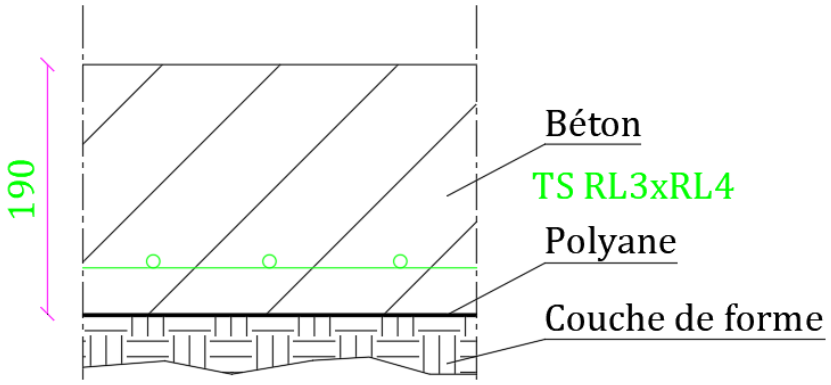
1. Caractéristiques du dallage

Des investigations ont été menées au niveau du dallage du hangar afin d'en définir les caractéristiques et permettre le recalcul de la capacité portante du dallage.

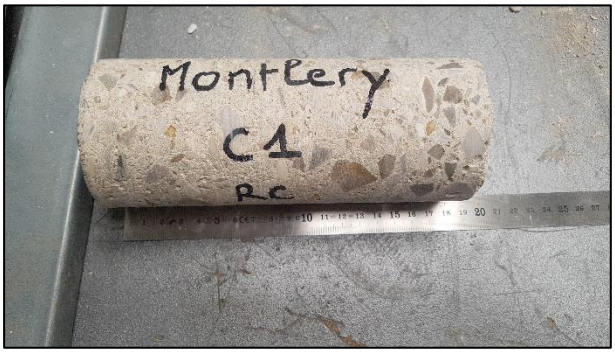
Ainsi, trois carottages ont été effectués pour définir la constitution du dallage, son ferraillage et estimer sa qualité.

Les résultats sont les suivants :

Carottage C1 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C1



Photographie du carottage C1

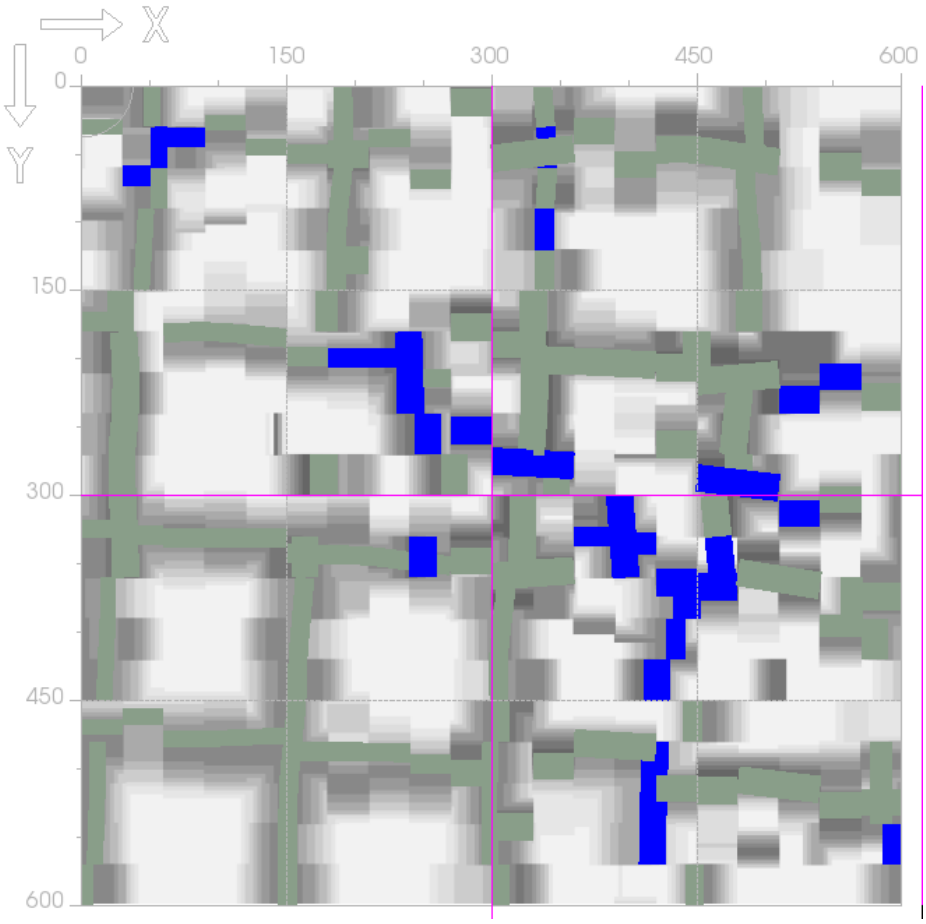
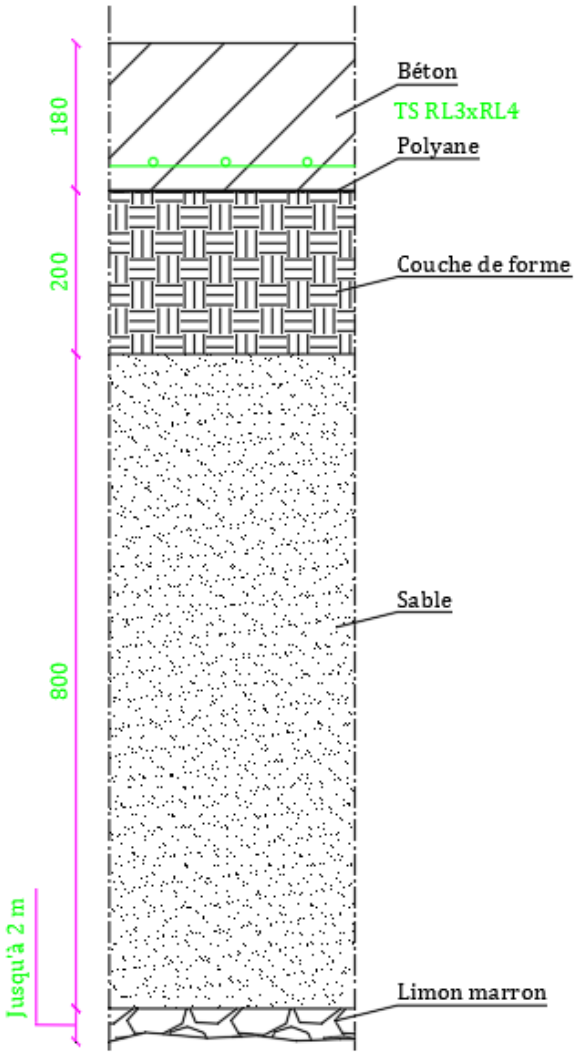


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C1
– ferraillage trop profond, non détecté

Carottage C2 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C2

Photographie du carottage C2

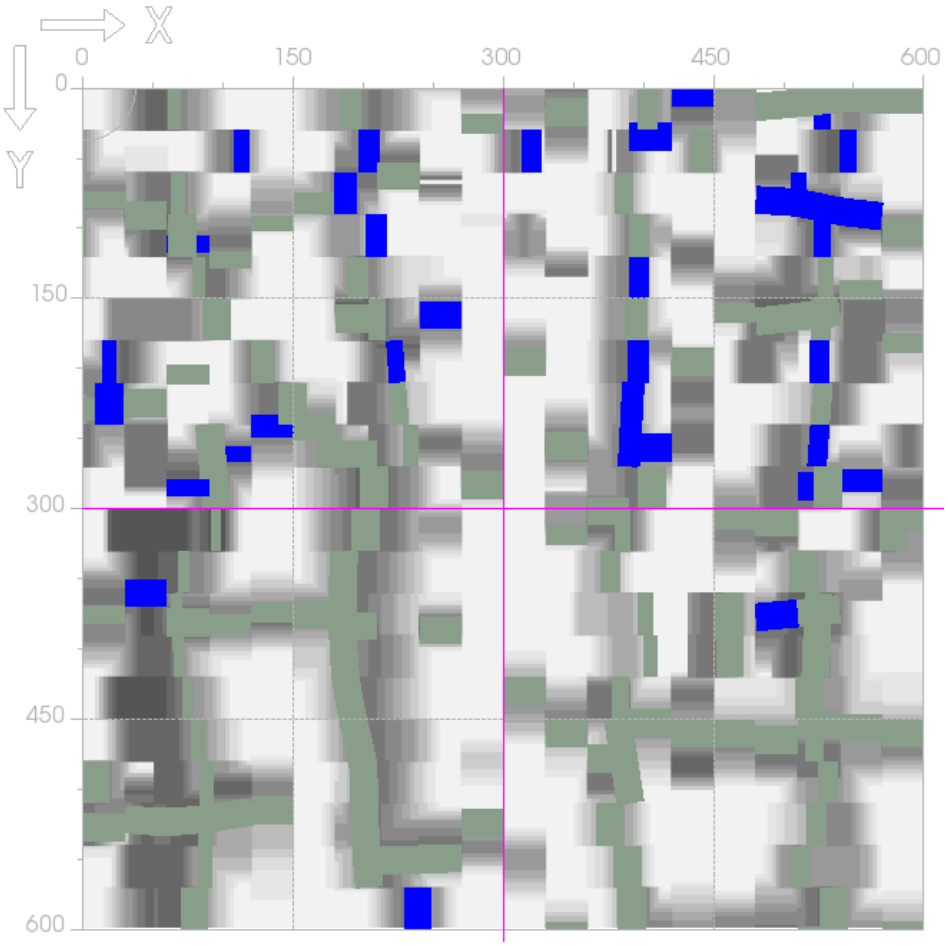
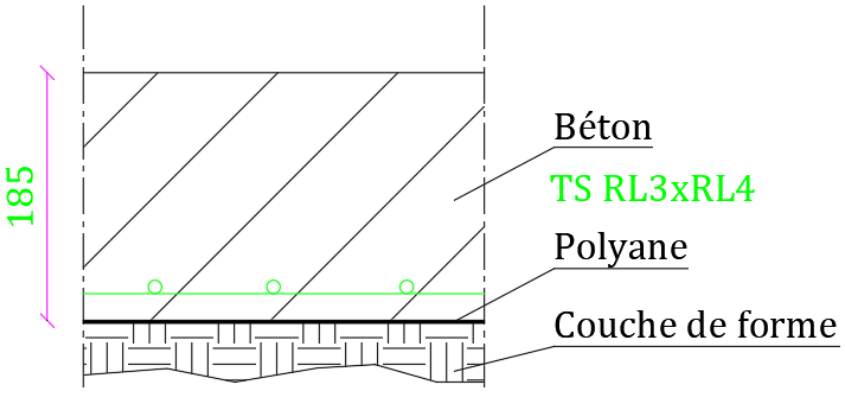


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C2
– maillage 15x15 cm

Carottage C3 : dallage béton armé



Coupe schématique du dallage au droit du carottage C3

Photographie du carottage C3

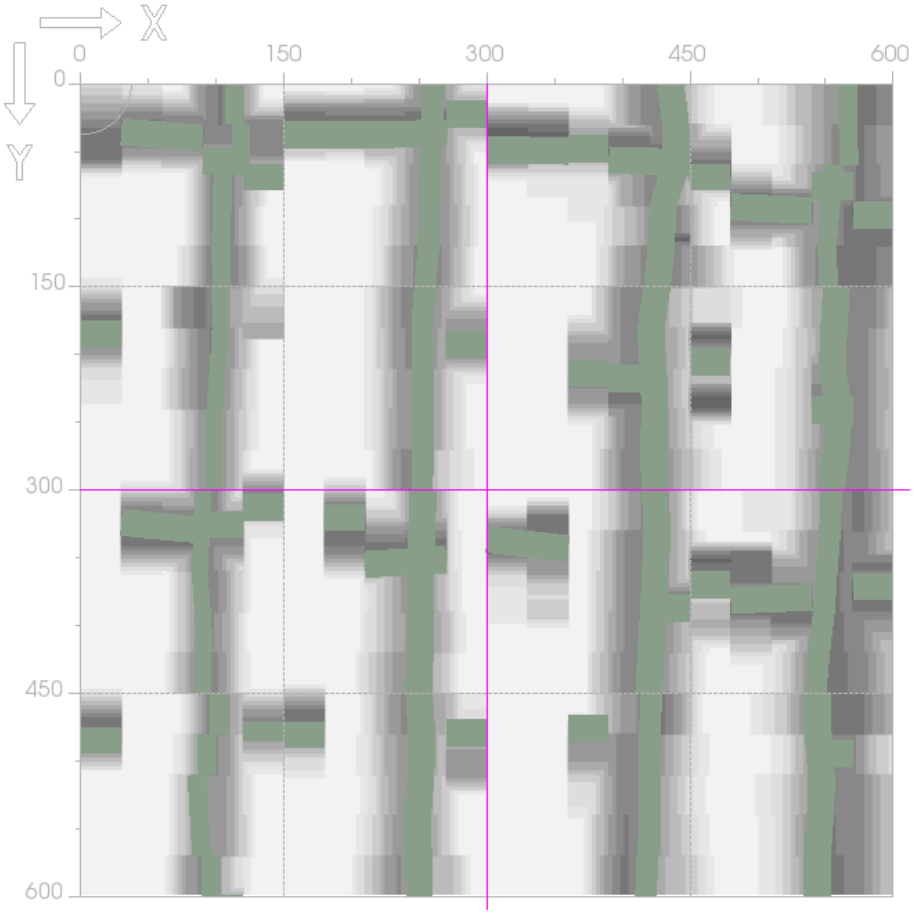


Image ferroscan en surface du dallage au droit de C3
– maillage 15x15 cm

2. Qualité du béton

Trois essais de compression ont été effectués sur les carottes afin d'avoir un avis sur la qualité du béton. Les prélèvements ont été rectifiés avant essai, la résistance indiquée est donc la résistance à cœur du béton. Les essais ont été réalisés conformément à la norme NF EN 12390-3, le 31/08/2022.

Les résultats sont les suivants :

Rectification pour la compression : Rectifieuse
Système de mesure : Presse controlab – 3000KN – classe 1

Prélèvement	Caractéristiques des éprouvettes				Densité	Charge à la rupture (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Conformité de la rupture	
	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)	H/D	Masse (g)				C	NC
C1	73	173	2.4	1584	2.19	70	17.3	X	
C2	73	164	2.2	1525	2.22	97	23.3	X	
C3	73	177	2.4	1683	2.27	83	19.9	X	
						Moyenne	20.2		

Classe de résistance estimée selon NF EN 206/CN = C20/25.

Nota (Rappel sur les recommandations de la norme NF EN 13791) :

Pour une zone d'essai donnée, l'évaluation de la résistance caractéristique à la compression des bétons doit reposer sur au moins 3 prélèvements. Ce nombre minimal de 3 éprouvettes se rapporte à des carottes ayant un diamètre d'au moins 100 mm. Lorsque le diamètre des carottes est inférieur à 100 mm, la norme NF EN 13791 recommande d'augmenter le nombre de carottes. La recommandation repose sur le nombre de prélèvements à retenir en fonction du diamètre : N = -(0,12 x Ø) + 15 avec Ø en mm. Ex : pour un diamètre Ø = 71 mm, un nombre minimum de 7 prélèvements doit être réalisé afin d'évaluer la résistance caractéristique à la compression des bétons selon les recommandations de la norme NF EN 13791.

3. Essai pressiométrique

Un essai pressiométrique a été réalisé sous le dallage dans le carottage C2 afin de déterminer le module Em du sol sous-jacent.

Il s'avère que le sol sous-jacent est constitué d'une couche de forme d'environ 20 cm puis de sable sur 80 cm puis de limon marron.

Les résultats des essais sont les suivants :

SP1 (dans le carottage C2) :

Type de sonde : Sonde 44 - Tube fendu Ø 55mm
Type de forage : (type de forage inconnu)
Inertie : 1 (du 27/06/2022)
Calibrage : calibrage (du 31/05/2022)

Profondeur de l'essai (-Zs) : 1.30 m
Hauteur du C.P.V. (Zc) : 1.60 m
Nappe d'eau (-Zw) : Inconnu

Em (MPa) : 8.420
Pf* (MPa) : 0.562
Pl* (MPa) : ≥ 0.843

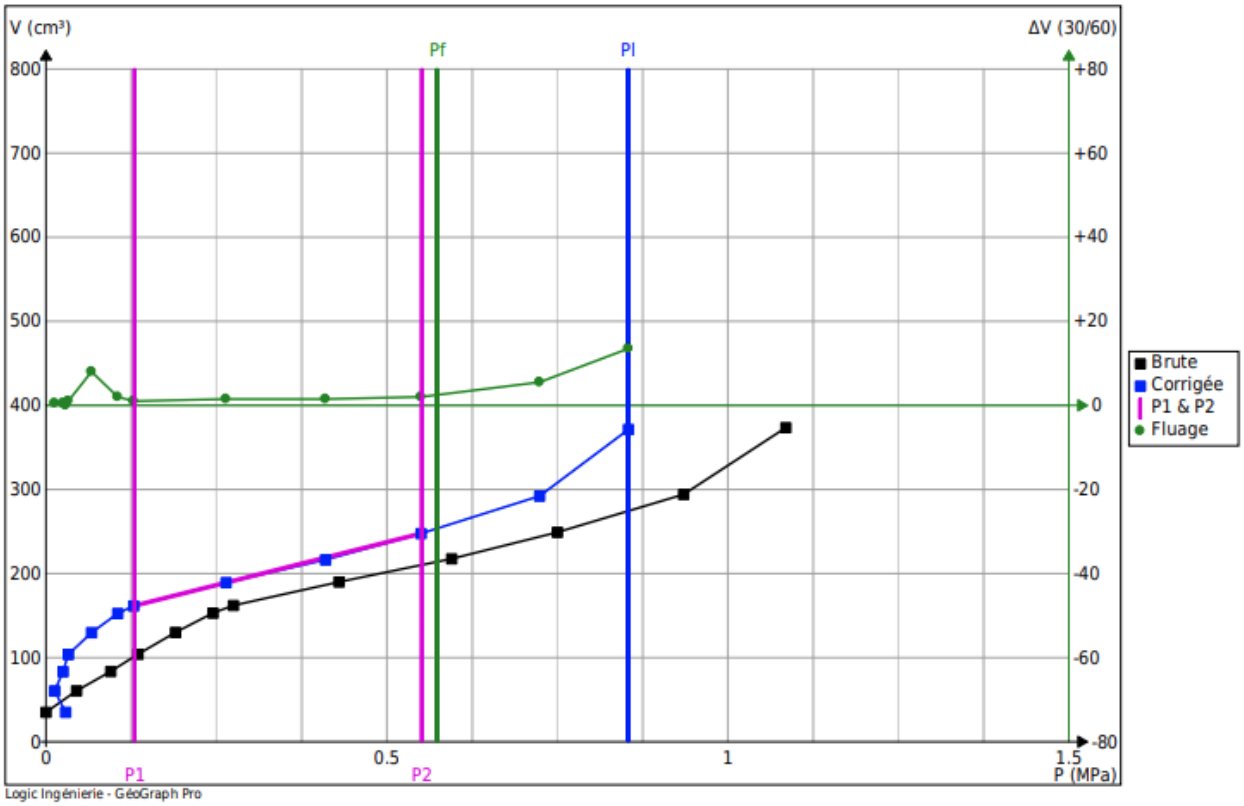
Em/Pl* : ≤ 9.994
Pl*/Pf* : ≥ 1.499
σhs (MPa) : 0.012
Pel (MPa) : 0.322
Vel (cm³) : 550

P1 (MPa) : 0.129
V1 (cm³) : 161.4
P2 (MPa) : 0.550
V2 (cm³) : 247.5

Vs (cm³) : 441.9
a (cm³/MPa) : 2.00
Vc (cm³) : 113.0
ls (mm) : 210
di (mm) : 58

Valeurs brutes	P (MPa)	0.000	0.045	0.095	0.135	0.190	0.245	0.275	0.430	0.595	0.750	0.935	1.085
	V (cm³)	35.0	60.5	83.5	104.0	130.0	153.0	162.0	190.0	217.5	249.0	294.0	373.5

Valeurs corrigées	P (MPa)	0.029	0.013	0.025	0.033	0.067	0.105	0.129	0.264	0.410	0.550	0.724	0.854
	V (cm³)	35.0	60.4	83.3	103.7	129.6	152.5	161.4	189.1	216.3	247.5	292.1	371.3



4. Synthèse

C1, C2 et C3 :

- Dallage en béton armé de 18 cm à 19 cm d'épaisseur
- Qualité du béton estimée C20/25
- Ferraillage en place : RL4xRL3, esp = 15 cm x 15 cm
- Présence de joints de retraits
- Module Em à -1,00 m = 8,42 MPa

VI. CONCLUSIONS

Un rapport de calcul est visible en annexe 4. La synthèse de calcul des charpentes et dallages des trois bâtiments objets de l'étude est visible ci-dessous.

	Charges maximum	Eléments critiques	Remarques
Charpente N° 1 (bâtiment 429)	46 kg /m²	pannes	Les portiques (arbalétrier/poteau) sont sur dimensionnés, cependant, il est possible que le pont roulant limite encore plus la charge des portiques. (Absence d'information sur le pont roulant)
Pont Roulant (bâtiment 429)	11,5 tonnes	Poutre support HEA 240	
Dallage N° 1 (bâtiment 429)	2,00 T /m² + 1,49 T en charge ponctuelle.	Traction dans le béton	Remblais peu compacts
Charpente N° 2 (bâtiment 430)	82 kg /m²	pannes	Les portiques (arbalétrier/poteau) sont sur dimensionnés, cependant, il est possible que le pont roulant limite encore plus la charge des portiques. (Absence d'information sur le pont roulant)
Pont Roulant (bâtiment 430)	16 tonnes	Poutre support HEA 400	Le pont roulant peut reprendre une charge de 24 tonnes mais nous le limiterons à 16 tonnes car nous n'avons pas toutes les caractéristiques du pont roulant
Dallage N° 2 (bâtiment 430)	2,00 T /m² + 2,02 T en charge ponctuelle.	Traction dans le béton	Remblais peu compacts
Charpente N° 3 (bâtiment 435)	14 kg /m²	pannes et bretelle	
Dallage N° 3 (bâtiment 435)	2,00 T /m² + 1,10 T en charge ponctuelle.	Traction dans le béton	Remblais peu compacts

VII. RECAPITULATIF DES ANNEXES

ANNEXE 1a : Vue en plan de la charpente du bâtiment 429
ANNEXE 1b : Coupe AA de la charpente du bâtiment 429
ANNEXE 1c : Détails de la charpente du bâtiment 429

ANNEXE 2a : Vue en plan de la charpente du bâtiment 430
ANNEXE 2b : Coupe BB de la charpente du bâtiment 430
ANNEXE 2c : Détails de la charpente du bâtiment 430

ANNEXE 3a : Vue en plan de la charpente du bâtiment 435
ANNEXE 3b : Coupe CC de la charpente du bâtiment 435
ANNEXE 3c : Détails de la charpente du bâtiment 435

ANNEXE 4 : Rapport de calcul

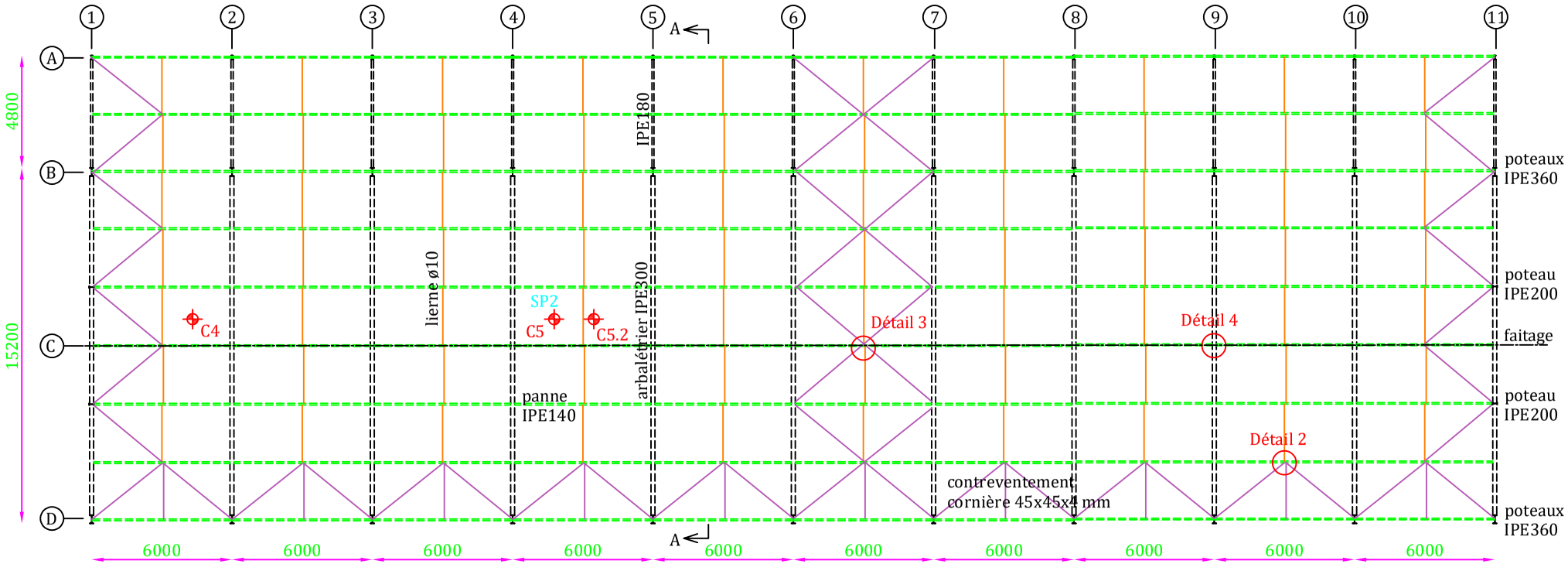
Le présent compte rendu doit permettre au maitre d'œuvre d'envisager un programme de réhabilitation de l'ouvrage.

MasterDiag se tient à la disposition du client pour toutes informations sur le présent compte rendu.

L.BOUR
Ingénieur structure

Vue en plan de la charpente - Bâtiment 429

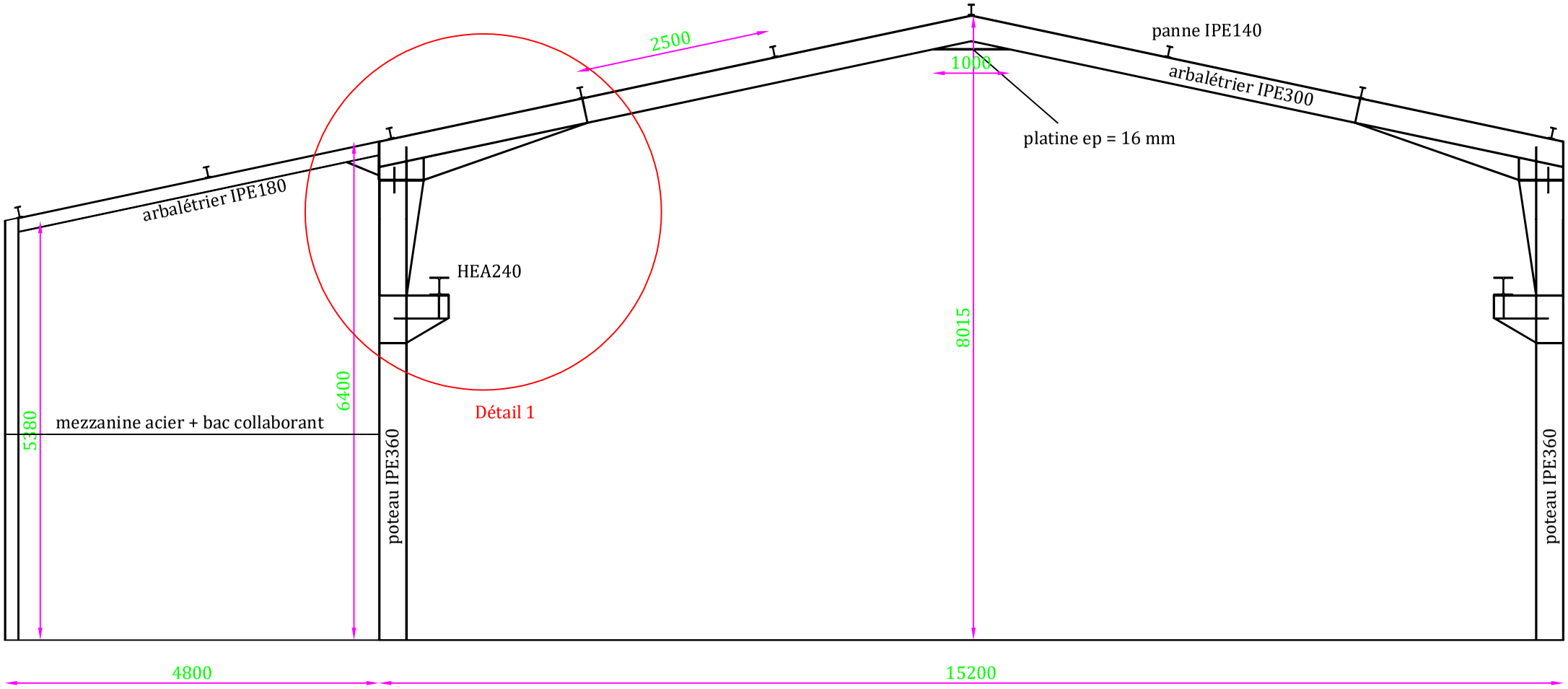
ANNEXE 1a



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

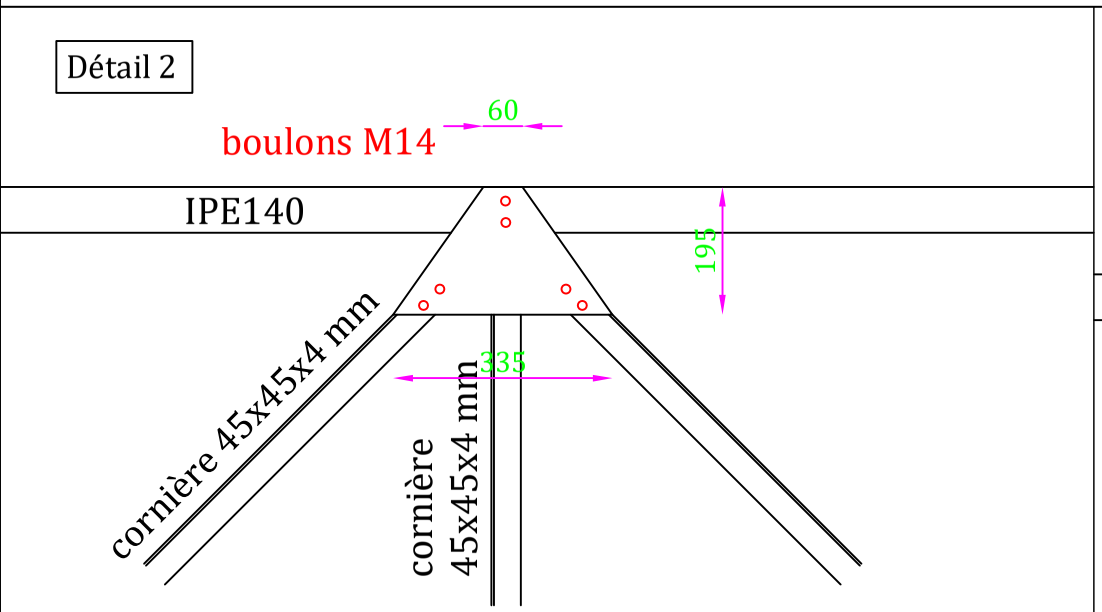
Coupe AA de la charpente - Bâtiment 429

ANNEXE 1b

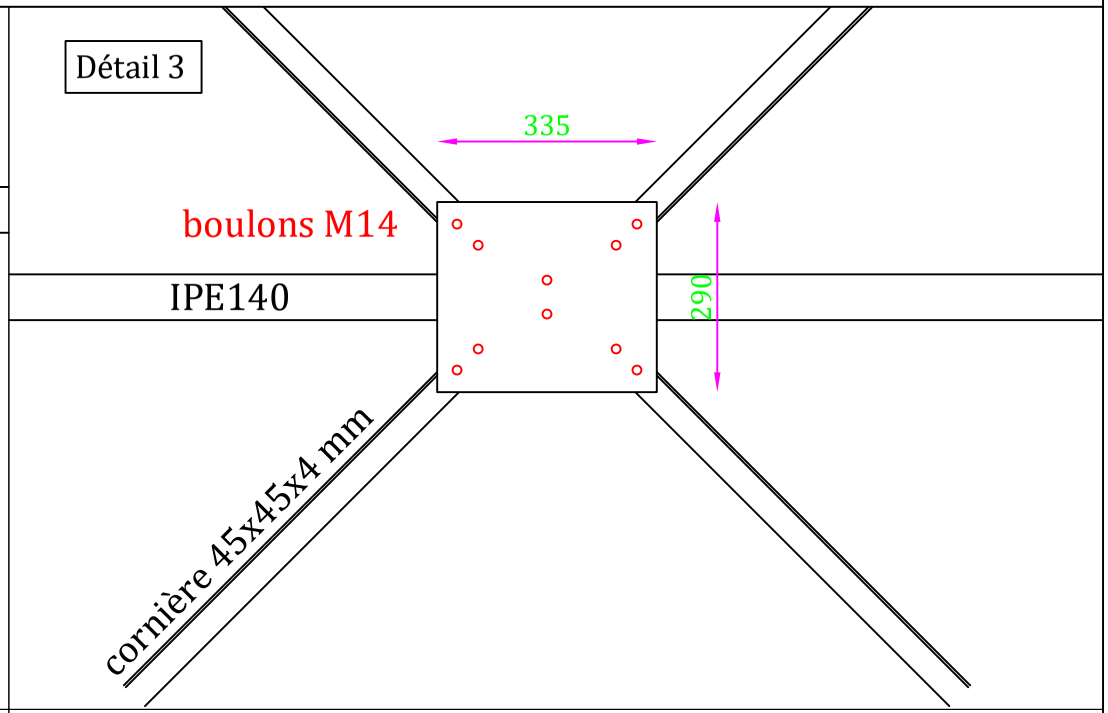


Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

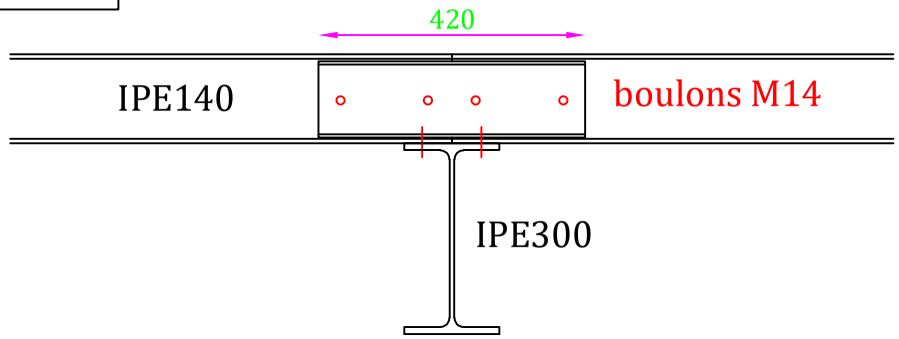
Détail 2



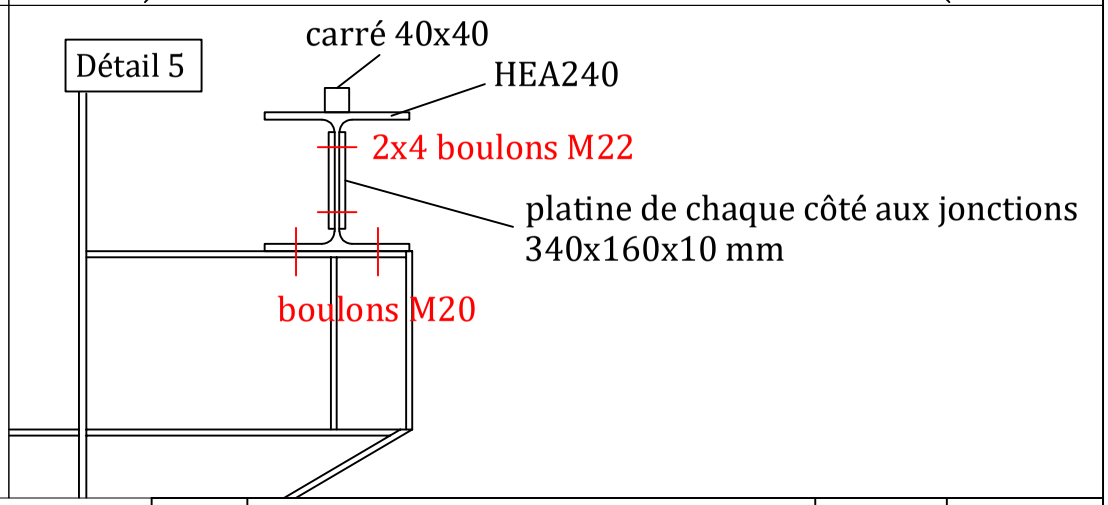
Détail 3



Détail 4

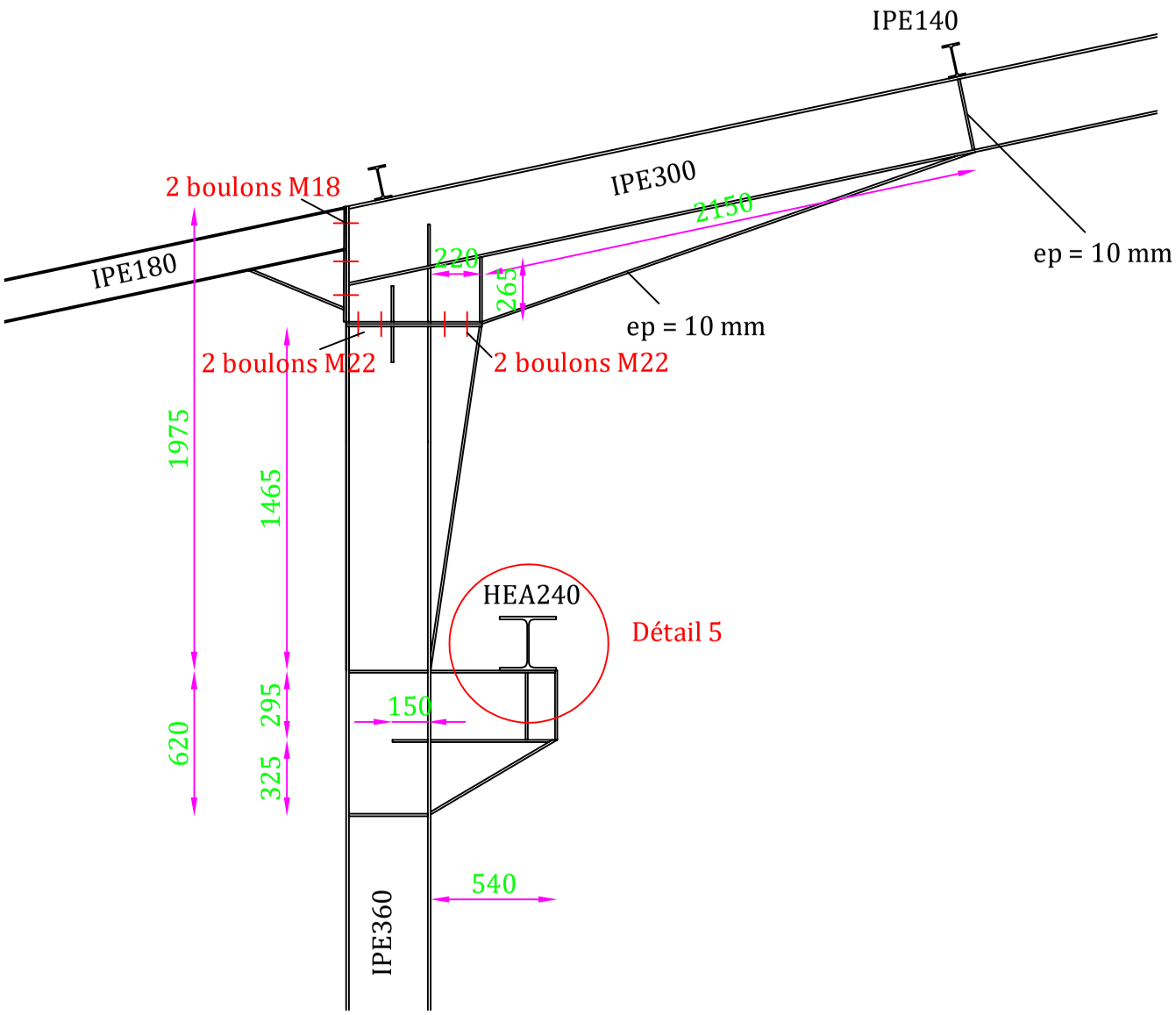


Détail 5



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

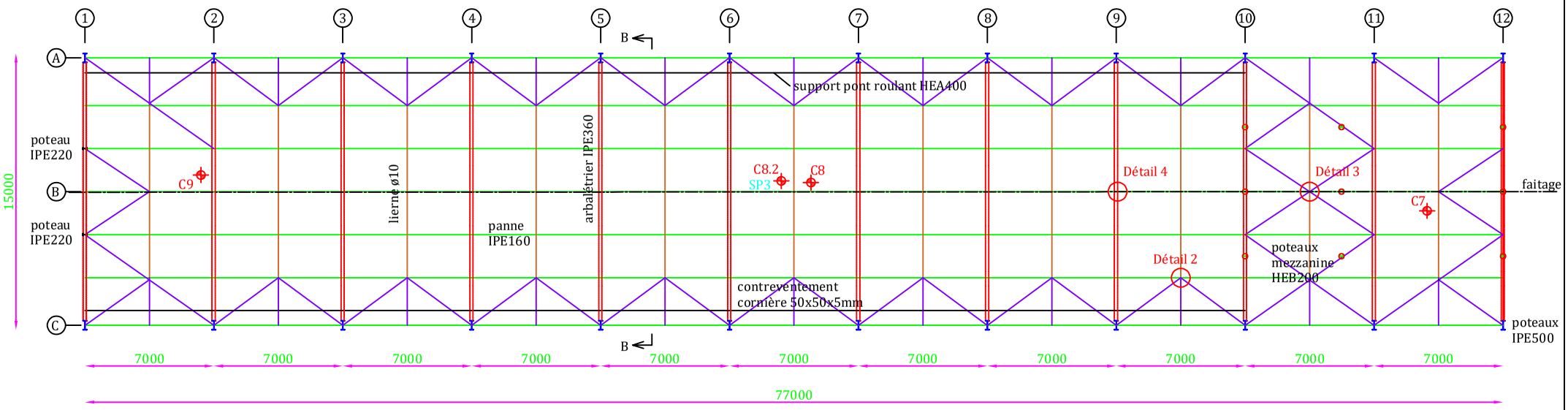
Détail 1



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

Vue en plan de la charpente - Bâtiment 430

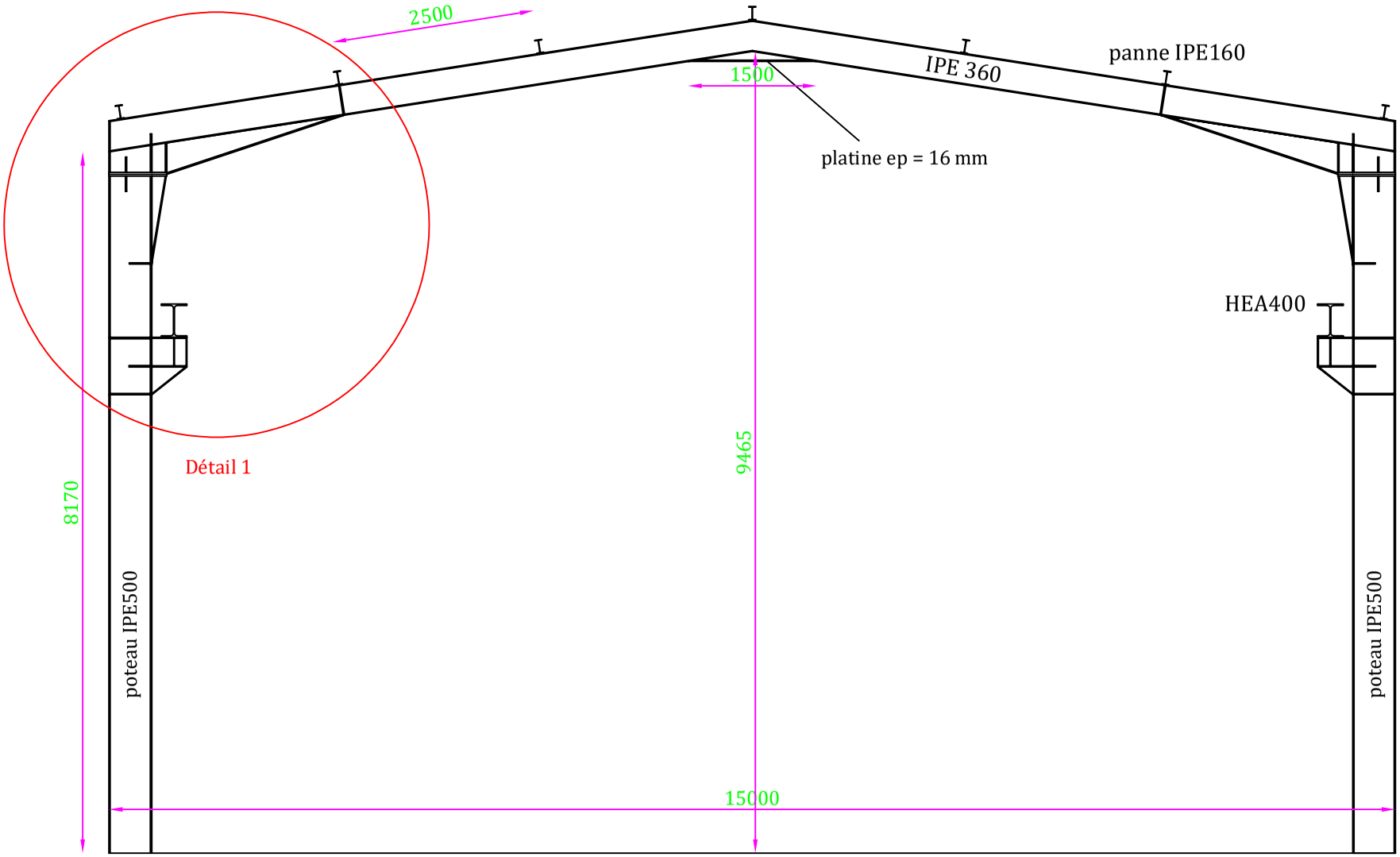
ANNEXE 2a



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

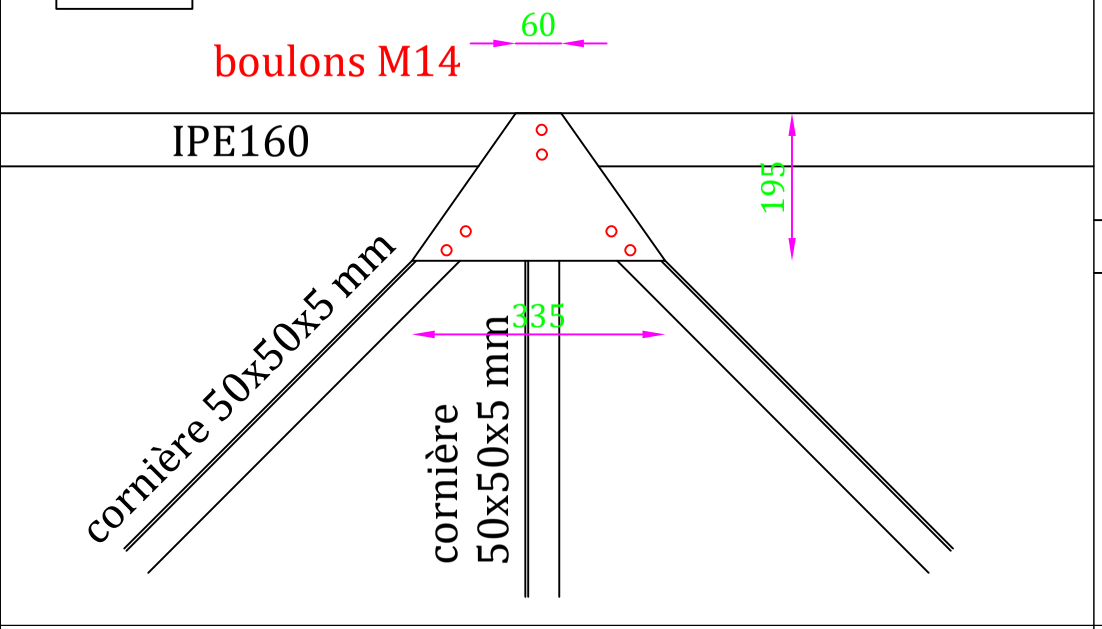
Coupe BB de la charpente - Bâtiment 430

ANNEXE 2b

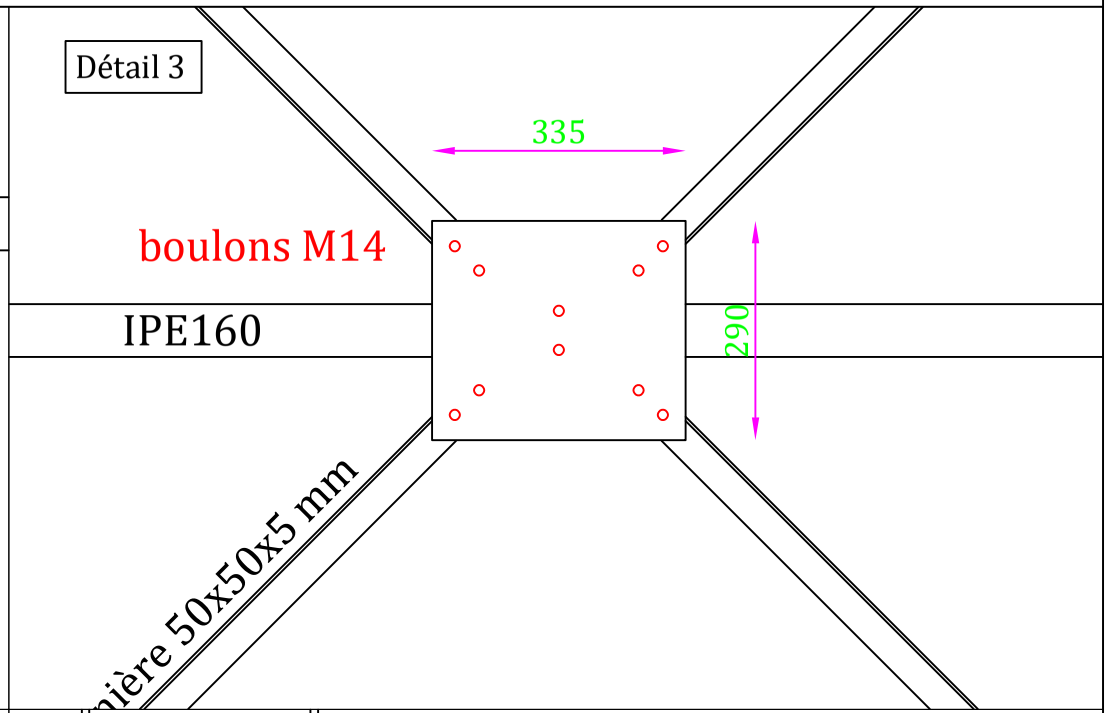


Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

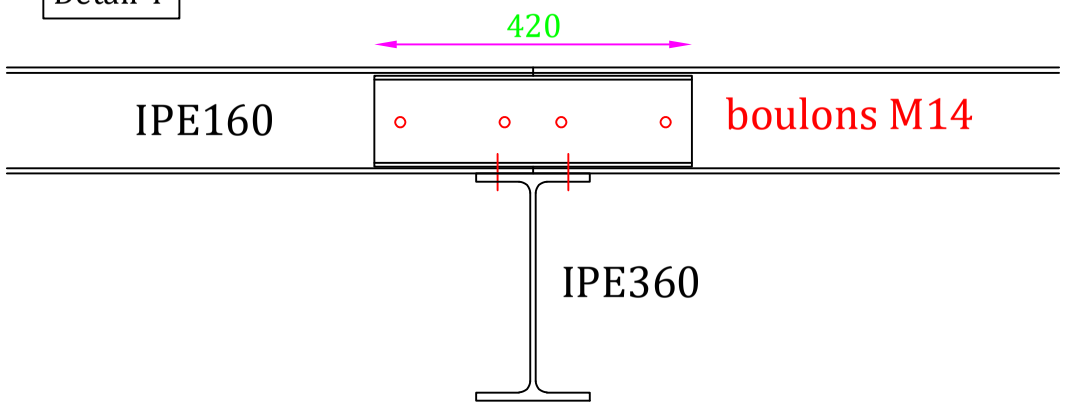
Détail 2



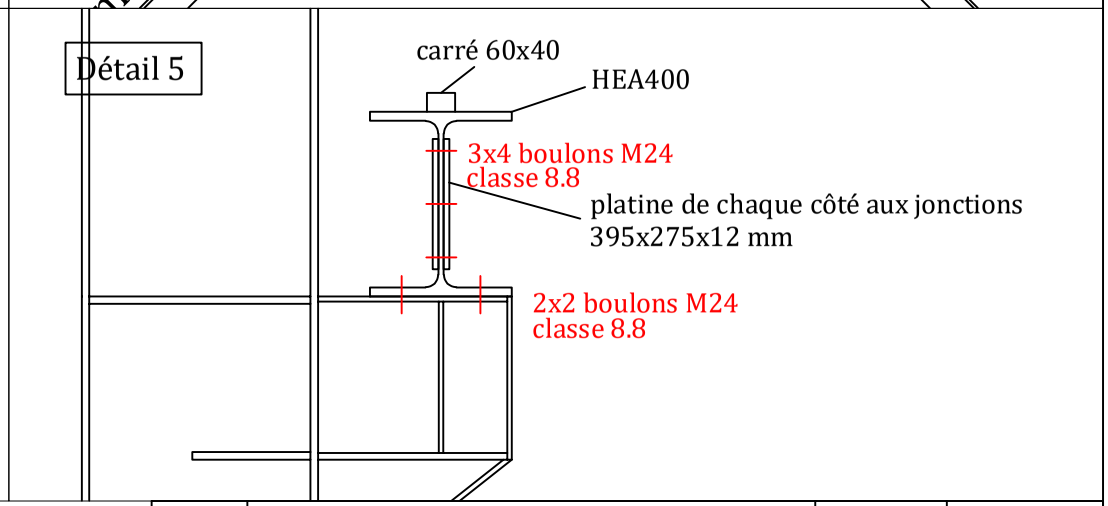
Détail 3



Détail 4

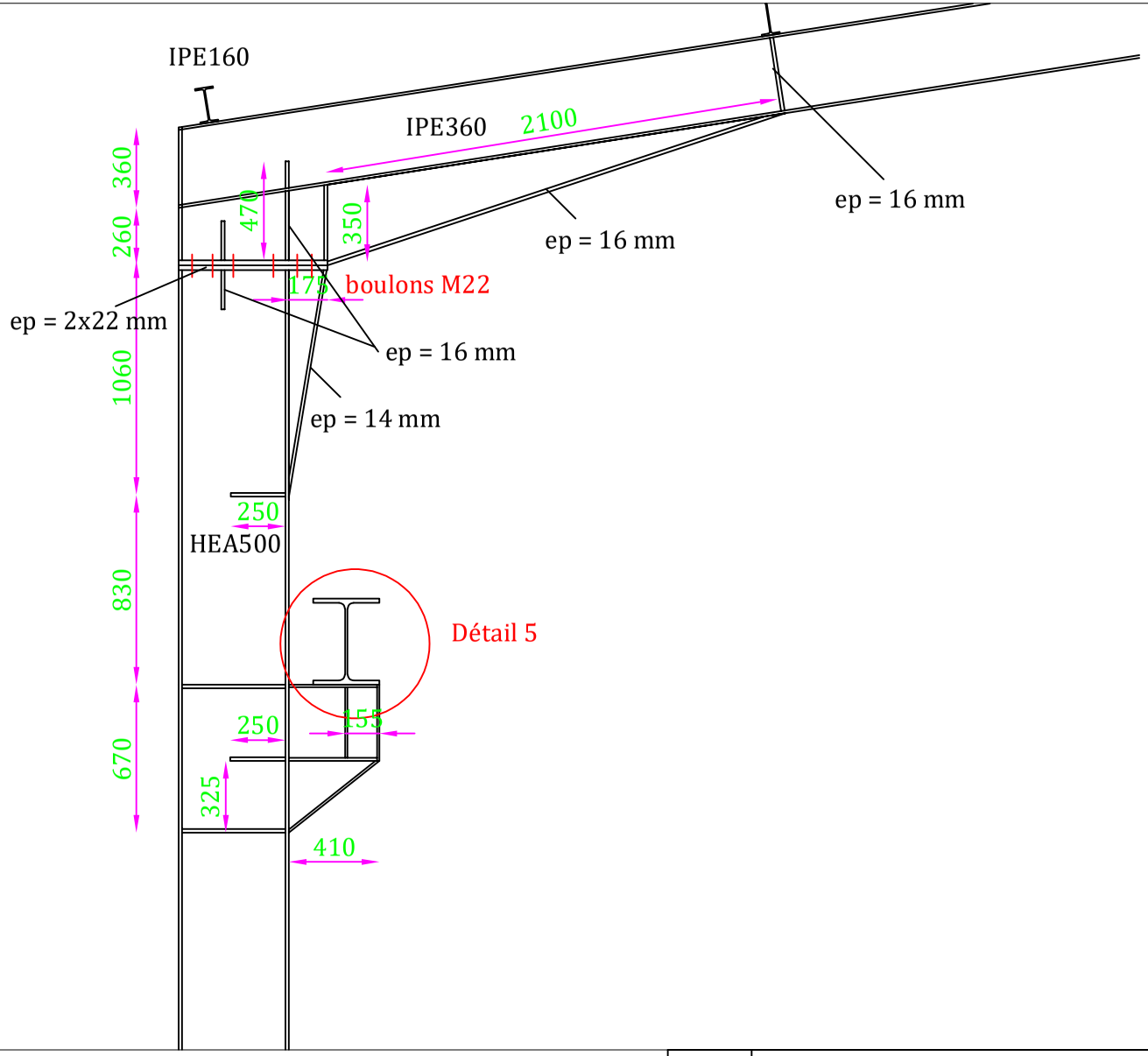


Détail 5



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

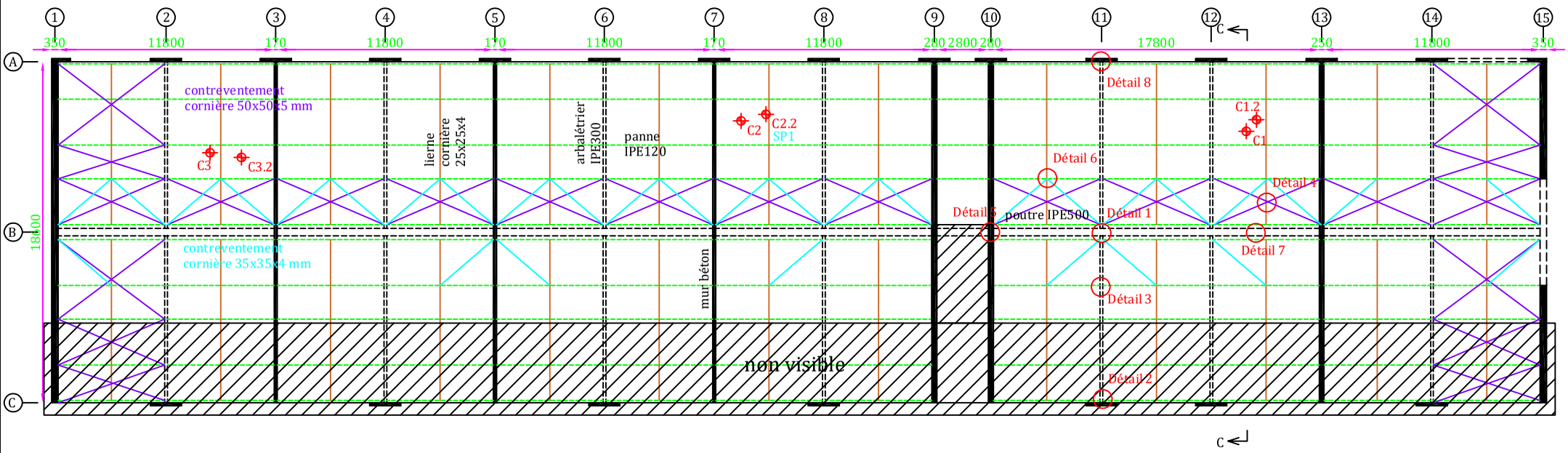
Détail 1



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

Vue en plan de la charpente - Bâtiment 435

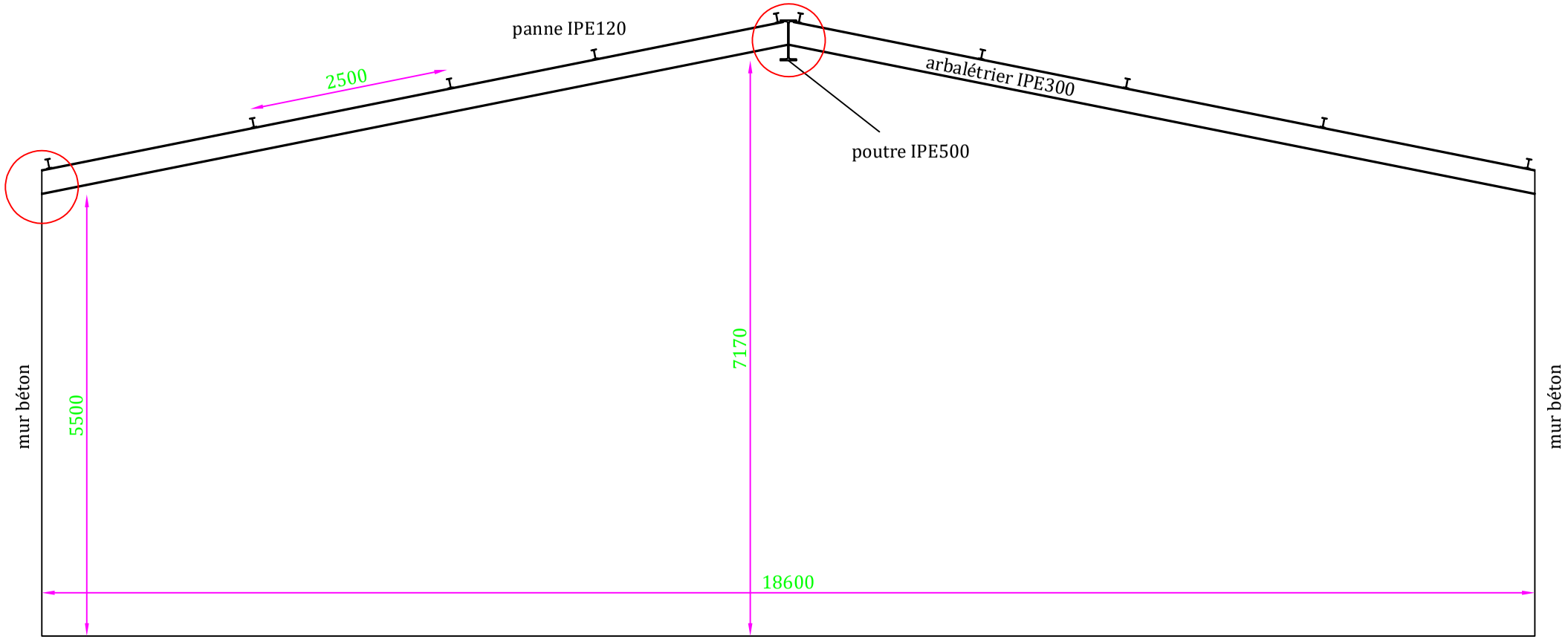
ANNEXE 3a



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

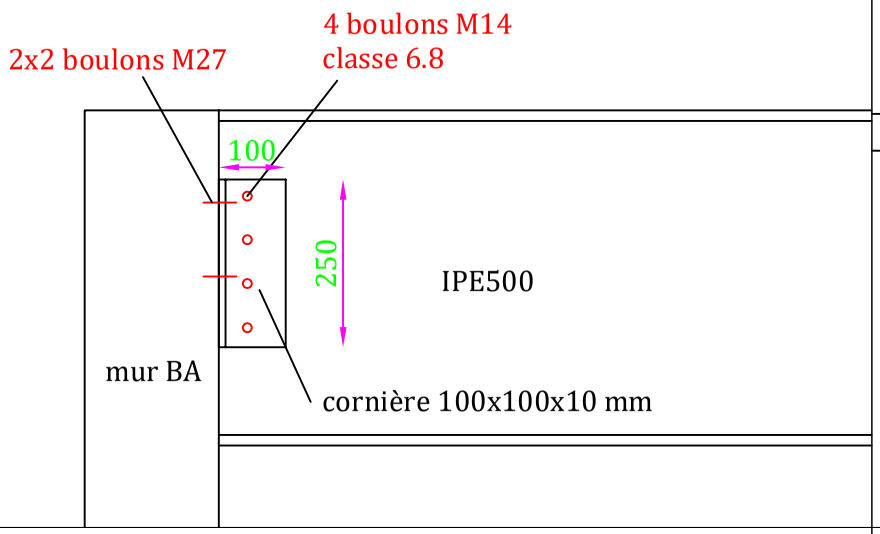
Coupe CC de la charpente - Bâtiment 435

ANNEXE 3b

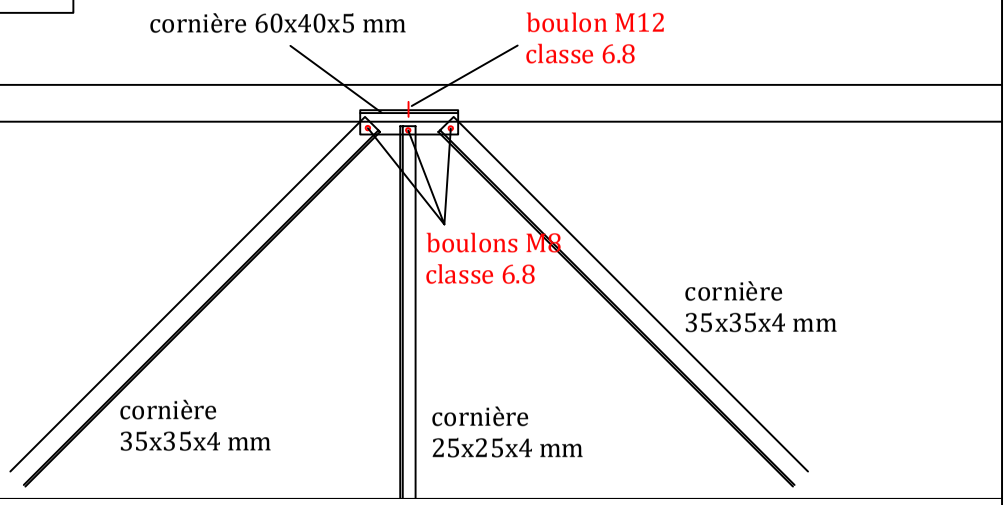


Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

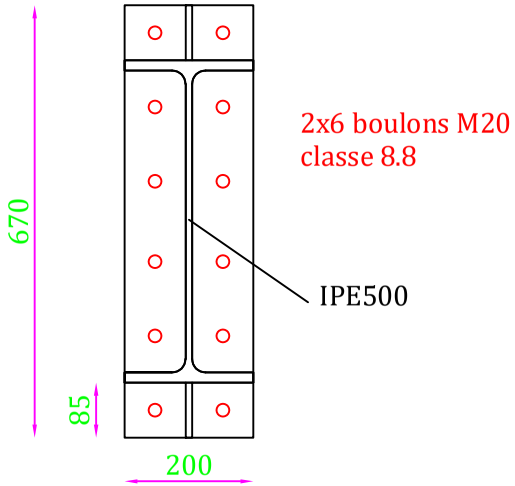
Détail 5



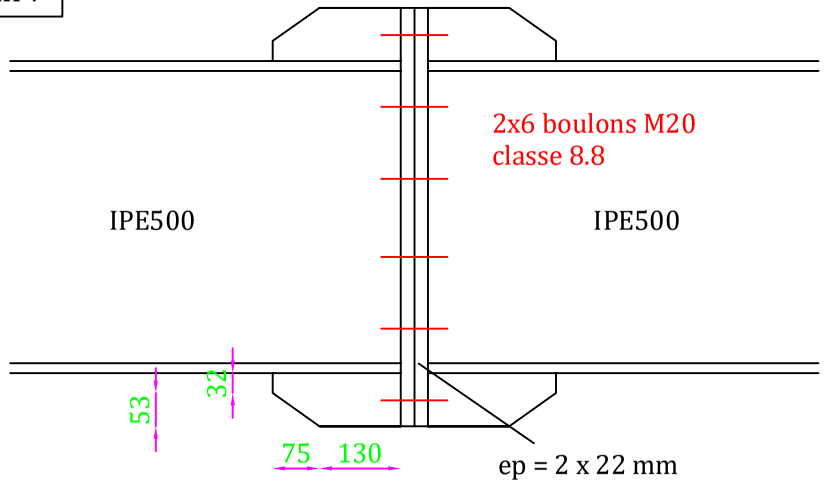
Détail 6



Détail 7

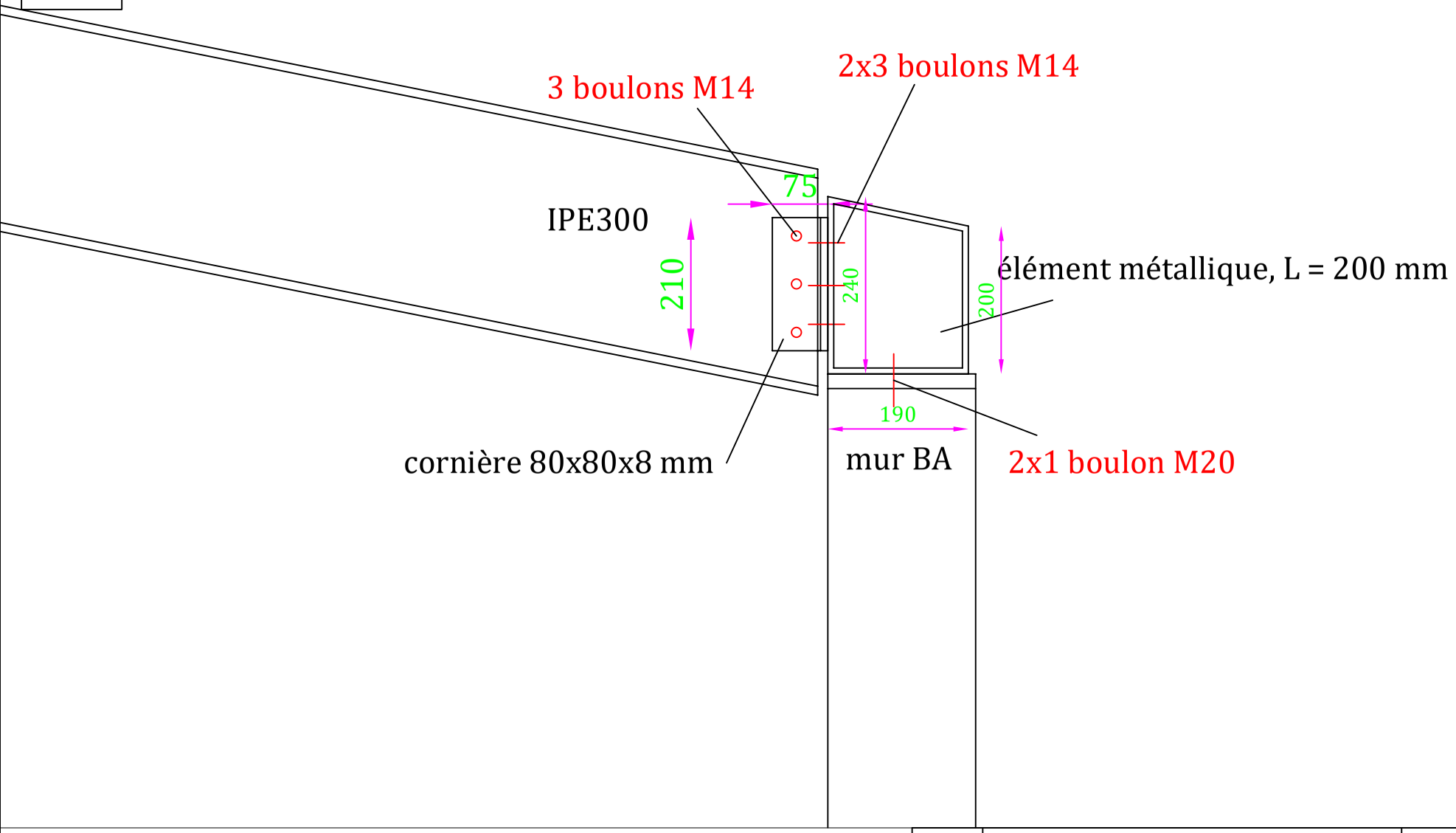


Détail 7



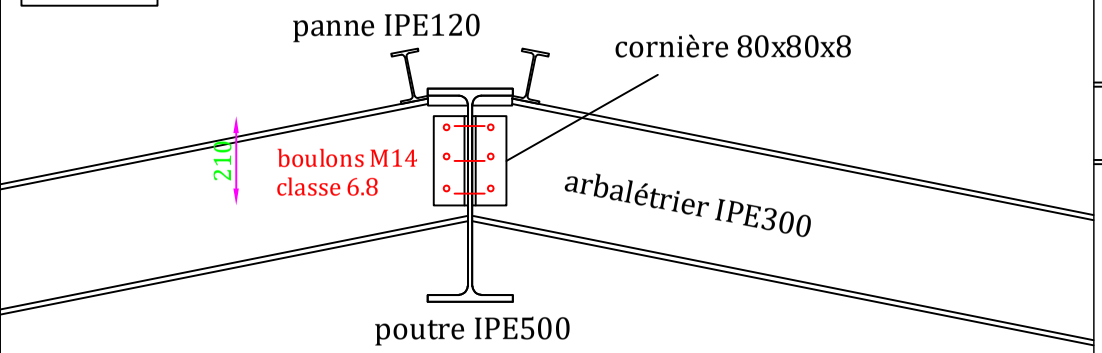
Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

Détail 8

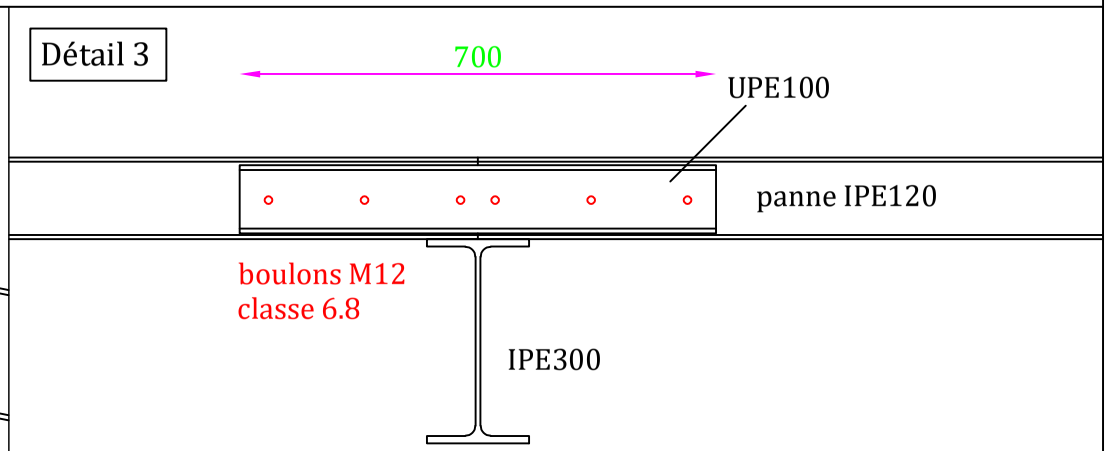


Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

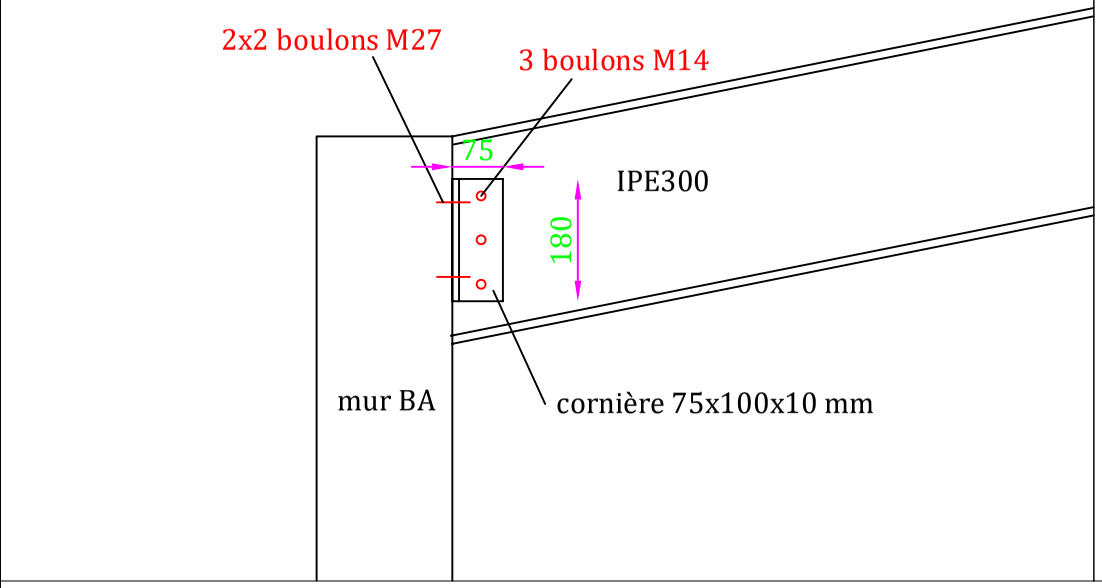
Détail 1



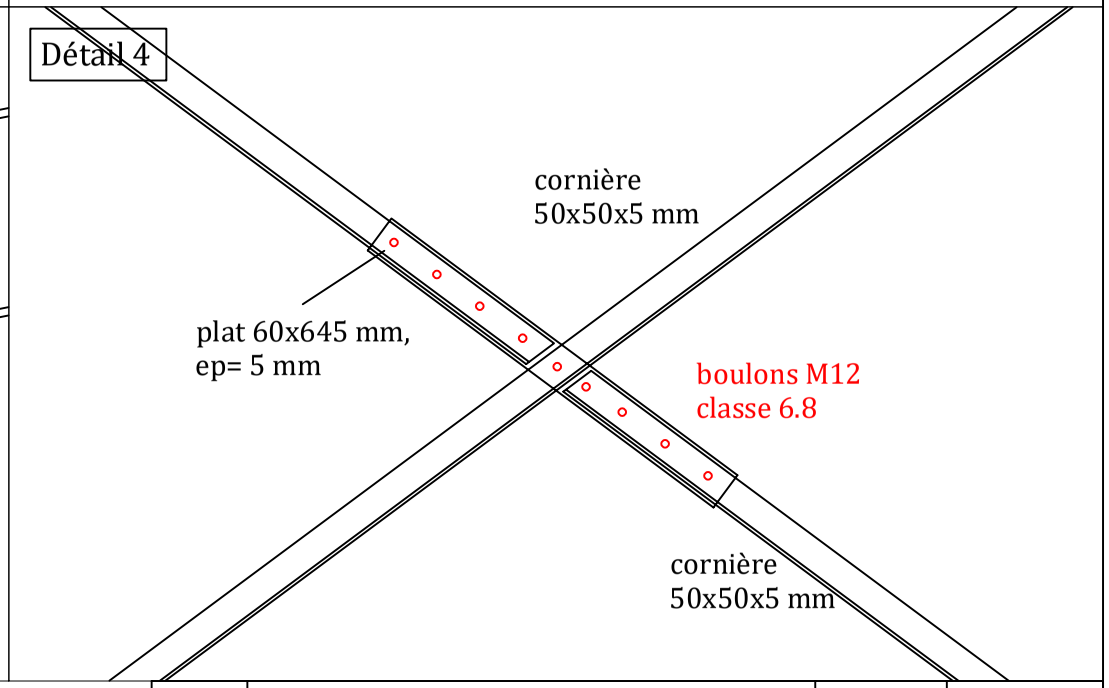
Détail 3



Détail 2



Détail 4



Indice	Modification		Date	Signature
Dessiné par L.BOUR	Vérifié par V.HOUDET	Numéro de dossier D2101.246	Date 29/07/2022	Echelle
121 Régiment du Train à Montlhery		ESID IDF		MASTERDIAG

BET CLAIR'EQUEAUX

Bureau d'Etudes Structures - Diagnostic - Renforcement - Maîtrise d'OEuvre

DIAGNOSTIC STRUCTUREL DES CHARPENTES METALLIQUES ET DES DALLAGES DES BATIMENTS 429, 430 ET 435 SITUES AU 121EME REGIMENT DU TRAIN A MONTLHERY DANS L'OPTIQUE DE DETERMINER LEURS CAPACITES PORTANTES RESPECTIVES

A l'attention de : Masterdiag 2 rue Saint Eloi ZA WITRY CAUREL 51110 CAUREL Tél : 09 63 21 66 92 Port : 06 26 34 76 33 (Lucas)	
N° Dossier : VNG-2022-08-124-A-DIAG-91	
Maître d'œuvre / Architecte :	

Date :	Modifications :		Etabli par :	Vérifié par :
27/09/2022	0	Première diffusion	V.H. NGUYEN	S. CARGNELUTTI

Le chargé d'affaires,
Van Huy Nguyen

BET CLAIR'EQUEAUX – 74, avenue Salengro 51430 TINQUEUX – Téléphone : 06 03 03 57 35
E-mail : s.cargnelutti@clair-equeaux.com – www.clair-equeaux.com
RCS Reims 821 278 868 – SIRET 821 278 868 00020 – APE 7112B

SOMMAIRE

I. CONTENU DE LA MISSION 2

II. Hypothèses générales 2

1) Réglementation 2
2) Matériaux 3
3) Charge 3

III. Vérification de la CHARPENTE N° 1 (BÂTIMENT 429) 5

1) Localisation 5
2) Charges 5
3) Modélisation 6
4) Dispositif de contreventement 7
5) Vérification 8
6) Exemple de calcul détaillé d'une panne 9
7) Dallage 17

IV. Vérification de la CHARPENTE N° 2 (bâtiment 430) 19

1) Localisation 19
2) Modélisation 20
3) Charges 21
4) Dispositif de contreventement 22
5) Vérification 23
6) Dallage 24

V. Vérification de la CHARPENTE N° 3 (BATIMENT 435) 25

1) Localisation 25
2) Modélisation 25
3) Charges 26
4) Dispositif de contreventement 27
5) Vérification 27
6) Dallage 28

VI. Conclusion 29

VII. Remarques : 29

I. CONTENU DE LA MISSION

Le client confie à BET Clair'Equeaux les prestations de diagnostic structurel de trois charpentes métalliques et de trois dallages dans l'optique de déterminer leurs capacités portantes respectives.

La mission concerne les bâtiments 429, 430 et 435 situés au 121ème Régiment du Train à Montlhéry.

La prestation comprendra les éléments suivants :

Rendu de la mission :

- Recalcul de trois charpentes métalliques
- Recalcul de trois dallages
- Préconisations de renforcement si nécessaire

II. HYPOTHESES GENERALES

1) Réglementation

A la vue des informations récoltées sur site au niveau des dallages, il apparaît qu'ils sont non armé selon le DTU13.3, avec un ferraillage minimum et la présence de joints de retrait réguliers. Pour déterminer la capacité portante de ces dallages il suffira donc de vérifier que la valeur de la traction dans le béton reste admissible.

Comme ces dallages ont une épaisseur comprise entre 17,5 cm et 19 cm, ils correspondent à un dallage de la partie 1, avec des charges pouvant être supérieures à 1 tonnes/m².

En effet, d'après le DTU 13.3, l'épaisseur nominale d'un dallage est au moins égale à :

- 15 cm pour les dallages relevant de la partie 1.
- 13 cm pour les dallages relevant de la partie 2.
- 12 cm pour les dallages relevant de la partie 3.

Dans le cas présent, les dallages de l'atelier présentent des épaisseurs supérieures à 15 cm, ils relèvent donc de la partie 1.

USAGE DES LOCAUX	Parties à appliquer
Tout local à usage industriel, tel qu'usine, atelier, entrepôt, stockage, laboratoire quelle que soit sa surface et quelle que soient ses charges d'exploitation.	Partie 1
Local quelle que soit sa destination, s'il est soumis à une charge d'exploitation répartie supérieure à 10 kN/m² ou concentrée supérieure à 10 kN.	
Local commercial ou assimilé, tel que magasin, boutique, hall, réserve, chambre froide, dont la surface excède 1000 m² quelle que soit sa charge d'exploitation.	
Local commercial ou assimilé, tel que magasin, boutique, hall, réserve, chambre froide, dont la superficie n'excède pas 1000 m² et dont les charges d'exploitation n'excèdent 10 kN/m² réparties, ni 10 kN concentrées.	Partie 2
Local soumis à des charges d'exploitation supérieures ou égales à 10 kN/m² réparties et/ou 10 kN concentrées, et dont l'usage est le suivant. • habitation collective ou d'hébergement • administratif ou bureau • santé, hôpital, clinique ou dispensaire • scolaire ou universitaire • sportif, à l'exception des surfaces homologuées • spectacles, expositions ou lieux de culte • garages ou parcs de stationnement pour véhicules légers • agricole	Partie 2
Maisons individuelles	Partie 3

Le DTU 13.3 impose de déterminer la portance du support (sol éventuellement renforcé par une couche de forme) par un essai à la plaque. Le module de déformation du support devant être :

- au moins égal à 50 MPa/m pour un dallage de la partie 1 et 2.
- au moins égal à 30 MPa/m pour un dallage de la partie 3.

2) Matériaux

- ✓ Béton armé : C20/25 et C30/37
- ✓ Acier :
  - FeE235 : rond lisse
  - FeE400 : tors
- ✓ Sol : en l'absence d'étude de sol nous partirons sur une fondation de 1,5 bars, il serait judicieux de prévoir une étude de sol en phase d'exécution

3) Charge

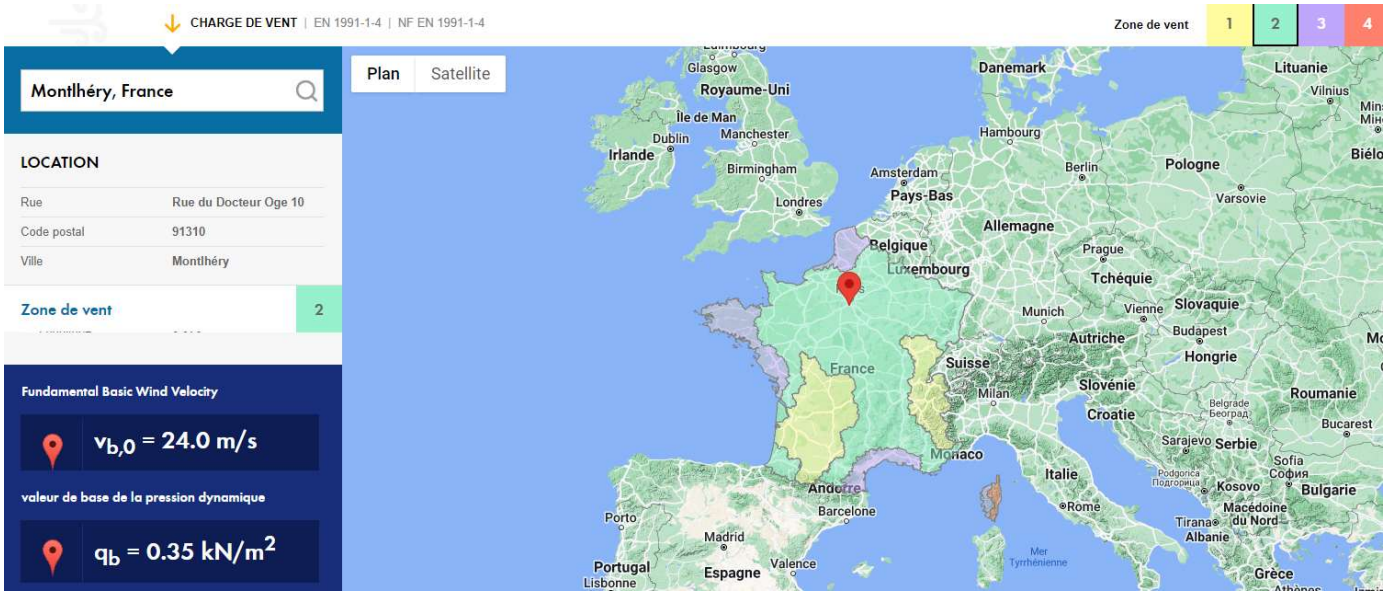
- ✓ Béton : 2500 kg/m³
- ✓ Charge pont roulant : négligé (pas d'information)
- ✓ Charges permanentes en toiture :
  - Poids propre des éléments :
  - Etanchéité bitumineuse : 5 kg/m²

- Bacs aciers : 7 kg/m²
- Réseaux divers : 2 kg/m²

✓ Charges d'exploitation :

- Neige : 45 kg/m² (en toiture)
  - Neige (partie courante) : s = 0,8 x 45 =36 kg/m²
  - Neige (zone d'accumulation acrotère) : s = 1,60 x 45 = 72 kg/m²

- Charge d'entretien : 800 kg répartis sur une surface de 10 m² au plus défavorable
- Vent



- Vent : EN 1991-1-4
- Région 2 : Vb.0 = 24m/s
- Catégorie de terrain : IIIb
- Région : A
- Altitude : 35 m
- P_{n0} = 0,45 kN/m² (valeur de référence hors altitude)

Catégorie H : toitures inaccessibles pente < 15% recevant une étanchéité. Ces charges sont des charges d'entretien.

qk = 0.8 kN/m² ;

Qk = 1.5 kN ;

Note : Ces charges ne seront pas prises en compte avec les charges de neige ou les actions dues au vent. La charge repartie et la charge ponctuelle ne sont pas à appliquer simultanément.

Le paragraphe 2.7.3.1 de la norme fixe forfaitairement les charges à prendre en compte, en fonction de la portée l(m) de l'élément considéré.

La vérification de la stabilité de la structure est effectuée à l'aide du logiciel ROBOT (notes de calculs jointes en annexes) avec une vérification des contraintes maximales pour une panne courante et les structures courantes ainsi que la vérification des flèches admissibles (<L/200) en fonction des surcharges (vérification selon règles EUROCODES).

Il a été vérifié une panne, et une ferme courante et leurs assemblages.

La synthèse des résultats de vérification obtenus est présentée ci-après et les notes de calculs sont jointes en annexes.

III. VERIFICATION DE LA CHARPENTE N° 1 (BÂTIMENT 429)

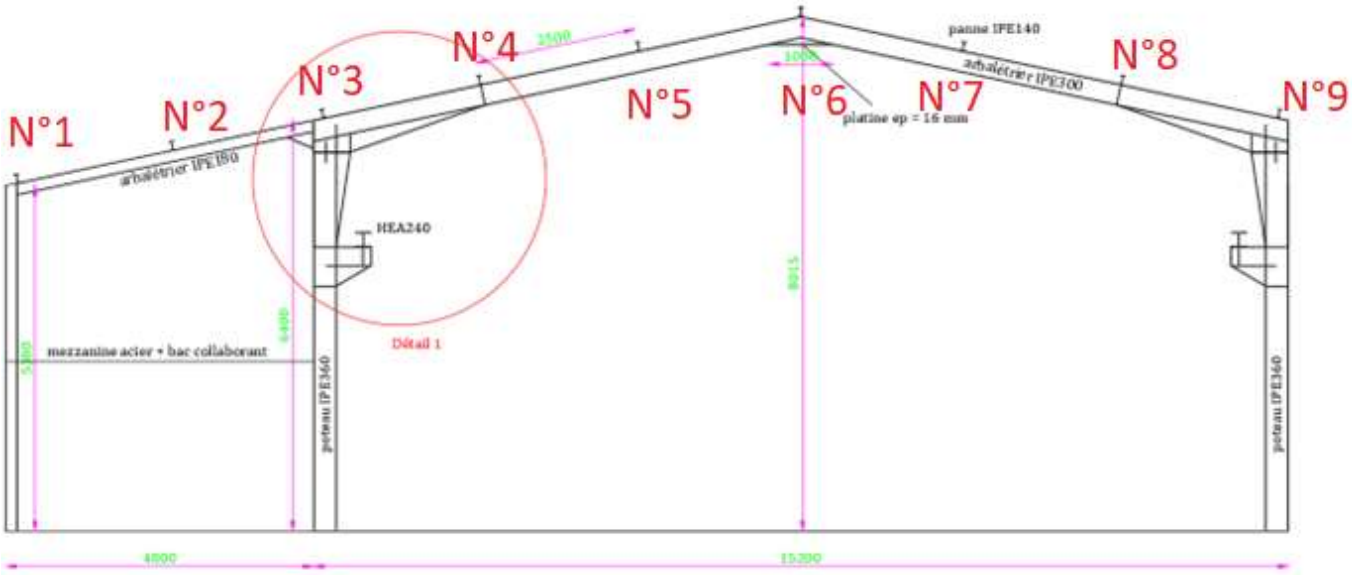
1) Localisation

2) Charges

- Charges de neige (pas d'acrotère):
  - Panne N° 1/9: G = 0,36 x 1,25 m = 0,45 kN/ml
  - Panne N° 2/3/4/5/6/7/8 : G = 0,36 x 2,50 m = 0,90 kN/ml
- Charges d'entretien : 800 kg répartis sur une surface de 10 m² au plus défavorable,
  - 2,50 m x 6,00 m = 15 m²

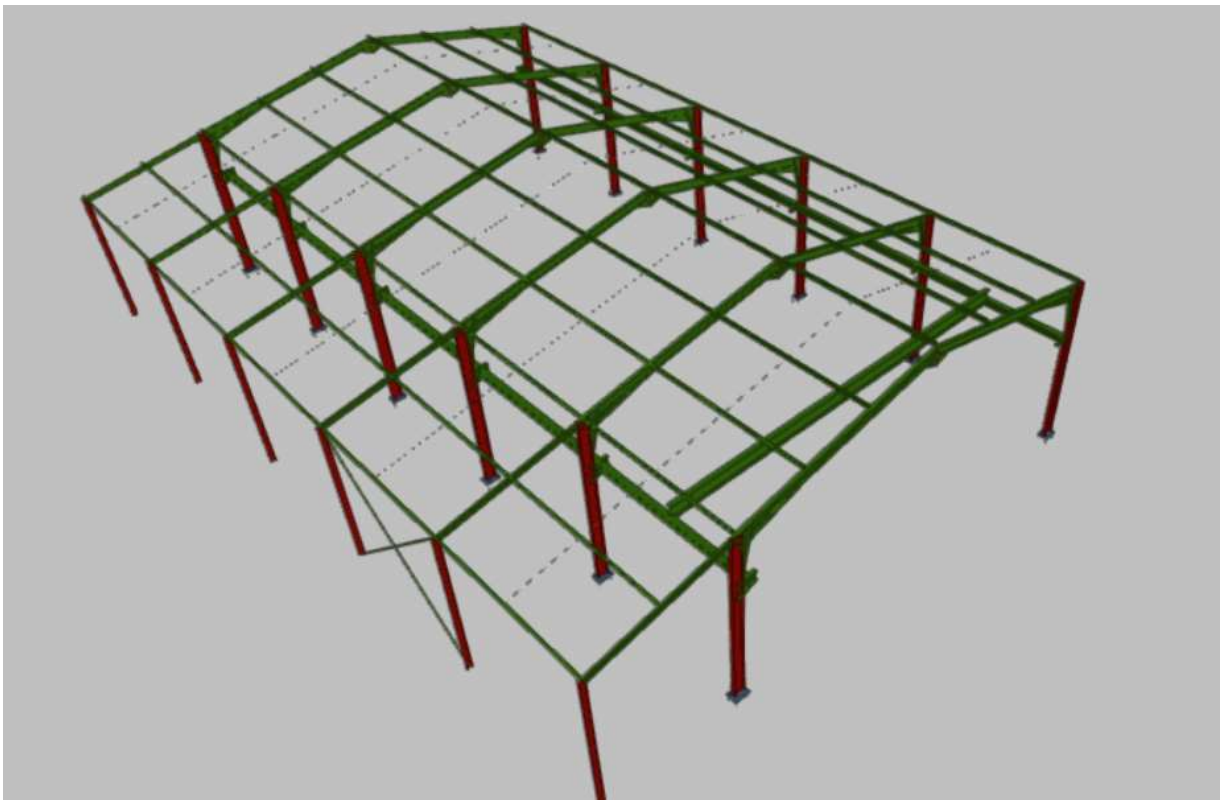
- Pour une surface de 10 m² réglementaire cela correspond à 1,6667 m x 6,00 m, soit une charge de 80 kg/ml sur la panne

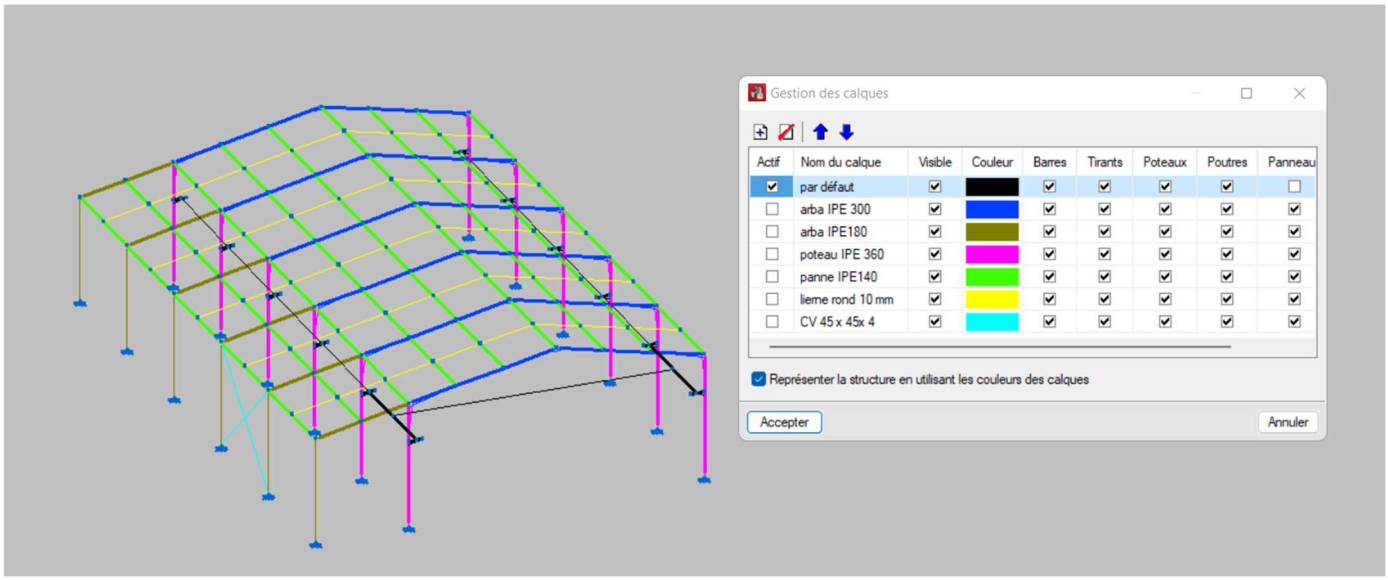
- Ponts roulants : 115 kN en charge verticale / 11.5 kN en charge horizontale



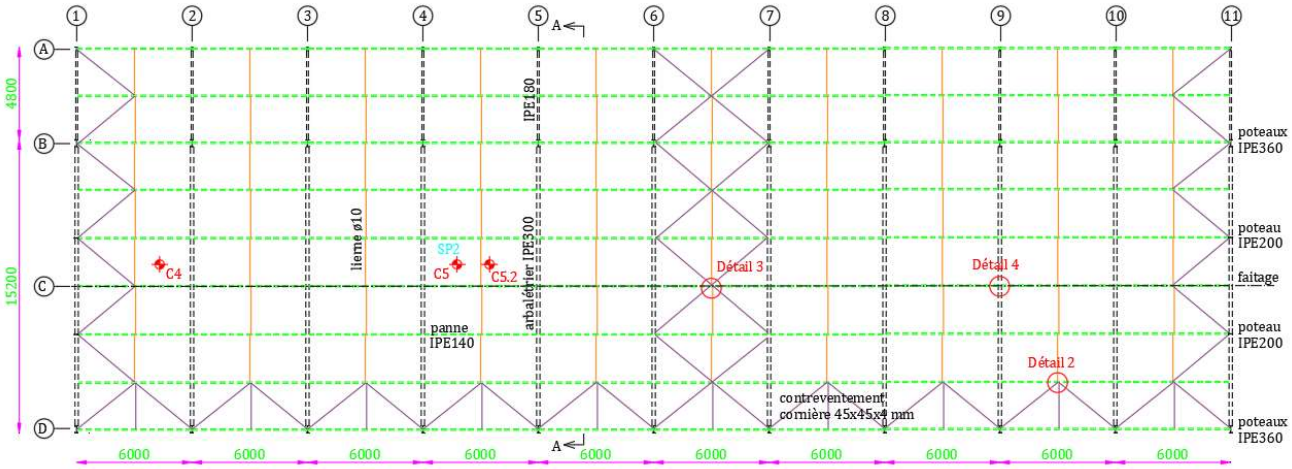
3) Modélisation

La modélisation a été réalisé uniquement sur 6 travées, mais cela n'a pas d'influence sur les résultats.

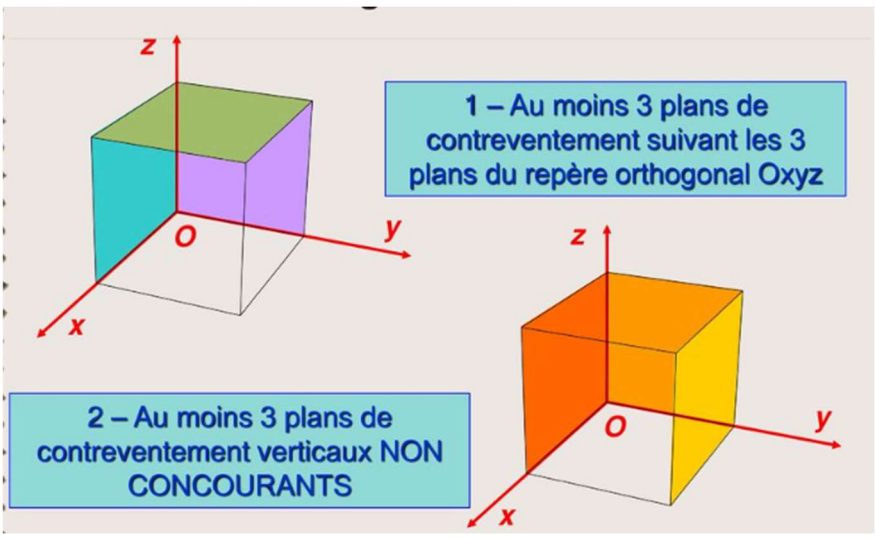




4) Dispositif de contreventement



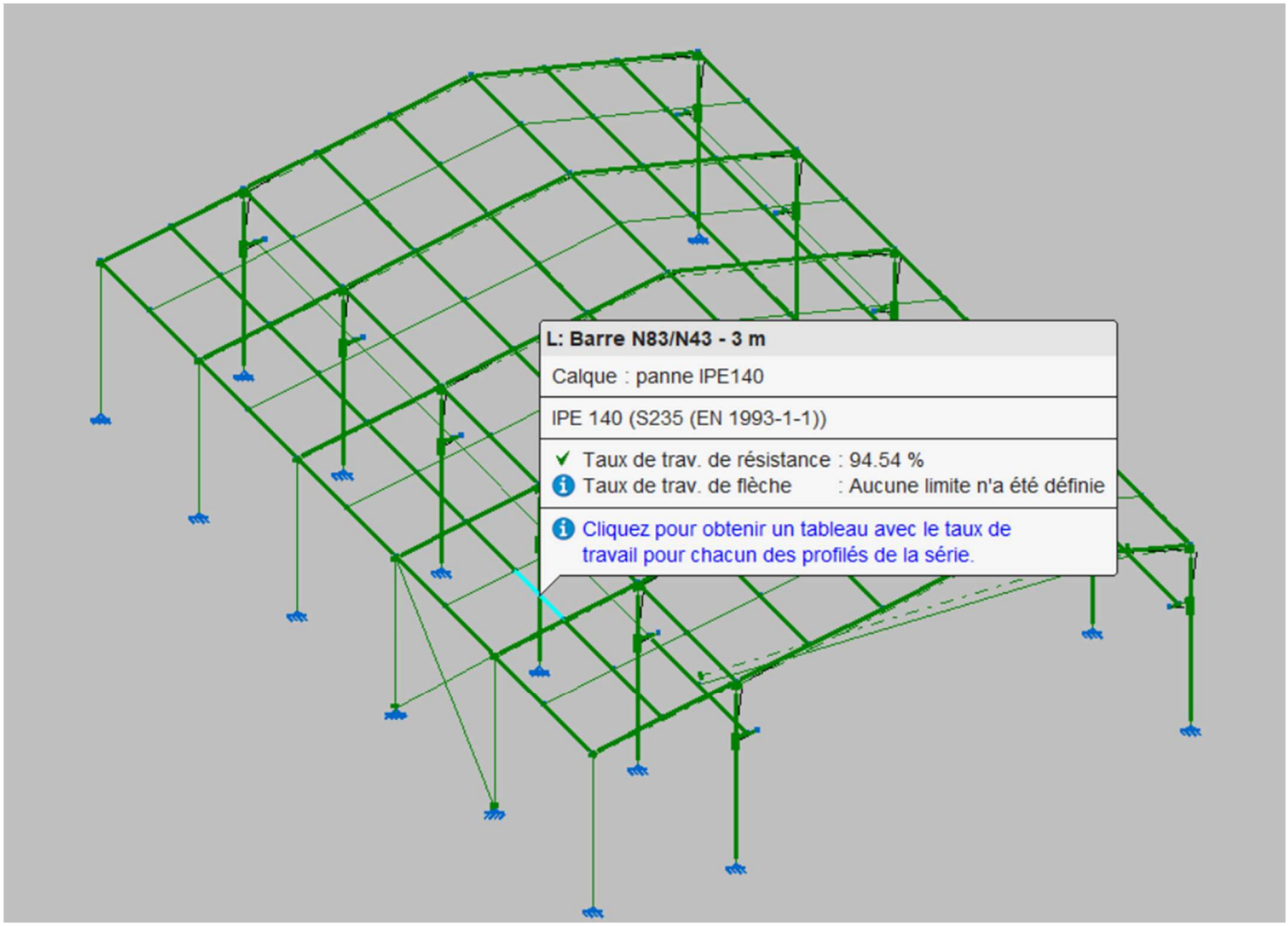
D'après les relevés de la structure métallique, il semblerait que la zone qui constitue les bureaux, avec la mezzanine serve à contreventer le bâtiment. En effet, il devrait y avoir un contreventement sur les files 1 ou 11, pour obtenir les 3 plans non concourants.



Par conséquent, la structure en maçonnerie au droit de la mezzanine fait partie du contreventement du bâtiment. Toute modification des éléments verticaux (mur, poteau, ouverture porte, fenêtre), nécessitera, une vérification de la stabilité du bâtiment.

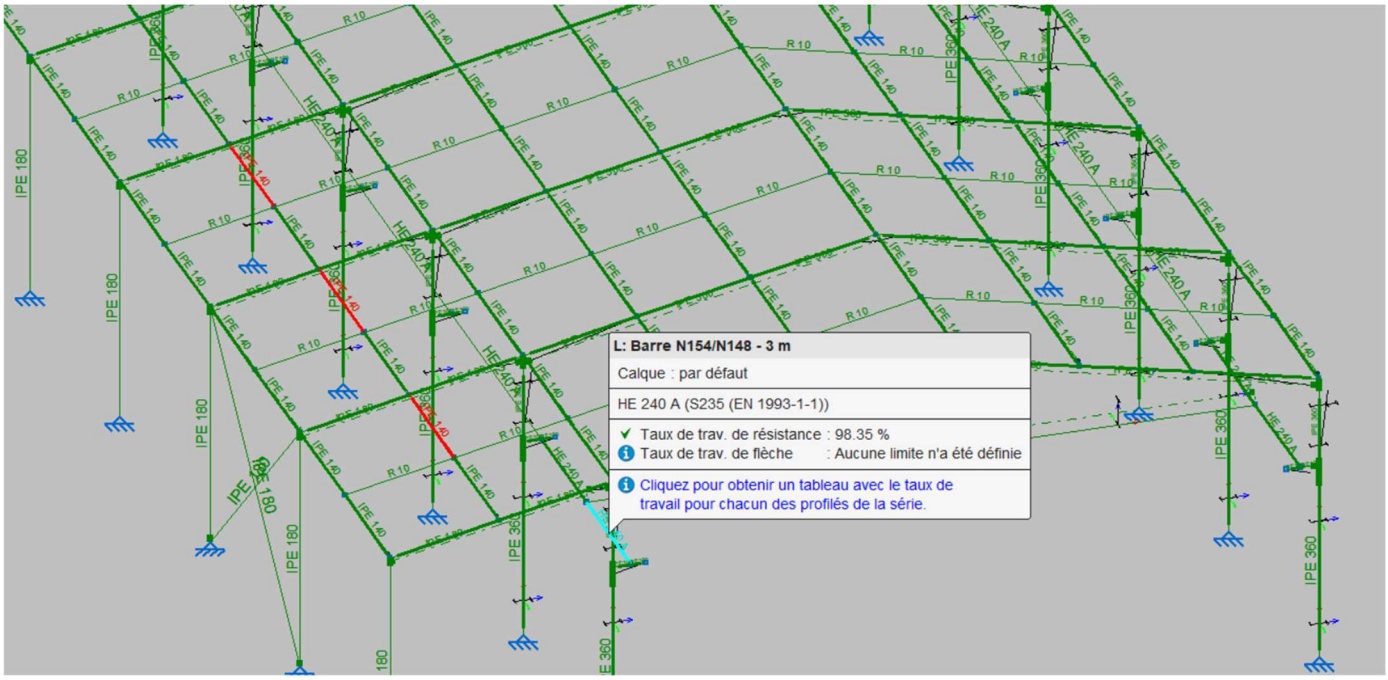
5) Vérification

Nous avons pu déterminer les charges maximales, en sollicitant les éléments entre 90 et 100 %. Et nous avons pu déterminer que les pannes de rive dans les zones d'accumulation de neige limitent la charge de la charpente existante (voir localisation ci-après).



Par conséquent, la charpente N°1 peut reprendre au maximum une charge ***de 46 kg/m², soit une charge de 32 kg/m² en charge supplémentaire, en plus des charges existantes.***

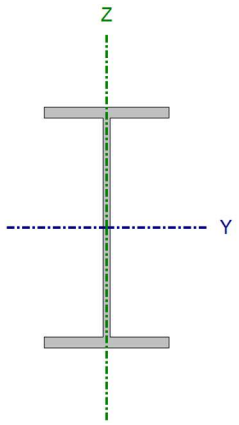
Les poutres de support du pont roulant en HEA 240 limites la charge du pont roulant, et ne doit être excédé 11,5 tonnes (voir ci-après la localisation de la barre la plus sollicité).



6) Exemple de calcul détaillé d'une panne

Tous les calculs seront effectués avec la même méthode.

Profilé: IPE 140
Matériau: Acier (S235 (EN 1993-1-1))



Noeuds		Longueur (m)	Caractéristiques mécaniques			
Initial	Final		Aire (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N83	N43	3.000	16.40	541.00	44.90	2.40

Notes:
(1) Inertie par rapport à l'axe indiqué
(2) Moment d'inertie à la torsion uniforme

	Flambement		Déversement	
	Plan XY	Plan XZ	Aile sup.	Aile inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	3.000	3.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notation:
β: Coefficient de flambement
L_K: Longueur de flambement (m)
C_m: Coefficient de moments
C_1: Facteur de modification pour le moment critique

Barre	VÉRIFICATIONS (EUROCODE 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05)															État
	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y		
N83/N43	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Conforme	η = 0.1	N_{Ed} = 0.00 N.V.(1)	x: 3 m η = 67.1	x: 3 m η = 27.3	x: 3 m η = 11.2	x: 3 m η = 1.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 3 m η = 94.5	η < 0.1	η = 5.9	x: 3 m η = 11.5	x: 3 m η = 1.2		**CONFORME η = 94.5**

Notation:
λ_w: Voilement de l'âme engendré par l'aile comprimée
N_t: Résistance à la traction
N_c: Résistance à la compression
M_Y: Résistance à la flexion suivant l'axe Y
M_Z: Résistance à la flexion suivant l'axe Z
V_Z: Résistance au cisaillement Z
V_Y: Résistance au cisaillement Y
M_YV_Z: Résistance au moment fléchissant Y et à l'effort tranchant Z combinés
M_ZV_Y: Résistance au moment fléchissant Z et à l'effort tranchant Y combinés
NM_YM_Z: Résistance à la flexion et à l'effort normal combinés
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Résistance à la flexion, à l'effort normal et à l'effort tranchant combinés
M_t: Résistance à la torsion
M_tV_Z: Résistance à l'effort tranchant Z et au moment de torsion combinés
M_tV_Y: Résistance à l'effort tranchant Y et au moment de torsion combinés
x: Distance à l'origine de la barre
η: Taux de travail (%)
N.V.: Non nécessaire

Vérifications non réalisées (N.V.):
(1) La vérification n'est pas réalisée car il n'y a pas d'effort normal de compression.

Voilement de l'âme engendré par l'aile comprimée (Eurocode 3 EN 1993-1-5: 2006, Article 8)

Doit être respecté:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

26.85 ≤ 290.91 ✓

Où:

h_w: Hauteur de l'âme.	h_w :	*126.20*	mm
t_w: Épaisseur d'âme.	t_w :	*4.70*	mm
A_w: Aire de l'âme.	A_w :	*5.93*	cm²
$A_{fc,ef}$: Aire réduite de l'aile comprimée.	$A_{fc,ef}$:	*5.04*	cm²
k: Coefficient dépendant de la classe de la section.	k :	*0.30*	
E: Module d'élasticité longitudinale.	E :	*210000*	MPa
f_{yf}: Limite élastique de l'acier de l'aile comprimée.	f_{yf} :	*235.00*	MPa

Avec:

$$f_{yf} = f_y$$

Résistance à la traction (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.3)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.001*** ✓

L'effort sollicitant de calcul défavorable se produit pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

$N_{t,Ed}$: Effort normal de traction sollicitant de calcul défavorable. — $N_{t,Ed}$: *0.40* kN

La résistance de calcul à la traction $N_{t,Rd}$ est donnée par:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: *385.40* kN

Où:

A: Aire brute de la section transversale de la barre.	A :	*16.40*	cm²
f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier.	f_{yd} :	*235.00*	MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1)	f_y :	*235.00*	MPa
γ_{M0}: Coefficient partiel de sécurité du matériau.	γ_{M0} :	*1.00*	

Résistance à la compression (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.4)

La vérification n'est pas réalisée car il n'y a pas d'effort normal de compression.

Résistance à la flexion suivant l'axe Y (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.5)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : **0.671** ✓

Pour la flexion positive:

M_{Ed}^+: Moment fléchissant sollicitant de calcul le plus défavorable. **M_{Ed}^+** : *0.00* kN·m

Pour la flexion négative:

L'effort sollicitant de calcul défavorable se produit au noeud N43, pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

M_{Ed}^-: Moment fléchissant sollicitant de calcul le plus défavorable. **M_{Ed}^-** : *13.93* kN·m

Le moment fléchissant résistant de calcul **$M_{c,Rd}$** est donné par:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: *20.75* kN·m

Où:

Classe: Classe de la section, selon la capacité de déformation et de développement de la résistance plastique des éléments plans d'une section à flexion simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,y}$: Module résistant plastique correspondant à la fibre de plus grande tension, pour les sections de classe 1 et 2. **$W_{pl,y}$** : *88.30* cm³

f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier. **f_{yd}** : *235.00* MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) **f_y** : *235.00* MPa

γ_{M0}: Coefficient partiel de sécurité du matériau. **γ_{M0}** : *1.00*

Résistance au déversement: (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.3.2)

Non traité car les longueurs de déversement sont nulles.

Résistance à la flexion suivant l'axe Z (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.5)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : **0.273** ✓

Pour la flexion positive:

M_{Ed}^+: Moment fléchissant sollicitant de calcul le plus défavorable. **M_{Ed}^+** : *0.00* kN·m

Pour la flexion négative:

L'effort sollicitant de calcul défavorable se produit au noeud N43, pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

M_{Ed}^-: Moment fléchissant sollicitant de calcul le plus défavorable. **M_{Ed}^-** : *1.24* kN·m

Le moment fléchissant résistant de calcul **$M_{c,Rd}$** est donné par:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: *4.54* kN·m

Où:

Classe: Classe de la section, selon la capacité de déformation et de développement de la résistance plastique des éléments plans d'une section à flexion simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: *19.30* cm³

$W_{pl,z}$: Module résistant plastique correspondant à la fibre de plus grande tension, pour les sections de classe 1 et 2.

f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier. **f_{yd}** : *235.00* MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) **f_y** : *235.00* MPa

γ_{M0}: Coefficient partiel de sécurité du matériau. **γ_{M0}** : *1.00*

Résistance au cisaillement Z (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.6)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.112*** ✓

L'effort sollicitant de calcul défavorable se produit au noeud N43, pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable. **V_{Ed}** : *11.59* kN

L'effort tranchant résistant de calcul **$V_{c,Rd}$** est donné par:

$$V_{c,Rd} = A_V \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *103.34* kN

Où:

A_v: Aire transversale au cisaillement. **A_v** : *7.62* cm²

$$A_V = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Avec:

A: Aire brute de la section transversale de la barre. **A** : *16.40* cm²

b: Largeur de la section. **b** : *73.00* mm

t_f: Épaisseur de l'aile. **t_f** : *6.90* mm

t_w: Épaisseur d'âme. **t_w** : *4.70* mm

r: Rayon de congé entre aile et âme. **r** : *7.00* mm

f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier. **f_{yd}** : *235.00* MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) **f_y** : *235.00* MPa

γ_{M0}: Coefficient partiel de sécurité du matériau. **γ_{M0}** : *1.00*

Voilement par cisaillement de l'âme: (Eurocode 3 NF EN 1993-1-5: 2006/NA: 2007, Article 5)

Bien qu'aucun raidisseur transversal n'ait été placé, il n'est pas nécessaire de vérifier la résistance au voilement de l'âme, étant donné qu'est vérifié:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

23.87 < **72.00** ✓

Où:

λ_w: Élancement de l'âme. λ_w : *23.87*

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max}: Élancement maximum. λ_{max} : *72.00*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coefficient qui permet de prendre en compte la résistance additionnelle en régime plastique due au durcissement par déformation du matériau. η : *1.00*

ε: Facteur de réduction. ε : *1.00*

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Avec:

$f_{réf}$: Limite élastique de référence. $f_{réf}$: *235.00* MPa

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) f_y : *235.00* MPa

Résistance au cisaillement Y (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.6)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.012*** ✓

L'effort sollicitant de calcul défavorable se produit au noeud N43, pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable. V_{Ed} : *1.71* kN

L'effort tranchant résistant de calcul $V_{c,Rd}$ est donné par:

$$V_{c,Rd} = A_V \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *142.04* kN

Où:

A_v: Aire transversale au cisaillement. A_v : *10.47* cm²

$$A_V = A - d \cdot t_w$$

Avec:

A: Aire de la section brute. A : *16.40* cm²

d: Largeur de l'âme. d : *126.20* mm

t_w: Épaisseur d'âme. t_w : *4.70* mm

f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier. f_{yd} : *235.00* MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) f_y : *235.00* MPa

γ_{M0}: Coefficient partiel de sécurité du matériau. γ_{M0} : *1.00*

Résistance au moment fléchissant Y et à l'effort tranchant Z combinés (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.8)

Il n'est pas nécessaire de réduire la résistance de calcul à la flexion étant donné que le renfort à l'effort tranchant sollicitant de calcul défavorable $\mathbf{V_{Ed}}$ n'est pas supérieur à 50% de la résistance de calcul à l'effort tranchant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.59 kN ≤ 51.67 kN ✓

Les efforts sollicitants de calcul défavorables se produisent pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.59* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Effort tranchant résistant de calcul. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *103.34* kN

Résistance au moment fléchissant Z et à l'effort tranchant Y combinés (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.8)

Il n'est pas nécessaire de réduire la résistance de calcul à la flexion étant donné que le renfort à l'effort tranchant sollicitant de calcul défavorable $\mathbf{V_{Ed}}$ n'est pas supérieur à 50% de la résistance de calcul à l'effort tranchant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.63 kN ≤ 71.02 kN ✓

Les efforts sollicitants de calcul défavorables se produisent pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.63* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Effort tranchant résistant de calcul. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *142.04* kN

Résistance à la flexion et à l'effort normal combinés (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.9)

Doit être respecté:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$

η : ***0.724*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : ***0.945*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : ***0.945*** ✓

Les efforts sollicitants de calcul défavorables se produisent au noeud N43, pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

Où:

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Effort normal de traction sollicitant de calcul. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *0.40* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}^{-}}$: *13.93* kN·m

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Moments fléchissants sollicitants de calcul défavorables, selon les axes Y et Z, respectivement.

$M_{z,Ed}^-$: *1.24* kN·m

Classe: Classe de la section, selon la capacité de déformation et de déroulement de la résistance plastique de ses éléments plans, pour l'effort normal et la flexion simple.

Classe : *1*

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Moments fléchissants résistants plastiques réduits de calcul, autour des axes Y et Z, respectivement.

$M_{N,Rd,y}$: *20.75* kN·m
$M_{N,Rd,z}$: *4.54* kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rdy} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$n \leq a \rightarrow M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = 2 \; ; \; \beta = 5 \cdot n \geq 1$$

α : *2.000*
β : *1.000*

Avec:

$$n = N_{t,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : *0.001*

$N_{pl,Rd}$: Résistance à la traction.

$N_{pl,Rd}$: *385.40* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Résistance à la flexion de la section brute en conditions plastiques, par rapport aux axes Y et Z, respectivement.

$M_{pl,Rd,y}$: *20.75* kN·m
$M_{pl,Rd,z}$: *4.54* kN·m

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$

a : *0.39*

A: Aire de la section brute. **A** : *16.40* cm²
b: Largeur de l'aile. **b** : *7.30* cm
t_f: Épaisseur de l'aile. **t_f** : *6.90* mm

Résistance au flambement: (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.3.3)

A: Aire de la section brute. **A** : *16.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Modules résistants plastiques correspondant à la fibre de plus grande tension, autour des axes Y et Z, respectivement.

$W_{pl,y}$: *88.30* cm³
$W_{pl,z}$: *19.30* cm³

f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier. **f_{yd}** : *235.00* MPa

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M1}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) **f_y** : *235.00* MPa

γ_{M1}: Coefficient partiel de sécurité du matériau. **γ_{M1}** : *1.00*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coefficients d'interaction.

K_{yy} : *1.00*
K_{yz} : *1.00*
K_{zy} : *1.00*
K_{zz} : *1.00*

χ_{LT}: Coefficient de réduction par déversement. **χ_{LT}** : *1.00*

Résistance à la flexion, à l'effort normal et à l'effort tranchant combinés (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.10)

Il n'est pas nécessaire de réduire les résistances de calcul à la flexion et à l'effort normal, car l'effet de voilement par effort tranchant peut être ignoré et, de plus, l'effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable **V_{Ed}** est inférieur ou égal à 50% de l'effort tranchant résistant de calcul **$V_{c,Rd}$**.

Les efforts sollicitants de calcul défavorables se produisent pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

0.59 kN ≤ 50.44 kN ✓

Où:

$V_{Ed,z}$: Effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable. **$V_{Ed,z}$** : *0.59* kN

$V_{c,Rd,z}$: Effort tranchant résistant de calcul. **$V_{c,Rd,z}$** : *100.88* kN

Résistance à la torsion (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.7)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.059*** ✓

L'effort sollicitant de calcul défavorable se produit pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

$M_{T,Ed}$: Moment torseur sollicitant de calcul défavorable. **$M_{T,Ed}$** : *0.03* kN·m

Le moment de torsion résistant de calcul **$M_{T,Rd}$** est donné par:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$: *0.47* kN·m

Où:

W_T: Module de résistance à la torsion. **W_T** : *3.48* cm³

f_{yd}: Résistance de calcul de l'acier. **f_{yd}** : *235.00* MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Avec:

f_y: Limite d'élasticité. (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Tableau 3.1) **f_y** : *235.00* MPa

γ_{M0}: Coefficient partiel de sécurité du matériau. **γ_{M0}** : *1.00*

Résistance à l'effort tranchant Z et au moment de torsion combinés (Eurocode 3 NF EN 1993-1-1/NA: 2007-05, Article 6.2.7)

Doit être respecté:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.115*** ✓

Les efforts sollicitants de calcul défavorables se produisent au noeud N43, pour la combinaison d'actions 1.35·PP+1.35·G1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Effort tranchant sollicitant de calcul le plus défavorable. **V_{Ed}** : *11.59* kN

$M_{T,Ed}$: Moment torseur sollicitant de calcul défavorable. **$M_{T,Ed}$** : *0.03* kN·m

L'effort tranchant résistant de calcul réduit **$V_{pl,T,Rd}$** est donné par:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd}/\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *100.88* kN

Où: