



Vérification de capacité portante de structures à accepter des installations photovoltaïques

Centre Technique Municipal de Chamonix

NOTICE DIAGNOSTIC DES STRUCTURES



Vérification de capacité portante de structures à accepter des installations photovoltaïques

Centre Technique Municipal de Chamonix

NOTICE DIAGNOSTIC des STRUCTURES

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	CONTROLÉ(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
0	Version initiale	CBN	GBD		09/05/2023
ARTELIA					

SOMMAIRE

1.	GENERALITES	4
1.1.	Objet	4
1.2.	Périmètre du lot	4
2.	ETATS EXISTANTS	5
2.1.	Cadre réglementaire.....	5
2.1.1.	Site de construction.....	5
2.1.2.	Charges de neige	5
2.1.3.	Charges de vent.....	6
2.1.4.	Charge sismique	6
2.2.	Principe structurel	6
2.2.1.	Bâtiment du CTM	7
2.2.2.	Préau du CTM.....	7
3.	FAISABILITE DU PROJET	9
3.1.	Hypothèses de charges.....	9
3.1.1.	Charges permanentes.....	9
3.1.1.1.	Bâtiment du CTM	9
3.1.1.2.	Préau du CTM.....	9
3.1.2.	Charges d'exploitation.....	9
3.1.3.	Charges de neige	10
3.1.3.1.	Bâtiment du CTM	10
3.1.3.2.	Préau du CTM.....	10
3.2.	Vérifications	12
3.2.1.	Bâtiment du CTM	12
3.2.1.1.	Vérification des dalles	12
3.2.1.2.	Vérification des porteurs verticaux et des poutres	13
3.2.2.	Préau du CTM.....	13
3.2.2.1.	Vérification des pannes.....	14
3.2.2.2.	Vérification des portiques	14
4.	CONCLUSIONS	17

1. GENERALITES

1.1. OBJET

Le présent document concerne le diagnostic de la structure du bâtiment et du préau du Centre Technique Municipal (CTM) situé sur la commune de Chamonix (74) en vue de l'installation future de panneaux photovoltaïques en toiture de ces derniers.

1.2. PERIMETRE DU LOT

Le présent document concerne le lot structure uniquement.

La présente note se limite exclusivement au bâtiment suivant :

- Centre Technique municipal et son préau situé Route des papillons.

Les corps d'état intéressés par ce diagnostic sont la charpente métallique et le gros œuvre.



Fig. 1 - Repérage du bâtiment

Bâtiment	Année de construction	Année de la dernière réhabilitation	Remarque
Centre Technique Municipal	2019	Aucune	Structure en béton armé
Préau du CTM	2019	Aucune	Charpente composée de pannes et portiques métalliques.

Tabl. 1 - Années de construction des ouvrages

Il nous a été transmis les documents suivants :

- DOE du lot gros œuvre du bâtiment (plans de coffrage, de ferrailage, plan des éléments préfabriqués, plan de recollement, fiches techniques, rapports d'essais)
- DOE du lot étanchéité du bâtiment (fiches produits, détails)
- DOE du lot charpente métallique du préau (plan d'implantation, note de calcul, produits utilisés)

Les documents manquant sont les suivants :

- Note de calcul gros œuvre
- Plan de ferrailage des dalles du PH R+1

2. ETATS EXISTANTS


2.1. CADRE REGLEMENTAIRE

Les constructions ont été dimensionnées selon le cadre réglementaire actuel (Eurocodes 0, 1, 2, 3 et 8)

2.1.1. Site de construction


Pays : France Code INSEE : 74056 Commune : Chamonix-Mont-Blanc / Canton : Mont-Blanc (Le) / Département : Haute-Savoie
Altitude du site : 1100m Durée du projet (ans) : 50 ans

2.1.2. Charges de neige


 Caractéristiques générales des charges de neige		
Région	E	
s_{k0}	1.4 kN/m ²	Valeur caractéristique de la charge de neige au niveau de la mer
s_k	4.3 kN/m ²	Valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol pour l'altitude considérée

s_{Ad}	0 kN/m ²	Valeur de la charge exceptionnelle de neige sur le sol : s_{Ad}
----------	---------------------	---

2.1.3. Charges de vent

 Caractéristiques générales des charges de vent		
Région	1	
Rugosité du terrain	(IIIa) Campagne avec végétations et habitats très dispersés	
Orographie du terrain	Terrain plat ou de faible pente (Inférieur à 5%)	
z	8.15 m	Hauteur de calcul de la pression dynamique du vent
v_b	22m/s	Vitesse de référence du vent
$q_p(z)$	0.51 kN/m ²	Pression dynamique de pointe pour la hauteur de calcul z

2.1.4. Charge sismique

 Charges sismiques							
Zone	Importance	Classe de sol	Coefficients q	Coefficient S	Coefficient Beta	Accélération a_g	Accélération a_{vg}
-	-	-	-	-	-	[m/s ²]	[m/s ²]
4	I/II	C	q horizontal = 1.5 q vertical = 1.5	1.5	0.2	1.28/1.6	1.15/1.44

Pour ce projet, nous vérifierons que l'augmentation des charges en toiture ne provoque pas une aggravation du comportement des structures vis-à-vis du séisme. Pour cela, en application de l'arrêté du 22 Octobre 2010 et du CT n°35 de l'AFPS, nous veillerons à ce que l'augmentation des charges soit limitée à 10 % de la masse totale du niveau.

2.2. PRINCIPE STRUCTUREL

Le bâtiment est constitué de quatre blocs séparés par des joints de dilatation :

- Les blocs Atelier, Bureaux et Stockage sont en RDC avec niveau enterré et mezzanine dans RDC ;
- Le bloc Aire de lavage est en RDC.

Il comprend aussi un préau en RDC.

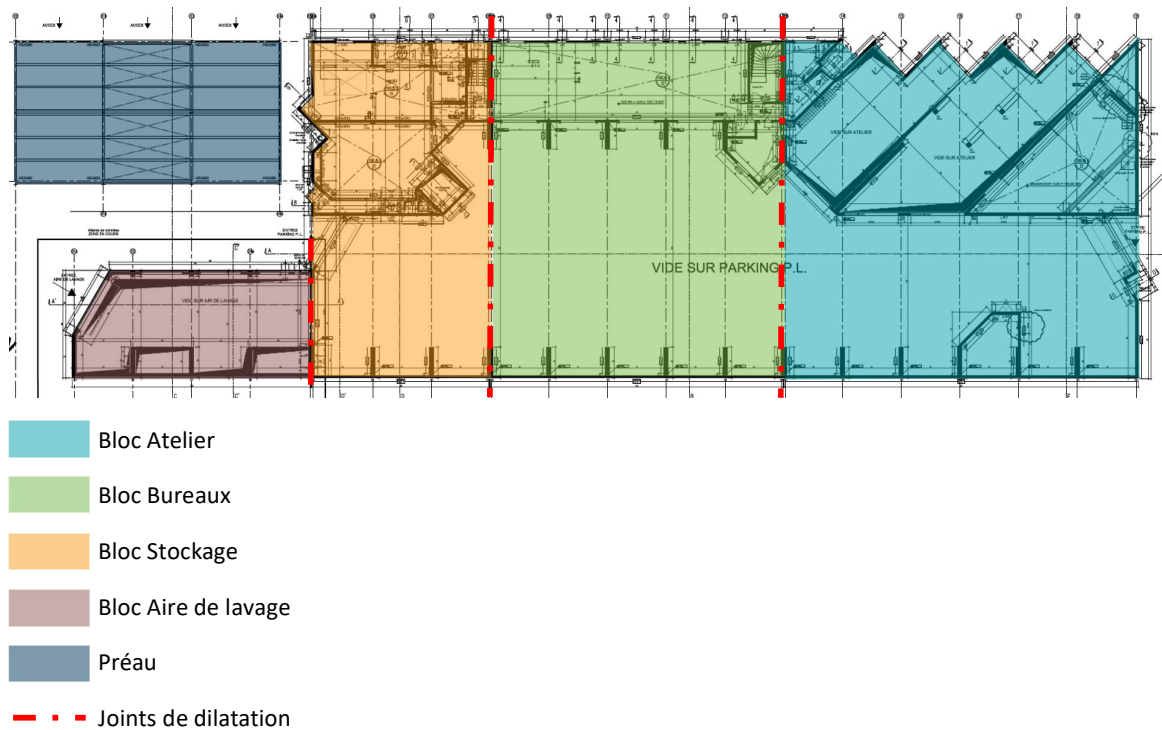


Fig. 2 - Repérage des blocs du bâtiment

2.2.1. Bâtiment du CTM

Le bâtiment est entièrement réalisé en béton armé, il est à usage de bureau et de stockage pour le matériel de la commune. Il comprend :

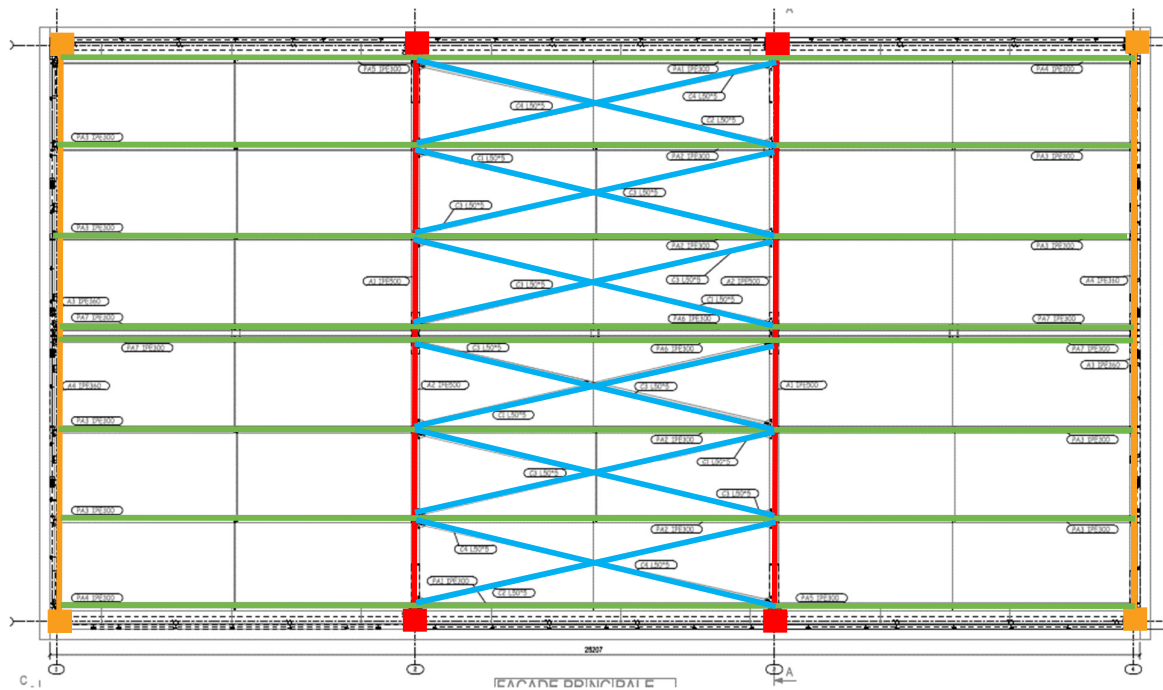
- Des fondations superficielles de type semelles isolées et semelles filantes (ponctuellement, les fondations sont de type puits sur gros béton) ;
- Un plancher bas de type dallage réalisé en béton armé ;
- Une superstructure (poteaux, poutres, voiles et dalles) en béton armé ;
- Un plancher de toiture en béton armé avec étanchéité asphalte et protection lourde (6 cm de gravier) ;

2.2.2. Préau du CTM

Le préau est réalisé en charpente métallique. Il comprend :

- Des fondations superficielles de type semelles isolées ;
- Un soutènement en façade Sud-Est ;
- Un plancher bas de type dallage réalisé en béton armé ;
- Des portiques métalliques avec un entraxe de 8,30 m et constitués de :

- Poteaux HEA 500 (HEA 360 au niveau des pignons) avec fixation par pré scellement en pied ;
- Poutres IPE 500 (IPE 360 au niveau des pignons) avec jarrets et boulonnées sur les poteaux et au faîtage ;
- Des pannes IPE 300 déversées avec un entraxe maximal de 2,10 m
- Des croix de contreventement sur la toiture







-  Portiques en charpente métallique (HEA 500 et IPE 500)
-  Portiques en charpente métallique (HEA 360 et IPE 360)
-  Pannes
-  Contreventements

Fig. 3 - Principe structurel du préau

3. FAISABILITE DU PROJET

Le projet consiste en l'ajout de panneaux photovoltaïques. Cela implique une augmentation des charges permanentes en toiture.

3.1. HYPOTHESES DE CHARGES

3.1.1. Charges permanentes

3.1.1.1. Bâtiment du CTM

Complexe actuel :

- Graviers ép : 6 cm	→	120	daN/m ²
- Etanchéité bitumineuse	→	5	daN/m ²
- Isolant	→	10	daN/m ²
- Pare-vapeur	→	5	daN/m ²
- Réseaux	→	5	daN/m ²
- Divers	→	5	daN/m ²
- Total actuel	→	150	daN/m ²
- Panneaux photovoltaïques	→	25	daN/m ²
- Total futur	→	175	daN/m²

La structure de toiture étant une dalle en béton armé d'épaisseur minimum 20 cm, son poids est d'au moins 500 daN/m². L'ajout de charge générée par les panneaux photovoltaïques représente donc une augmentation des charges permanentes de l'ordre de 3,85 % (<10%). **Il n'y a donc pas d'aggravation du comportement au séisme de la structure.**

3.1.1.2. Préau du CTM

Complexe actuel :

- Couverture (Réf. 33.333.39T)	→	10	daN/m ²
- Divers	→	5	daN/m ²
- Total actuel	→	15	daN/m ²
- Panneaux photovoltaïques	→	18	daN/m ²
- Total futur	→	33	daN/m ²

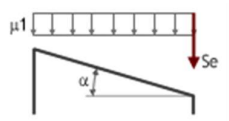
Le préau étant de catégorie d'importance I, la vérification au séisme n'a pas été réalisée, **il n'est donc pas nécessaire de vérifier que l'augmentation des charges se trouve dans la limite du seuil défini plus haut.**

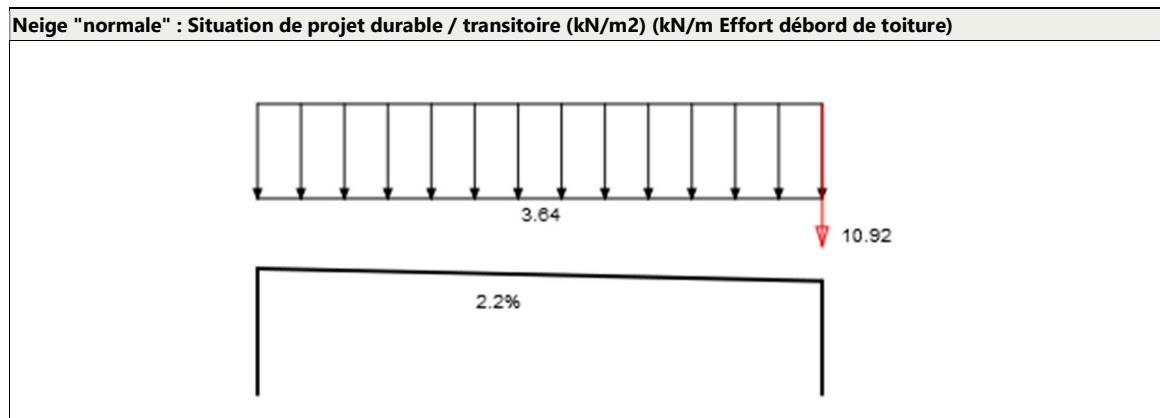
3.1.2. Charges d'exploitation

D'après l'eurocode 1 partie 1-1, les charges d'exploitation pour une toiture non accessible sont de 80 kg/m² sur une surface de 10m² (charge surfacique) ou 150 kg (charge ponctuelle)

3.1.3. Charges de neige

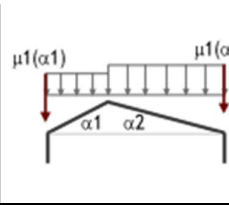
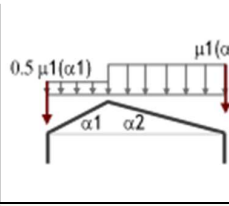
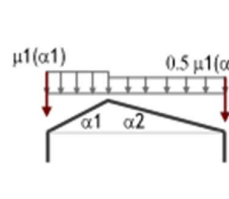
3.1.3.1. Bâtiment du CTM

Charges de neige S (Normale), Sa (Accidentelle)		
Valeur caractéristique (s_k) et exceptionnelle (s_{Ad}) de la charge de neige sur le sol pour l'altitude considérée Région de neige : E ; Altitude : 1100m		
s_k	4.3kN/m ²	$s_k = s_{k0} + 7 \times A - 4800 = 1.4 + (7 \times 1100 - 4800) \times 1/1000 = 4.3\text{kN/m}^2$
s_{Ad}	0kN/m ²	$s_{Ad} = C_{esl}s_{k0} = 0 \times 1.4 = 0\text{kN/m}^2$
Coefficients		
C_e	1	Coefficient d'exposition (Site normal)
C_t	1	Coefficient thermique
Sans dispositifs de retenue de neige		
Cas de neige : S1		
		$S = \mu_1 C_t C_e s_k + s_{ice} = 0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3 + 0.2 = 3.64\text{kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = ks^2/\gamma = 2.47 \times 3.64^2/3000 = 10.92\text{kN/m}$

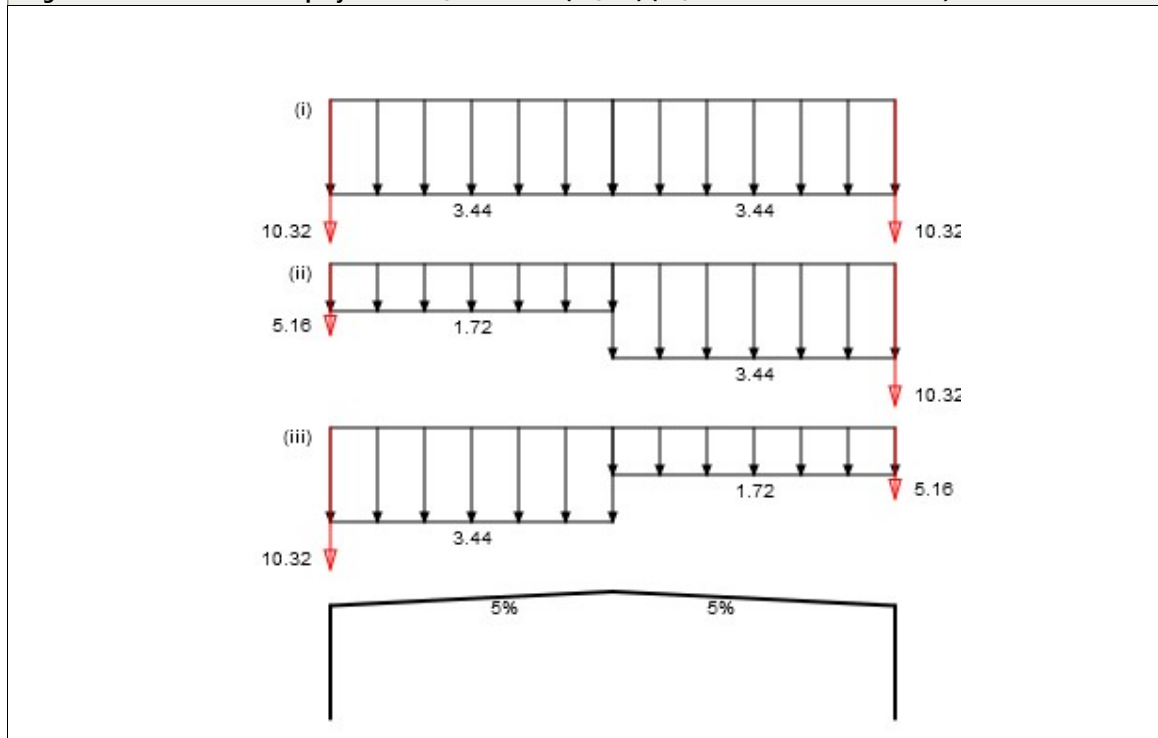


3.1.3.2. Préau du CTM

Charges de neige S (Normale), Sa (Accidentelle)		
Valeur caractéristique (s_k) et exceptionnelle (s_{Ad}) de la charge de neige sur le sol pour l'altitude considérée Région de neige : E ; Altitude : 1100m		
s_k	4.3kN/m ²	$s_k = s_{k0} + 7 \times A - 4800 = 1.4 + (7 \times 1100 - 4800) \times 1/1000 = 4.3\text{kN/m}^2$
s_{Ad}	0kN/m ²	$s_{Ad} = C_{esl}s_{k0} = 0 \times 1.4 = 0\text{kN/m}^2$
Coefficients		
C_e	1	Coefficient d'exposition (Site normal)
C_t	1	Coefficient thermique
Sans dispositifs de retenue de neige		
Cas de neige : S1		

	<p>Versant gauche</p> $S = \mu_1 C_t C_e S_k = 0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3 = 3.44 \text{ kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = k s^2 / \gamma = 2.62 \times 3.44^2 / 3000 = 10.32 \text{ kN/m}$ <p>Versant droite</p> $S = \mu_1 C_t C_e S_k = 0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3 = 3.44 \text{ kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = k s^2 / \gamma = 2.62 \times 3.44^2 / 3000 = 10.32 \text{ kN/m}$
Cas de neige : S2	
	<p>Versant gauche</p> $S = 0.5(\mu_1 C_t C_e S_k) = 0.5 \times (0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3) = 1.72 \text{ kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = 0.5(k s^2 / \gamma) = 0.5 \times (2.62 \times 3.44^2 / 3000) = 5.16 \text{ kN/m}$ <p>Versant droite</p> $S = \mu_1 C_t C_e S_k = 0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3 = 3.44 \text{ kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = k s^2 / \gamma = 2.62 \times 3.44^2 / 3000 = 10.32 \text{ kN/m}$
Cas de neige : S3	
	<p>Versant gauche</p> $S = \mu_1 C_t C_e S_k = 0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3 = 3.44 \text{ kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = k s^2 / \gamma = 2.62 \times 3.44^2 / 3000 = 10.32 \text{ kN/m}$ <p>Versant droite</p> $S = 0.5(\mu_1 C_t C_e S_k) = 0.5 \times (0.8 \times 1 \times 1 \times 4.3) = 1.72 \text{ kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$ $S_e = 0.5(k s^2 / \gamma) = 0.5 \times (2.62 \times 3.44^2 / 3000) = 5.16 \text{ kN/m}$

Neige "normale" : Situation de projet durable / transitoire (kN/m²) (kN/m Effort débord de toiture)

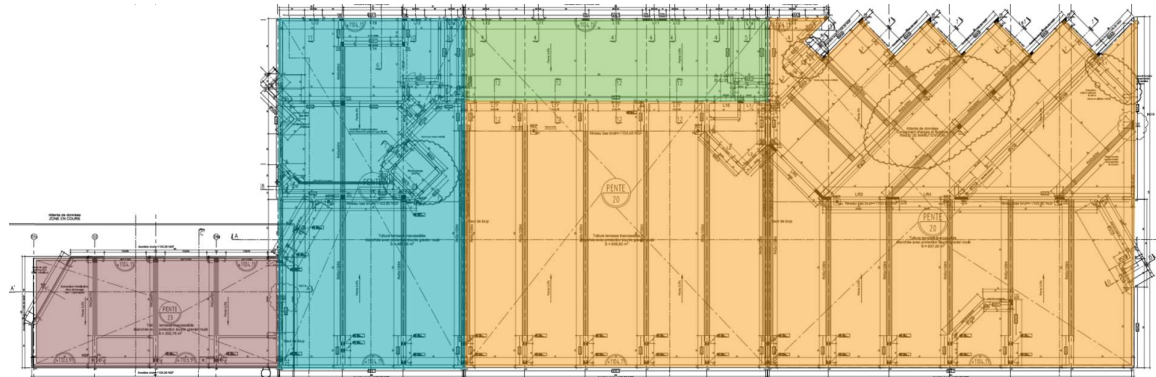


3.2. VERIFICATIONS

3.2.1. Bâtiment du CTM

3.2.1.1. Vérification des dalles

Il a été identifié quatre cas de figure :



- Dalle épaisseur 23 cm, portée max. de 5,58 m (Dalle 1)
- Dalle épaisseur 25 cm, portée max. de 5,58 m (Dalle 2)
- Dalle épaisseur 20 cm, portée max. de 6,62 m (Dalle 3)
- Dalle épaisseur 20 cm, portée max. de 7,44 m (Dalle 4)

Fig. 4 - Géométrie des dalles du bâtiment

Pour chaque cas de figure, nous comparerons les sollicitations initiales et finales tout en veillant à respecter les limites définies dans les eurocodes (notamment en terme de flèche) que ce soit en situation initiale ou finale. Pour cela, nous utiliserons le logiciel ARCHE 2022 (module Dalle EC2).

a) Dalle 1

Pour la portée et l'épaisseur données, dans les deux situations de calcul, les vérifications réglementaires (flèche, fissuration, ...) ont été au préalable réalisées par le calcul. Ces dernières ont été validées.

Sont donnés ci-dessous les moments calculés (à l'ELU) dans la dalle avant et après ajout de la charge de panneaux photovoltaïques :

Moment calculé (kN.m/ml)	Situation initiale	Situation finale	Variation du moment
En travée	51,4	52,6	+ 2,3 %
Aux appuis	7,7	7,9	+ 2,6 %

L'augmentation des moments dans la dalle sont jugés négligeables car inférieurs à 3 %.

b) Dalle 2

Pour la portée et l'épaisseur données, dans les deux situations de calcul, les vérifications réglementaires (flèche, fissuration, ...) ont été au préalable réalisées par le calcul. Ces dernières ont été validées.

Sont donnés ci-dessous les moments calculés (à l'ELU) dans la dalle avant et après ajout de la charge de panneaux photovoltaïques :

Moment calculé (kN.m/ml)	Situation initiale	Situation finale	Variation du moment
En travée	57,9	59,2	+ 2,2 %
Aux appuis	8,7	8,9	+ 2,3 %

L'augmentation des moments dans la dalle sont jugés négligeables car inférieurs à 3 %.

c) Dalle 3

Pour la portée et l'épaisseur données, dans les deux situations de calcul, les vérifications réglementaires (flèche, fissuration, ...) ont été au préalable réalisées par le calcul. Ces dernières ont été validées.

Sont donnés ci-dessous les moments calculés (à l'ELU) dans la dalle avant et après ajout de la charge de panneaux photovoltaïques :

Moment calculé (kN.m/ml)	Situation initiale	Situation finale	Variation du moment
En travée	71,1	72,7	+ 2,3 %
Aux appuis	10,7	10,9	+ 1,9 %

L'augmentation des moments dans la dalle sont jugés négligeables car inférieurs à 3 %.

d) Dalle 4

Pour la portée et l'épaisseur données, dans les deux situations de calcul, les vérifications réglementaires (flèche, fissuration, ...) ont été au préalable réalisées par le calcul. Le calcul de la flèche selon l'Eurocode 2 (cf. § 7.4.2 de l'EC2-1-1) nous donne, en situation initiale, une flèche totale de 50,4 mm or la flèche limite est de 29,8 mm (L/250). **Avec les informations en notre possession, la flèche n'est actuellement pas réglementaire. Nous conseillons en outre de ne pas ajouter de charges supplémentaire sur cette zone. Ainsi, il n'est pas possible d'y positionner des panneaux photovoltaïques.**

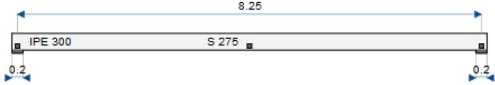
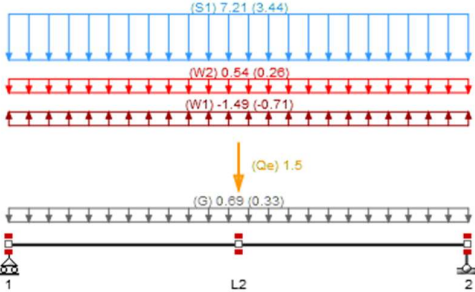
3.2.1.2. Vérification des porteurs verticaux et des poutres

Etant donné la faible augmentation des charges perçues, il n'est pas nécessaire de réaliser une nouvelle vérification de ces éléments. A titre d'exemple, la charge au m² (dalle comprise) est augmentée de 3,9 % ce qui est considéré comme négligeable.

3.2.2. Préau du CTM

La vérification de la charpente métallique a été réalisée via le logiciel ACORD.

3.2.2.1. Vérification des pannes

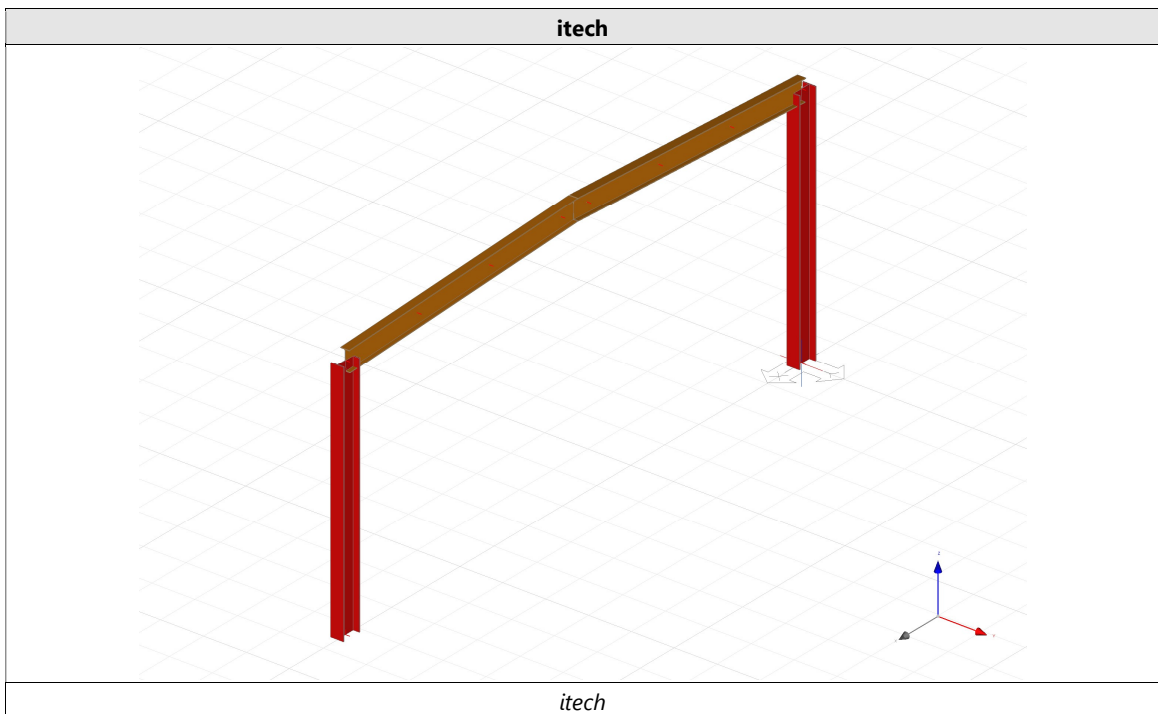
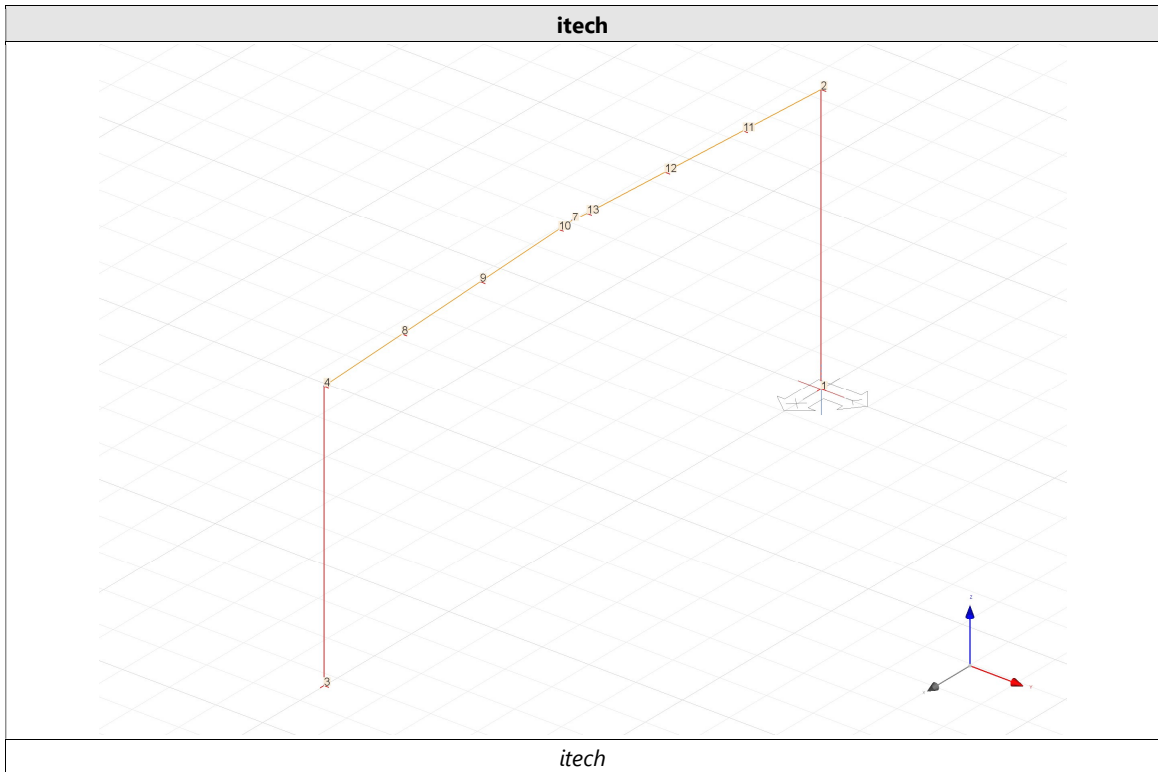
Géométrie de la structure et charges appliquées	
Géométrie	Cas de charges : kN, kN/m (kN/m2)
	

EC3 : Résultats pièces synthétiques				
Section	Résultats ELU (Résistances)		Résultats ELS (Flèches)	
Section	Résistance section	Stabilité	Flèches combinaisons ELS-CR	Flèches instantanées
IPE 300	62.96%	98.44%	73% (30.11mm)	63.65% (26.26mm)

3.2.2.2. Vérification des portiques

Points du modèle

Coordonnées des points									
Groupe : Points hors groupes typés									
Point	Nom point	X	Y	Z	Point	Nom point	X	Y	Z
-	-	m	m	m	-	-	m	m	m
1	-	0	0	0	2	-	0	0	5.7
3	-	13.36	0	0	4	-	13.36	0	5.7
7	-	6.68	0	6.03	8	-	11.26	0	5.81
9	-	9.15	0	5.91	10	-	7.05	0	6.02
11	-	2.1	0	5.8	12	-	4.19	0	5.91
13	-	6.29	0	6.01	-	-	-	-	-



Pièces du modèle

Propriétés des pièces									
Groupe : Pièces hors groupes typés									
Pièce identifiant	Nom	Points	Longueur	Vy	Ensemble de propriétés	Section	Matériau	Liaison origine	Liaison fin
1	-	1-2	5.7	0 ; 1 ; 0	P - 1	(3) HE 500 A	(1) S 275		
2	-	3-4	5.7	0 ; 1 ; 0	P - 1	(3) HE 500 A	(1) S 275		
4	-	7-10-9-8-4	6.69	0 ; 1 ; 0	P - 1	(2) IPE 500	(1) S 275		
5	-	7-13-12-11-2	6.69	0 ; -1 ; 0	P - 1	(2) IPE 500	(1) S 275		

Propriétés de section (membres standard)									
Nom section pièce	Nom section	S	Sry	Srz	It	Iy	Iz	Wely	Welz
-	-	mm ²	mm ²	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ³	mm ³
(2) IPE 500	-	11550	6400	5100	892900	481985000	21409000	1927900	214090
(3) HE 500 A	-	19750	13800	5880	3092700	869748000	103656000	3550000	691000

Conditions d'appui

Conditions d'appui : Points									
Point	Nom point	Ensemble de conditions aux appuis	U	V	W	Tx	Ty	Tz	Repère local
-	-	-	mm - kN/m	mm - kN/m	mm - kN/m	deg - kN*m/rad	deg - kN*m/rad	deg - kN*m/rad	-
3	-	BC - 1	U=0	V=0	W=0				-
1	-	BC - 1	U=0	V=0	W=0				-
4	-	BC - 1		V=0					-
2	-	BC - 1		V=0					-
8	-	BC - 1		V=0					-
9	-	BC - 1		V=0					-
10	-	BC - 1		V=0					-
11	-	BC - 1		V=0					-
12	-	BC - 1		V=0					-
13	-	BC - 1		V=0					-

Charges permanentes

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéros pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projection
-	-	-	-	-	-	-	kN/m	kN/m	-	-	-	-
1		4	-	0	0	-1	4.98	4.98	0%	100%	G	Rampant
1		5	-	0	0	-1	4.98	4.98	0%	100%	G	Rampant

Neige

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéros pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projection

NOTICE DIAGNOSTIC des STRUCTURES
VERIFICATION DE CAPACITE PORTANTE DE STRUCTURES A ACCEPTER DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

-	-	-	-	-	-	-	kN/m	kN/m	-	-	-	-
3		4	-	0	0	-1	28.55	28.55	0%	100%	G	Horizonta I
3		5	-	0	0	-1	28.55	28.55	0%	100%	G	Horizonta I

Vent normal 1

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéros pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projection
-	-	-	-	-	-	-	kN/m	kN/m	-	-	-	-
4		4	-	0	0	-1	1.49	1.49	0%	100%	L	Rampant
4		5	-	0	0	-1	1.49	1.49	0%	100%	L	Rampant

Vent normal 2

Tableau des charges réparties sur pièces												
Cas	Intitulé charge	Numéros pièces	Nom	Vx	Vy	Vz	P1	P2	Début	Fin	Repère	Projection
-	-	-	-	-	-	-	kN/m	kN/m	-	-	-	-
5		4	-	0	0	-1	-5.15	-5.15	0%	100%	L	Rampant
5		5	-	0	0	-1	-5.15	-5.15	0%	100%	L	Rampant

Vérfications réglementaires EC3

Pièces acier / Groupe : Pièces hors groupes typés											
Propriétés de la pièce				Résultats ELU (Résistances)				Résultats ELS (Flèches)			
Pièce	Nom	Section	Matériau	Effort normal	Cisaillement	Flexion	Stabilité	Flèches combinés ELS-CR	Flèches instantanés	Flèches second oeuvre	
1	-	HE 500 A	S 275	6.26%	9.48%	59.04%	59.59%	25.79% (4.9mm)	22.05% (4.19mm)	-	
2	-	HE 500 A	S 275	6,26%	9,48%	59,04%	59,59%	25,79% (4,9mm)	22,05% (4,19mm)	-	
4	-	IPE 500	S 275	4,07%	35,11%	106,26%	160,39%	31,54% (7,03mm)	26,97% (6,01mm)	-	
5	-	IPE 500	S 275	4,07%	35,11%	106,26%	160,39%	31,54% (7,03mm)	26,97% (6,01mm)	-	

D'après les résultats ci-dessus, les portiques ne permettent pas de reprendre une charge supplémentaire, il n'est donc pas possible d'installer des panneaux photovoltaïques en toiture du préau.

4. CONCLUSIONS

Ce rapport montre qu'une grande partie de la structure du bâtiment peut supporter de charges supplémentaires. Néanmoins une zone de ce dernier présente une portée trop importante, nous déconseillons donc la mise en œuvre de panneaux photovoltaïques sur cette dernière. De même, les portiques du préau ne permettent pas

l'ajout de nouvelles charges. Ainsi, les zones pouvant accueillir des panneaux photovoltaïques en toiture sont les suivantes :

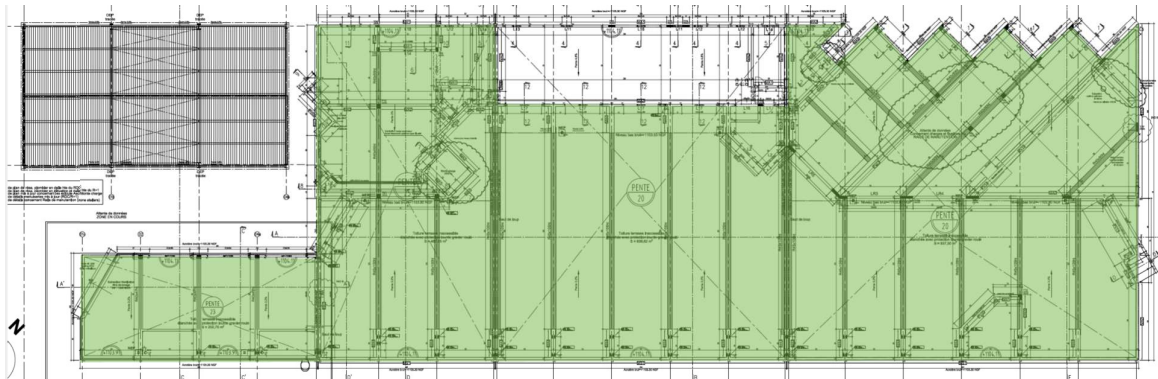


Fig. 5 - Toitures permettant la mise en œuvre de panneaux photovoltaïques

Pour rappel, le gravier a une masse volumique de 2000 kg/m³ donc une épaisseur de 1 cm représente une charge de 20 kg/m².