

Affaire : 4727.23– 231, avenue Clément Ader, 34170, Castelnau-le-Lez – CRITICAL BUILDING

Rapport technique

Etude structurelle dans le cadre de la mise en place de panneaux photovoltaïques

PROJET

231, avenue Clément Ader, 34170, Castelnau-le-Lez

CLIENT

CRITICAL BUILDING– 3 bis, rue du Docteur Soubise, 92260, Fontenay-aux-Roses



Date de diffusion	Indice	Rapport établi par	Vérification
07/12/2023	0	Thomas Lachaux	Alexis Gaboriau
13/12/2023	A	Thomas Lachaux	

Sommaire :

I. PRESENTATION GENERALE :	3
II. REFERENTIELS :	4
III. ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET :	5
1) Etude de l'existant :	5
2) Résultats des sondages/ferroscans réalisés :	9
3) Vérification aux calculs :	35
IV. CONCLUSION :	57

I. PRESENTATION GENERALE :

LCV Ingénierie, en qualité de Bureau d'Etudes Structures, a été missionnée par CRITICAL BUILDING pour réaliser l'étude de faisabilité structurelle dans le cadre du projet d'aménagement d'un ensemble de bâtiments situés 231, avenue Clément Ader, 34170, Castelnau-le-Lez.

Le projet prévoit la mise en place de panneaux solaires en toiture terrasse, représentant un poids d'environ 50 kg/m² (panneaux + lestage) à répartir sur la surface.

Notre mission consiste à réaliser :

- L'analyse des plans DOE si disponibles et des résultats des sondages,
- Le diagnostic du plancher des différentes toitures-terrasses (zones de l'étude),
- La vérification de la capacité portante vis-à-vis des charges projetées,
- La rédaction du présent rapport de synthèse, regroupant résultats de sondages, notes de calculs et préconisations de renforcement si nécessaires.

Nous vous rappelons que l'ensemble des documents nécessaires pour cette étude, plans, photos, notes de calculs, forment un ensemble complémentaire et indissociable.

II. REFERENTIELS :

Pour réaliser cette étude, nous avons effectué une visite sur site afin de visualiser l'état de la structure existante et d'effectuer des relevés.

En complément, nous avons reçu les éléments suivants :

- Plans de masse des bâtiments existants au format PDF et DWG,
- Plans d'implantation du projet au format PDF et DWG.

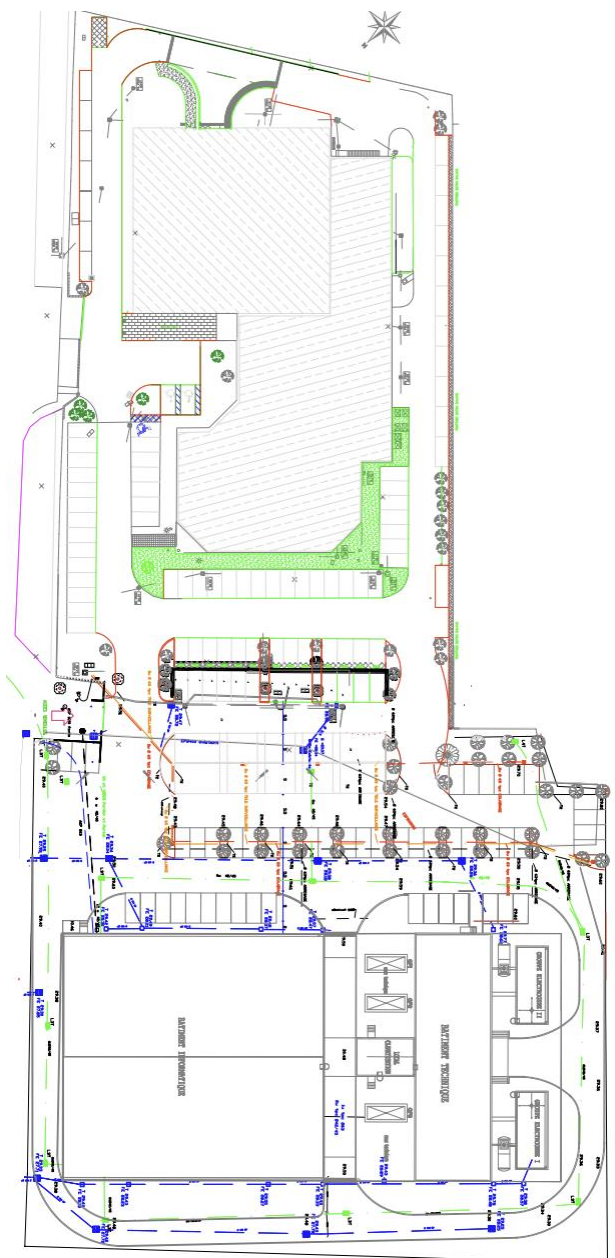
En complément, une campagne de sondages/ferroscans a été réalisée à notre demande pour permettre la mise en évidence des caractéristiques des éléments structurels qui composent les bâtiments.

III. ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET :

1) Etude de l'existant :

L'ensemble de bâtiments concernés par le projet sont constitués des niveaux suivants :

- Un rez-de-chaussée,
- Un ou deux niveaux d'étage en fonction des volumes,
- Une toiture terrasse technique.



Plan de masse des bâtiments existants

Le projet concerne plus particulièrement les surface en toiture des bâtiments suivantes :

- La terrasse du bâtiment B,
- La terrasse du bâtiment « Local GE »,
- La terrasse du bâtiment « Data Center ».



- La structure du bâtiment « local GE » concerné par l'étude est constituée d'un système « poteaux / poutres » en béton armé, contre lequel on retrouve un remplissage en maçonnerie.

Le plancher haut de ce local est composé de dalles alvéolaires précontraintes. La portée maximale mesurée sur cette surface de plancher est de 11,50 m.



- La structure du bâtiment B concerné par l'étude est constituée de poutres précontraintes en béton armé sur lesquelles on retrouve une dalle en béton armé de 18 cm d'épaisseur. La portée maximale mesurée sur ces surfaces de plancher est de 6,60 m.



- Enfin, la structure du bâtiment « Data Center » est composée de voiles en béton armé sur lesquels sont mises en place des dalle alvéolaires précontraintes.

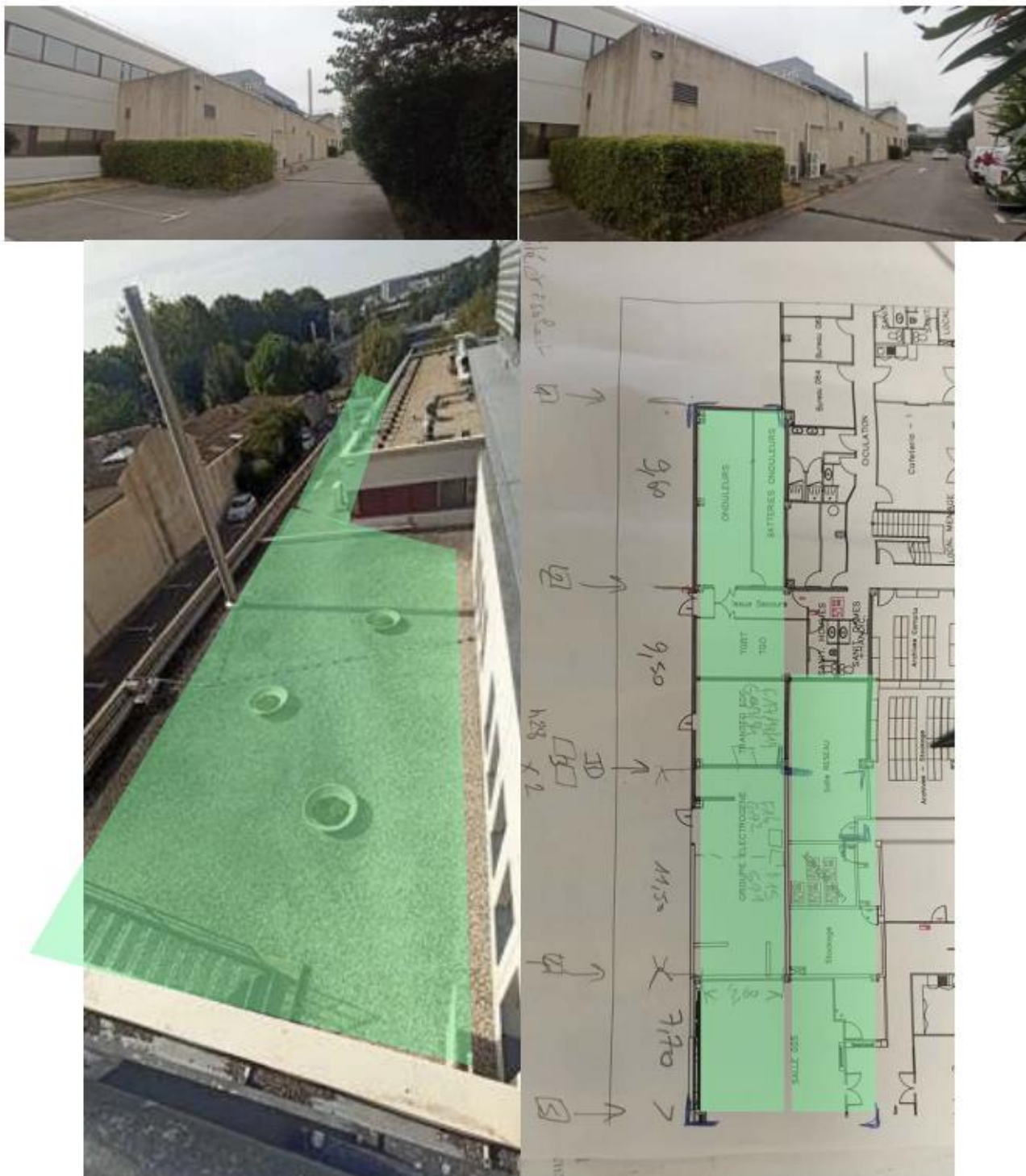
La portée maximale de ce plancher est d'environ 10,00 m.



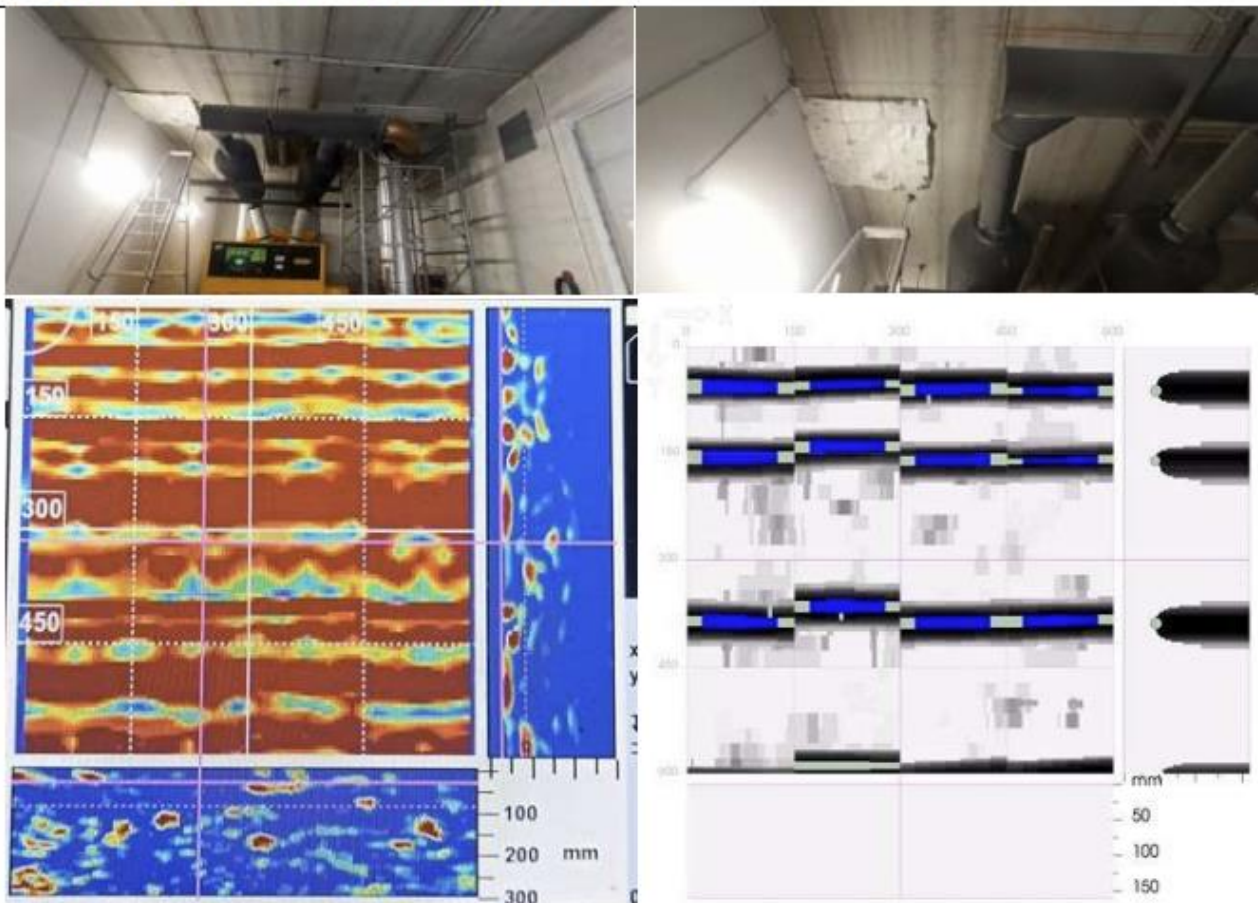
- Des sondages et ferroscons ont été réalisés pour permettre la mise en évidence des caractéristiques de ces éléments structurels. Ces résultats sont regroupés dans la partie ci-après.

2) Résultats des sondages/ferroscans réalisés :

LOCAL GE



LOCAL GE - S1 G91F15 - PH

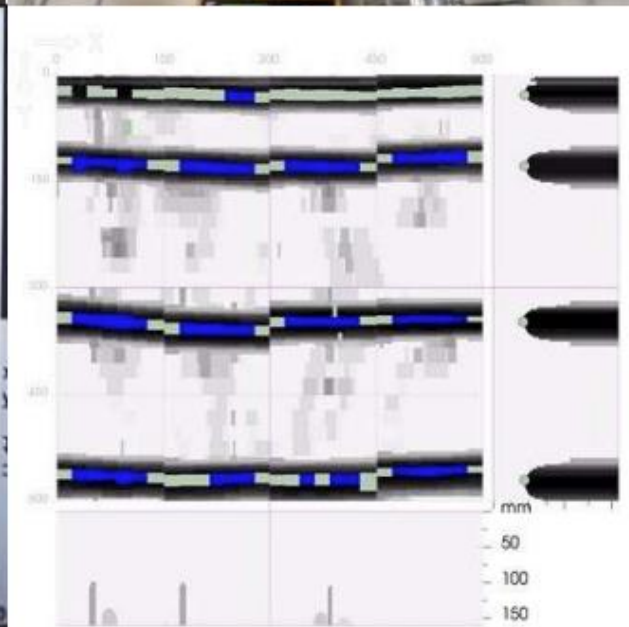
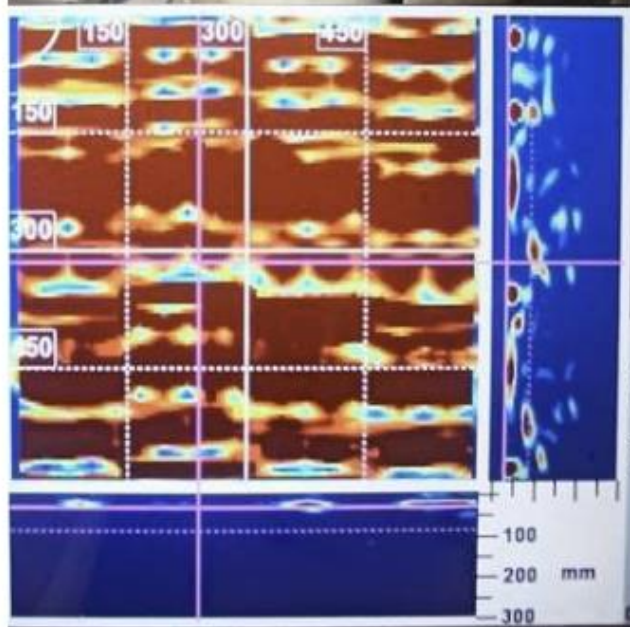


COMPOSITION PH VOIR S4

DALLE PREFABRICATION ALVÉOLAIRE 25cm LARGEUR 1,20m PORTÉE 11,50m

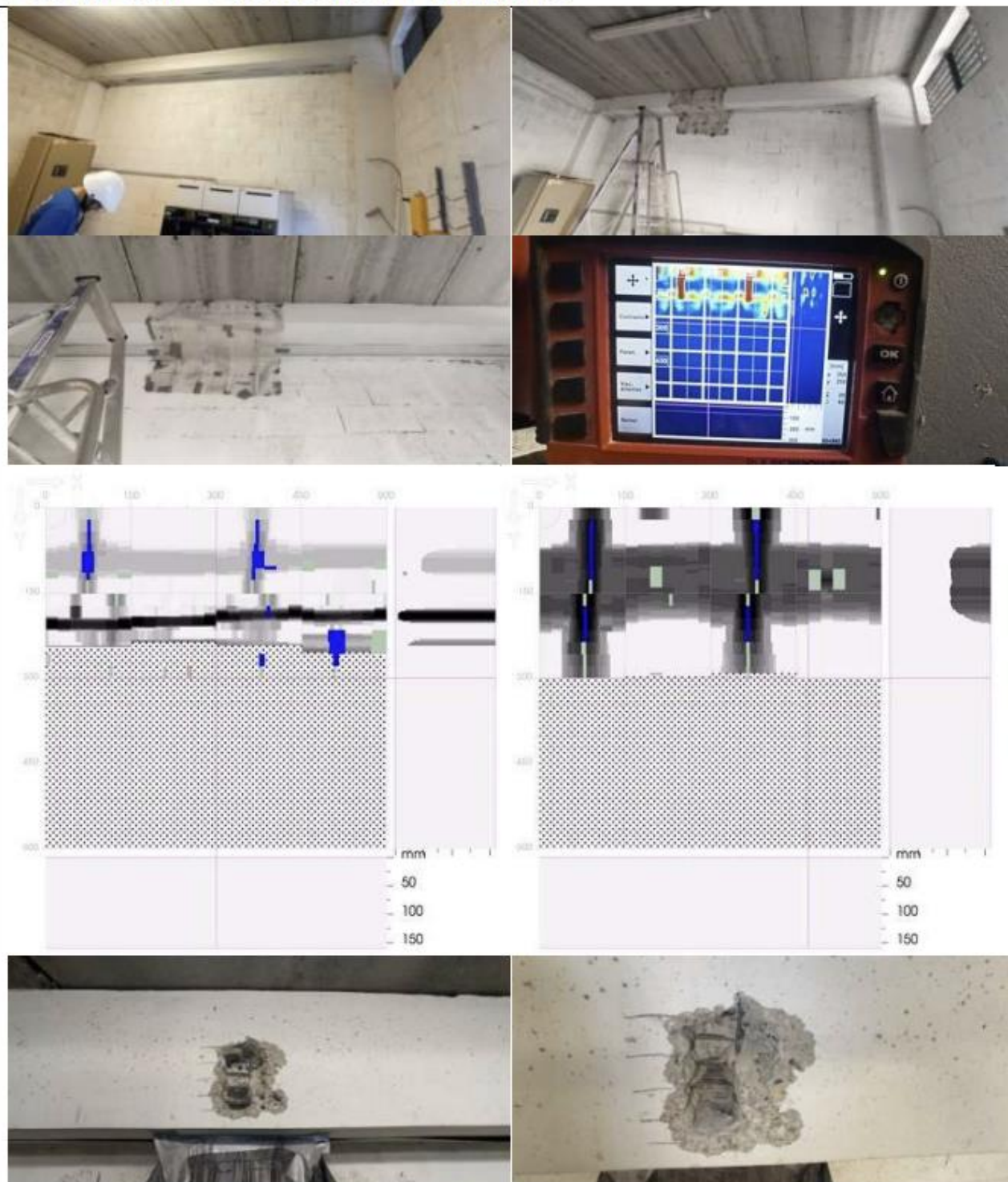
ARMATURES VOIR S6

LOCAL GE - S2 G92F16 - PH



SIMILAIRE S1

LOCAL GE - S3 G93/94 F17/18/19



PAIRE DE POUTRE PRÉCONTRAINTES SÉPARÉES PAR UN JD

HAUTEUR 28cm LARGEUR 25cm PORTÉE 4,60m

5 LITS DE 4 FILS DIAMÈTRE 6,8mm ESPACEMENT 23x23mm ENROBAGE LATÉRAL 65mm

CADRES HA8 ENTRAXE 280 ENROBAGE 55x20mm

LOCAL GE - S4



COMPOSITION PLANCHER
GRAVILLONS 6cm
COMPLEXE ETANCHEITE 11cm
DALLE PREFA ALVEOLAIRE 25cm

LOCAL GE - S5



DALLE PREFA ALVÉOLAIRE ÉPAISSEUR 25cm LARGEUR 1,20m

ARMATURES

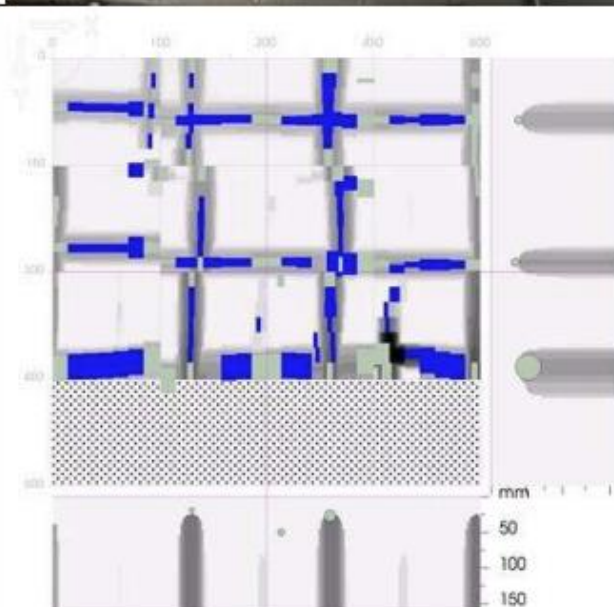
5 ALVÉOLES HAUTEUR 20cm LARGEUR 17cm ENROBAGE INFÉRIEUR 25mm

6 CÂBLES DIAMÈTRE 12,5mm ENROBAGE 35mm ENTRAXE 220mm COMPOSÉS DE 7 FILS DE 4,2mm

BAT B

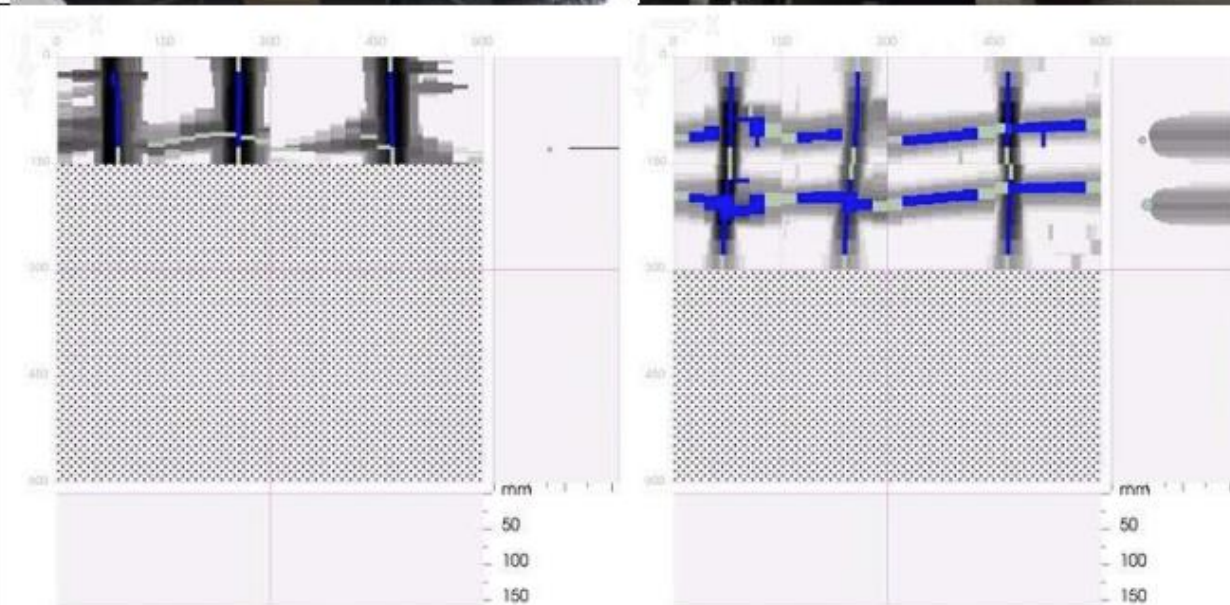


BAT B - P1 G95F20



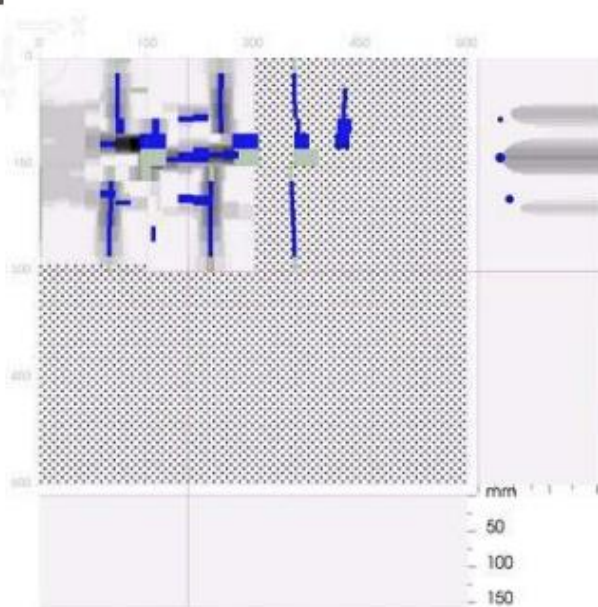
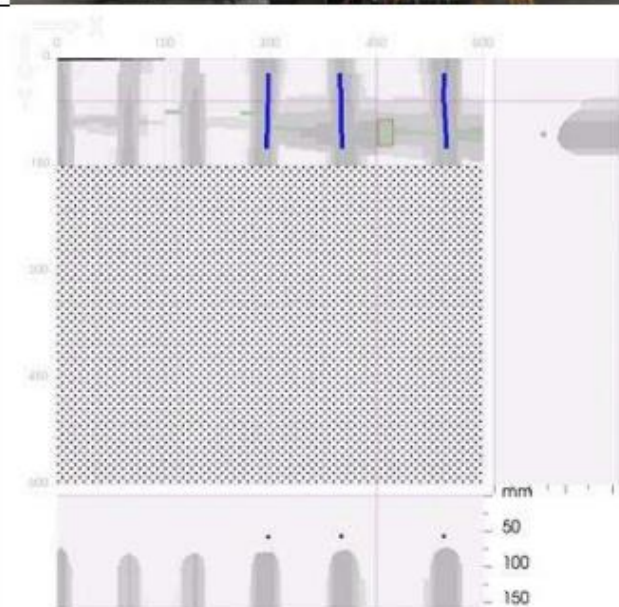
P1 RIVE RETOMBÉE 60 LARGEUR 20cm PORTÉE 660cm (x4 OCCURENCES SUR LE PLAN)
 Armatures voir p2C

BAT B – P3 G96 F21/22



P3 PORTÉE 385 (x8 OCCURRENCES SUR LE PLAN) RETOMBÉE 20 LARGEUR 30cm

BAT B – P2 G97 F23/24



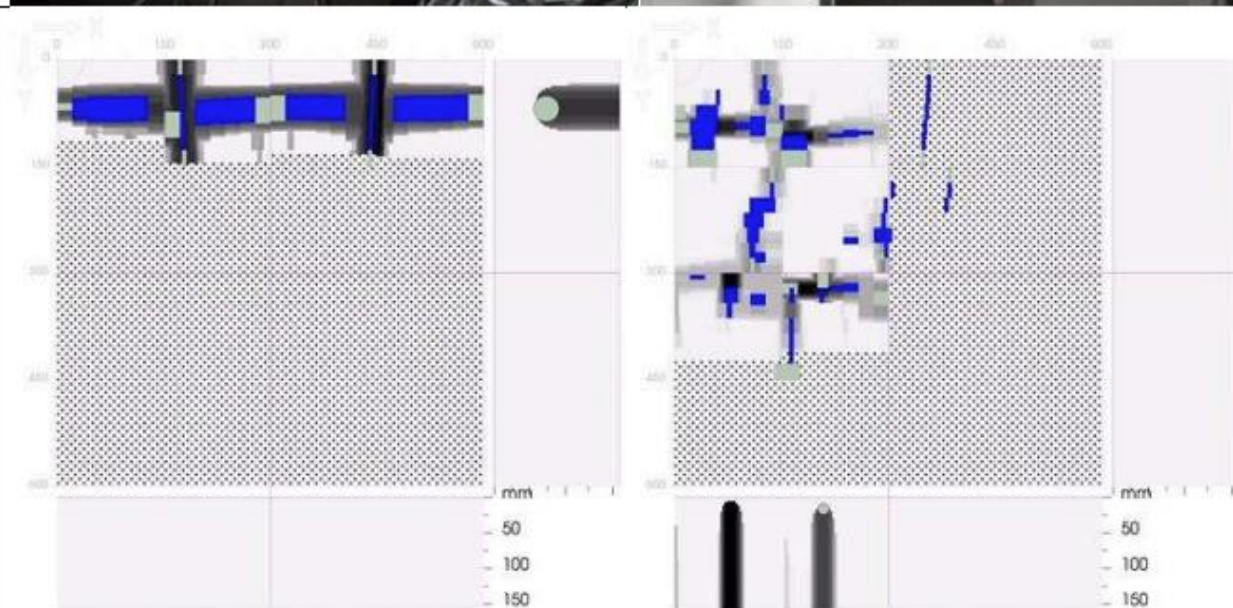
P2 VOIR P2C

BAT B – P2c



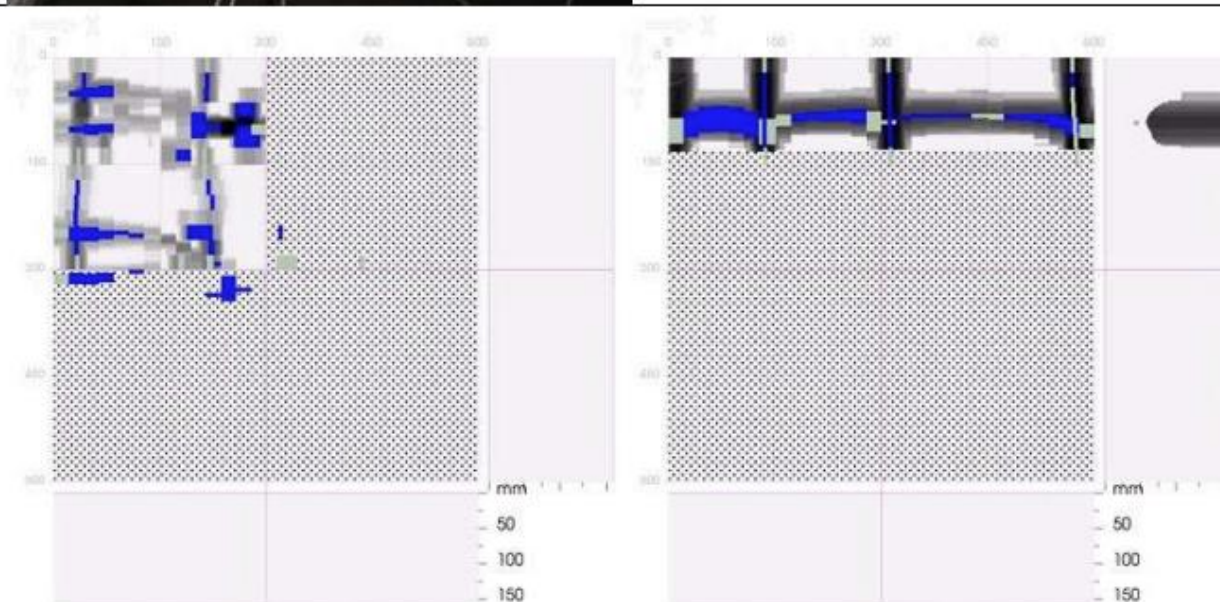
P2c PORTÉE 660 (x8 OCCURRENCES SUR LE PLAN) RETOMBÉE 20 LARGEUR 30cm
 P2c 2 LITS DE 5 FILS 6,8 CADRES HA8 ENTRAXE 200 (10 À L'APPUI)

BAT B – P7 (JD) G98 F25/26



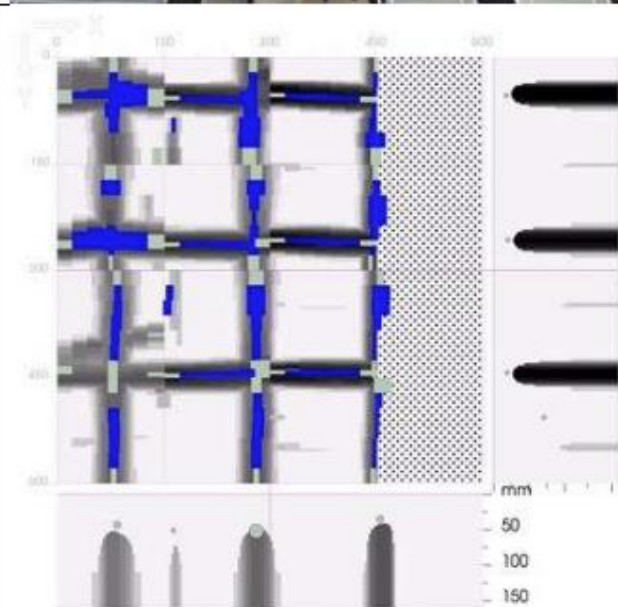
P7 JD PORTÉE 660 (x2 OCCURRENCES SUR LE PLAN) RETOMBÉE 21 LARGEUR 20cm
 Armatures voir p2C

BAT B – P8 (JD) G99 F27/28



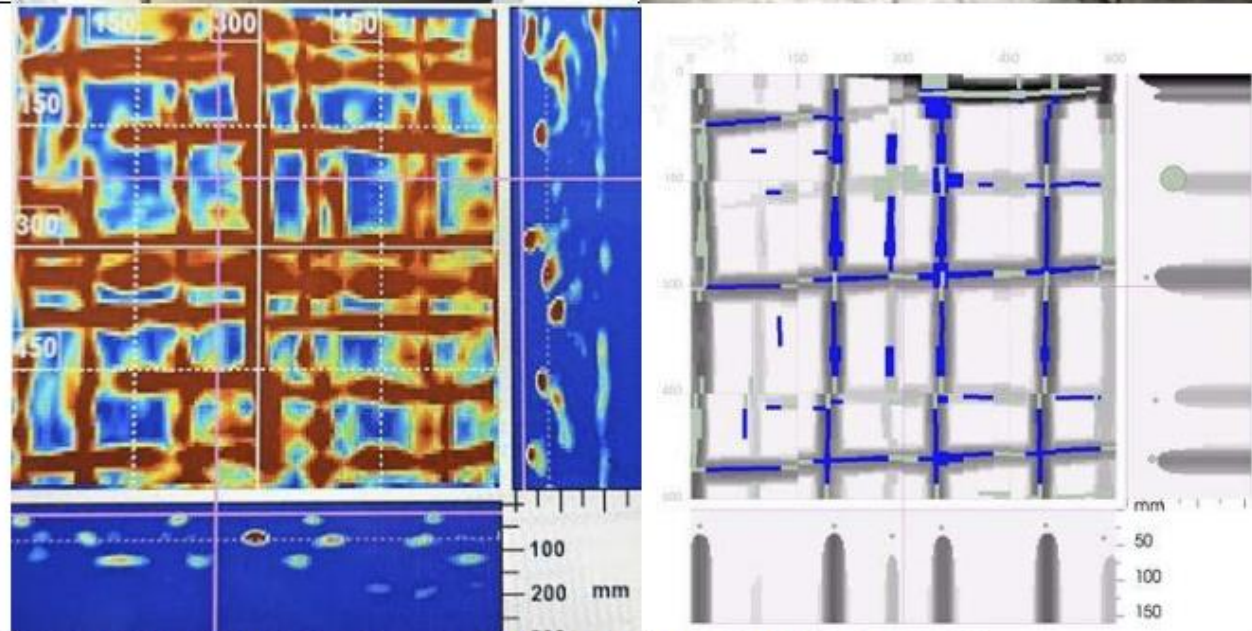
P8 JD PORTÉE 385 (x2 OCCURRENCES SUR LE PLAN) RETOMBÉE 21 LARGEUR 20cm

BAT B – P4 G00 F29



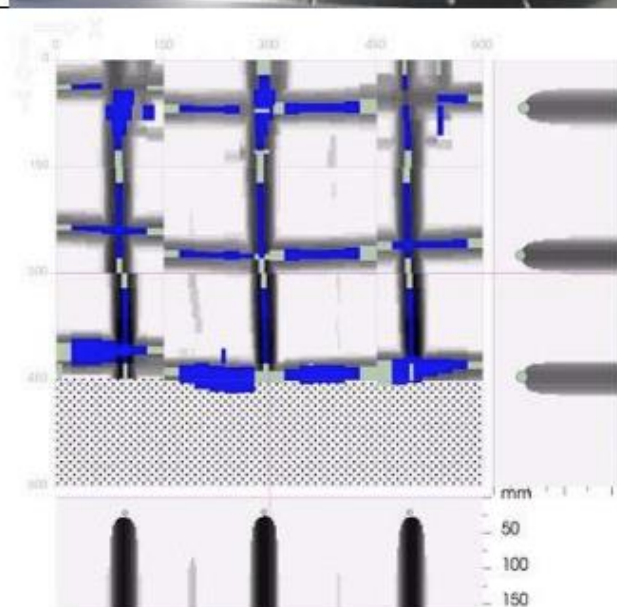
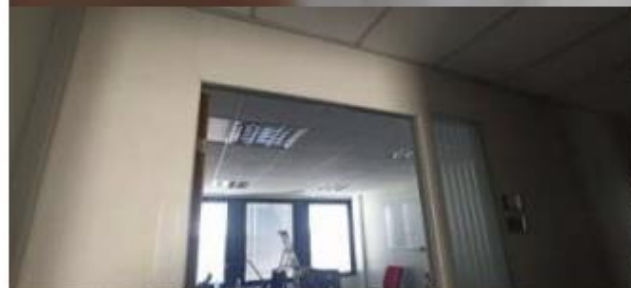
P4 RIVE RETOMBÉE 60 LARGEUR 20cm PORTÉE 385 (x4 OCCURRENCES SUR LE PLAN)

BAT B – PH10 G01 F30



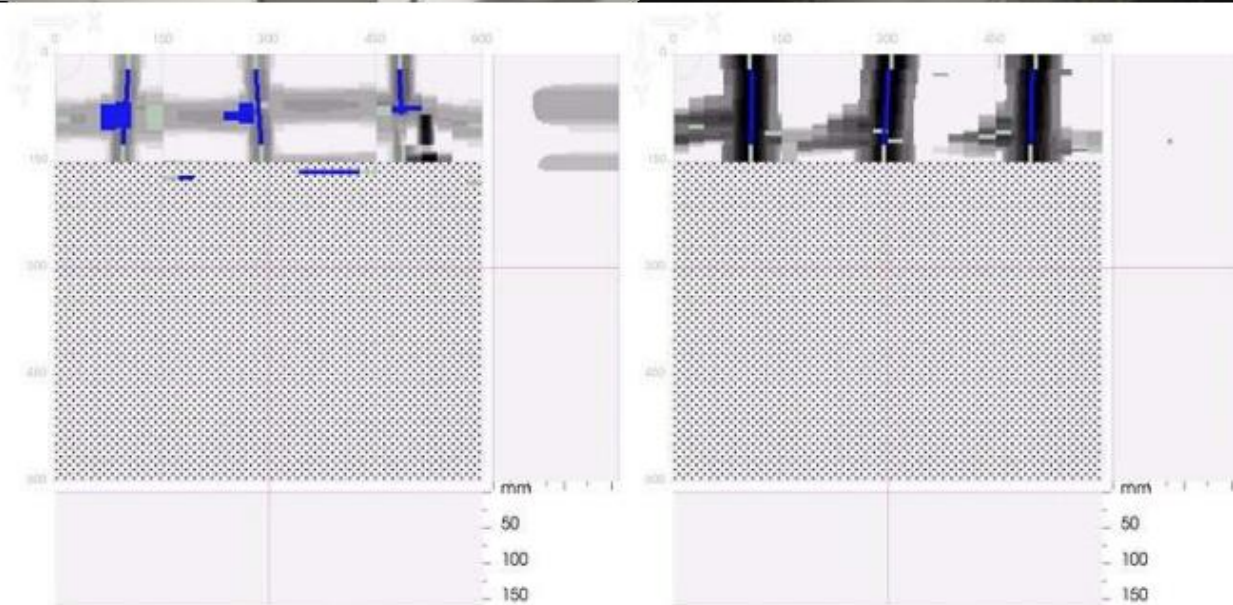
PH 10 PREDALLES LARGEUR 2,5m SUR POUTRES PRECONTRAINTES CLAVETÉES

BAT B – P5 G02 F31



P5 RIVE RETOMBÉE PORTÉE 660 (x4 OCCURRENCES SUR LE PLAN) RETOMBÉE 60 LARGEUR 20cm
 Armatures voir p2C

BAT B – P6 F32/33



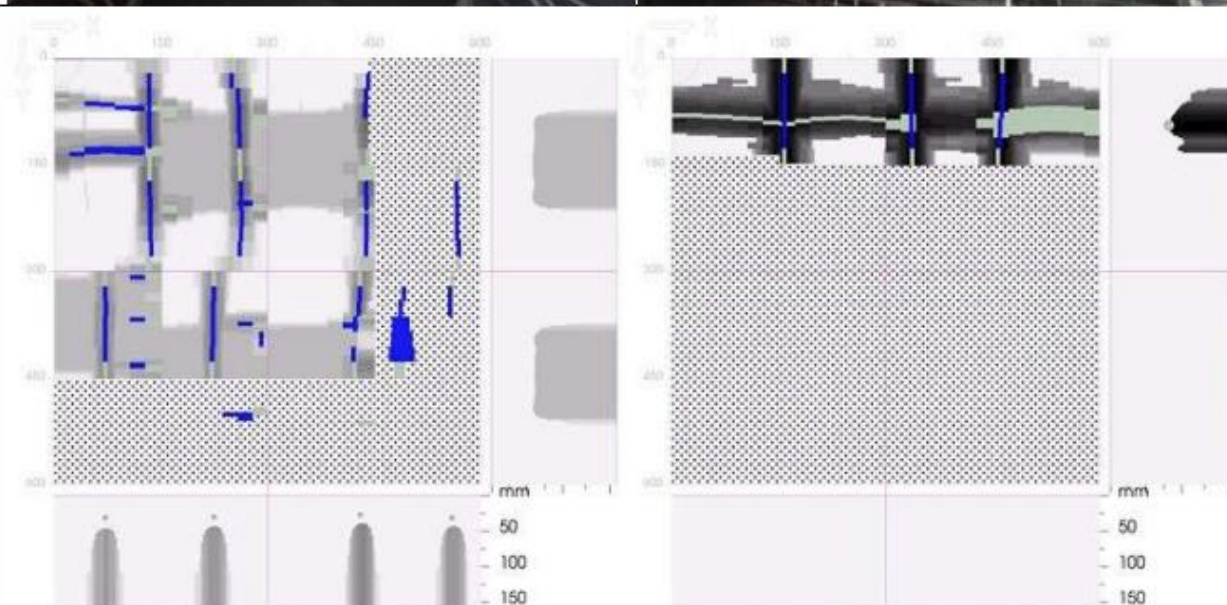
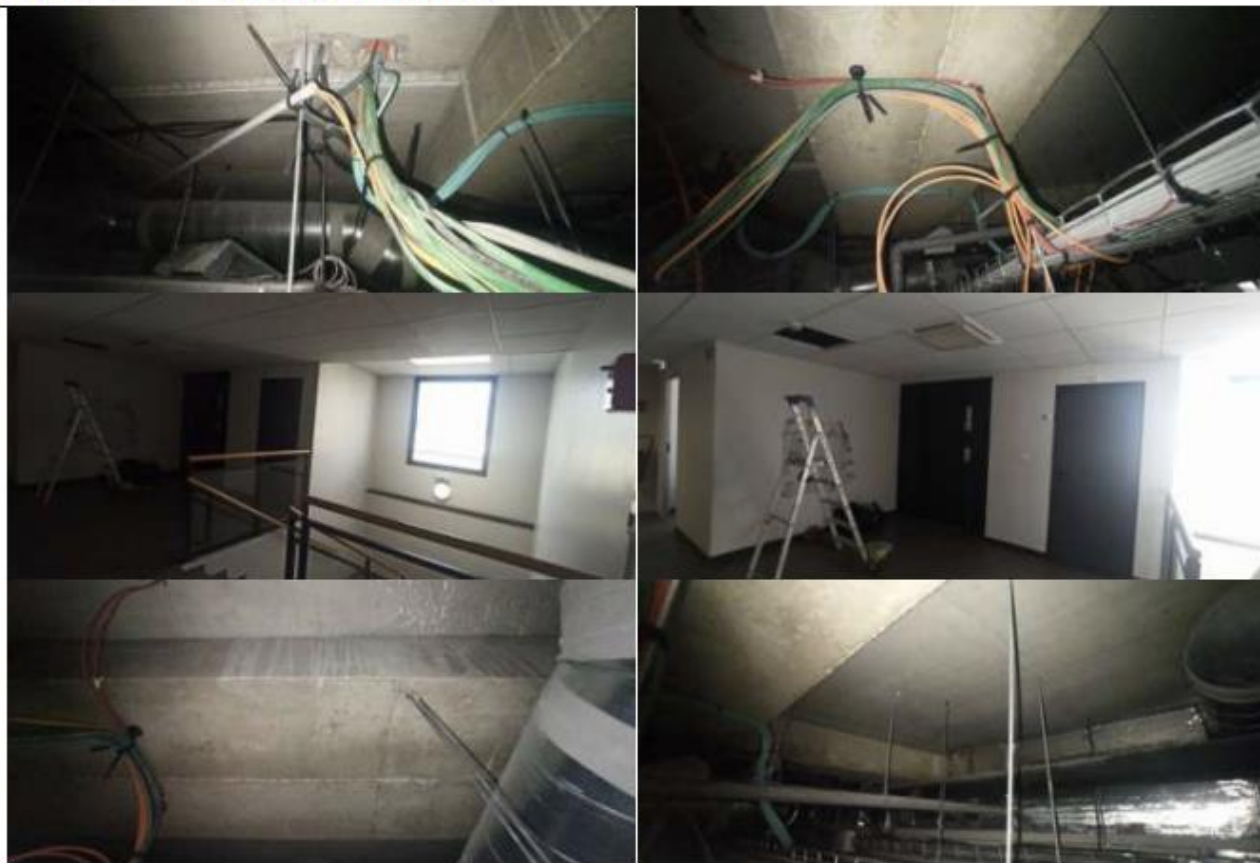
P6 RETOMBÉE 30 LARGEUR 20cm

BAT B – Ph6b



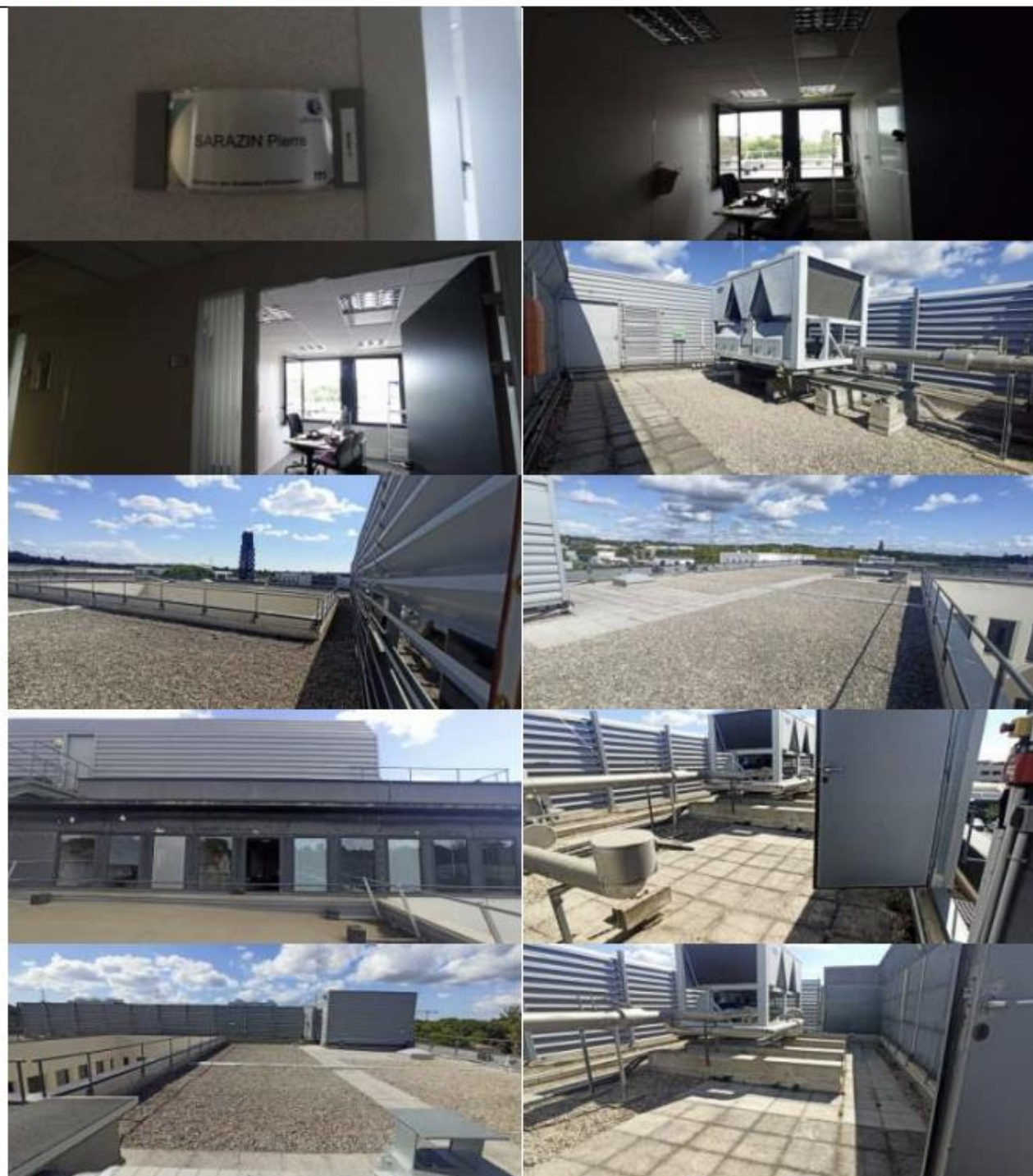
VOIR PH13

BAT B – P9 G03 F34/35



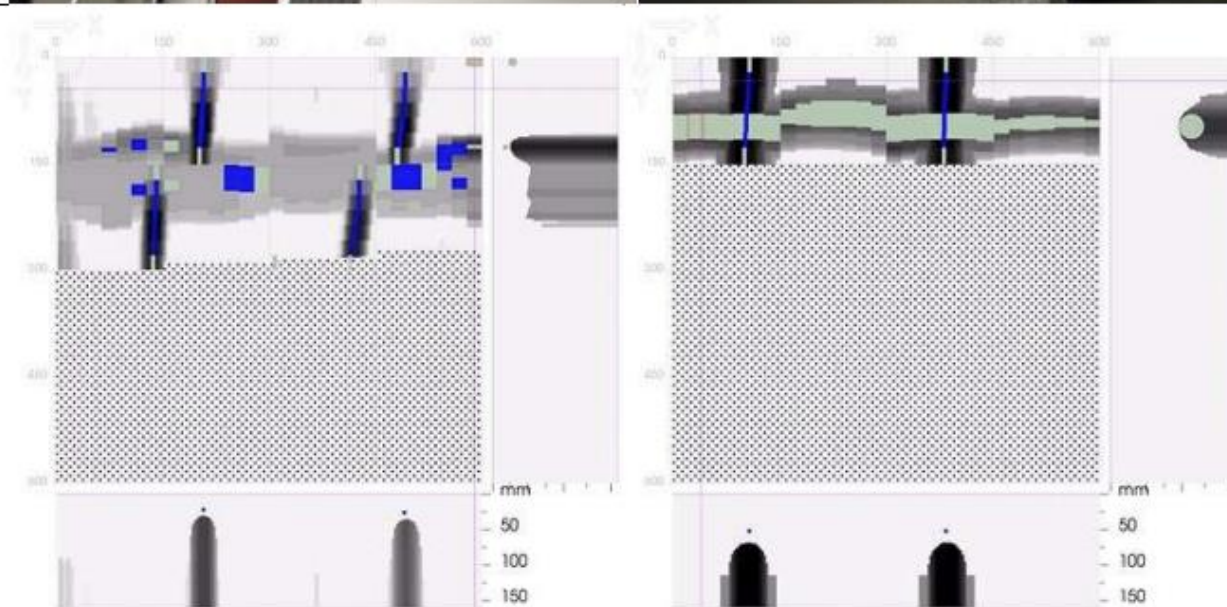
P9 RETOMBÉE 20 LARGEUR 30+30cm

BAT B – PH11



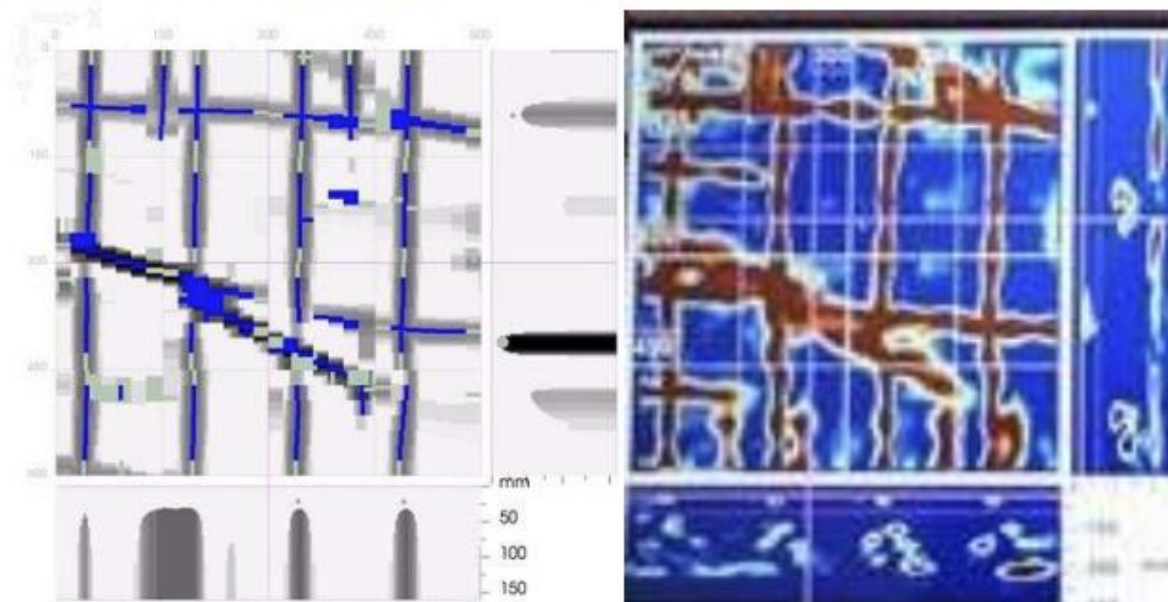
PH 11 GRAVIERS 5cm + COMPLEXE ETANCHEITE 10cm + DALLE 18cm
ARMATURES VOIR PH13

BAT B – P12 F36/37



P 12 IDEM P2

BAT B – PH13 G04 F38



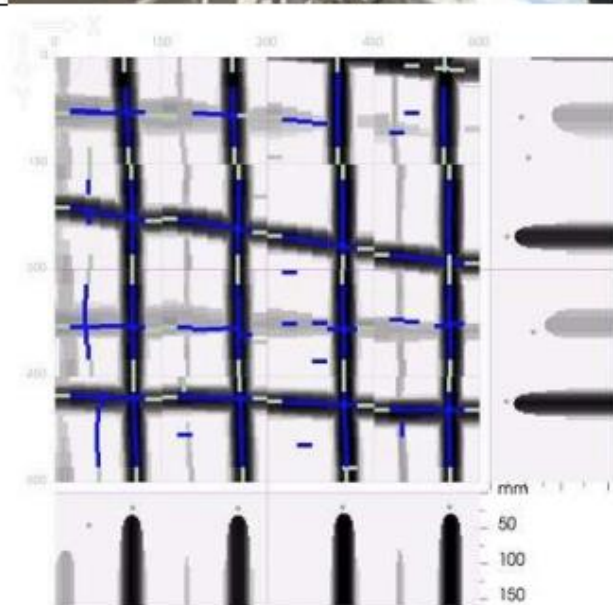
PH 13 COMPOSITION VOIR PH11

ARMATURES

FILANTS 1 LIT DE HA6 ENROBAGE 20 ENTRAXE 150 + 1 LIT DE FIL 5,2 ENROBAGE 30 ENTRAXE 150

RÉPARTITION 2LITS HA6 ENROBAGE 25 ET 35 ENTRAXE 250

BAT B – PH14 G05 F39



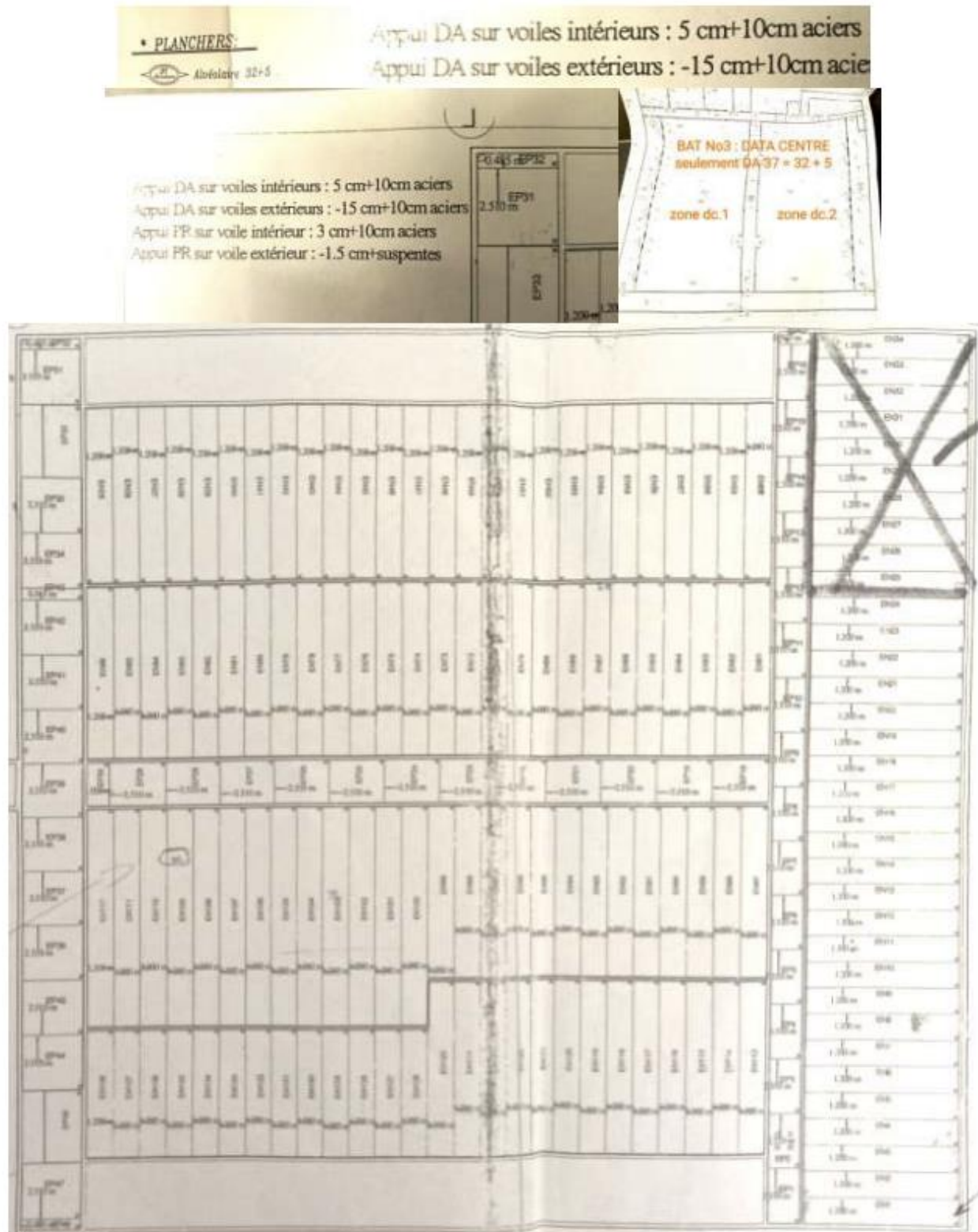
PH 14 IDEM PH13

BAT B – PH15



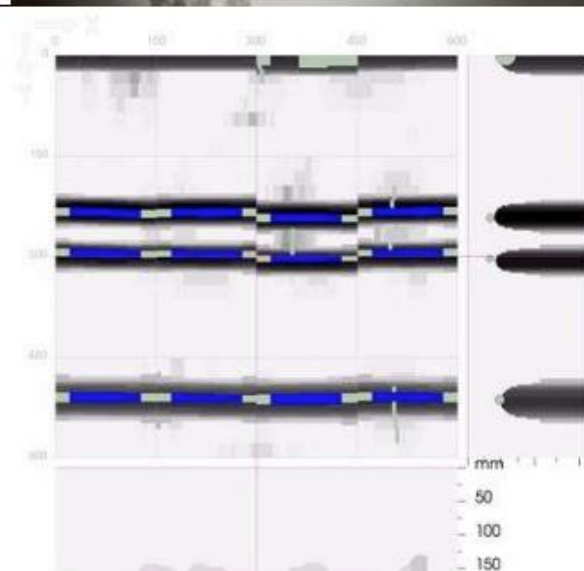
PH 15 IDEM PH13

DATA CENTER



PLAN DE POSE DA PC ECHELLE 1/165

DATA CENTER – G06 F40



DALLE PREFA ALVÉOLAIRE 32cm LARGEUR 1,20m + 5cm BETON
 ARMATURES
 ALVÉOLES HAUTEUR 25cm LARGEUR 18cm ENROBAGE INFÉRIEUR 25mm
 PAIRES ENTRAXE 200mm DE CÂBLES DIAMÈTRE 12mm
 ENROBAGE 30mm COMPOSÉS DE 7 FILS DE 4mm

On vérifie maintenant la capacité portante des éléments structurels mis en évidence à travers la partie suivante.

3) Vérification aux calculs :

Bâtiment « Local GE » :

Hypothèses de charges (à l'ELS) :

Poids propre DAP ép. = 24 cm	$G = 375 \text{ daN/m}^2$
Charges d'exploitation toiture terrasse technique	$Q = 10 \text{ daN/m}^2$
Charges neiges	$S = 55 \text{ daN/m}^2$
Charges permanentes complémentaires (étanchéité, ...)	$G' = 25 \text{ daN/m}^2$
Gravillons (ép. = 6 cm)	$G' = 120 \text{ daN/m}^2$
Panneaux photovoltaïques	$G' = 50 \text{ daN/m}^2$

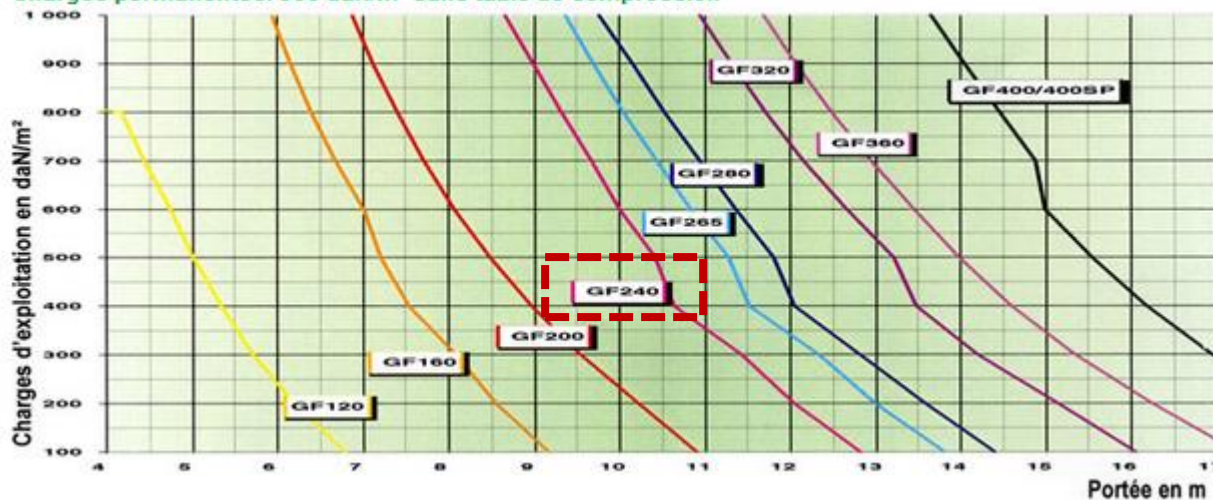


- Dalles alvéolaires précontraintes :

Les caractéristiques mise en évidence des dalles alvéolaires précontraintes du bâtiment « Local GE » possèdent des caractéristiques équivalentes au type de DAP « GF240 » chez le fournisseur « GF ».

Ce type de DAP possède une capacité portante d'environ 300 daN/m² pour une portée de 11,50 m.

Charges permanentes: 300 daN/m² sans table de compression



Cet ordre de grandeur nous permet de justifier la mise en place des panneaux solaires.

Néanmoins, ne pouvant confirmer la nature et le fabricant des DAP existantes, nous préconisons la **dépose de 3 cm de gravillons** uniquement sur les surfaces de planchers concernées par la mise en place des panneaux photovoltaïques afin de s'assurer de **ne pas venir recharger ces DAP**.

• Note de calculs poutres BA précontrainte 25 x 28ht cm :

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

DIMENSIONS DE LA POUTRE

type : **Poutre R 25 X 28 cm**

$b_{\text{talon}} = 25,0 \text{ cm}$ $b_{\text{tête}} = 25,0 \text{ cm}$ $h_{\text{total}} = 28 \text{ cm}$
 $h_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $b_{\text{âme}} = 25,0 \text{ cm}$
 $d_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $d_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{âme}} = 28 \text{ cm}$

$L = 4,60 \text{ m}$ $L_{\text{prefa}} = 4,80 \text{ m}$
 About = 0,10 m

$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$	$E_{cm} =$
$f_{cm} = 38,00 \text{ MPa}$	32837 MPa
$f_{cm, tp0} = 19,89 \text{ MPa}$	$t_0 = 3 \text{ jours}$
si mise en tension sans étuvage	
$\gamma_c = 1,5$	
$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$	
$f_{ctm, fi} = 3,82 \text{ MPa}$	
Humidité relative = 70	

ARMATURES DE PRECONTRAINT

type fils/torons : **T6,85-1860** classe : **Classe 3 (barres)**
 diamètre = 6,85 mm $\rho_{1000} = 4,5$
 $k_1 = 0,008$ $k_2 = 1,25$

$A_p = 28 \text{ mm}^2$
 $A_{p, \text{total}} = 564 \text{ mm}^2$
 $E_p = 195000 \text{ MPa}$

CDG des torons = 7,80 cm
 excentricité $e = 6,20 \text{ cm}$
 $d_p = 20,20 \text{ cm}$

$F_{p0,1k} = 54 \text{ kN}$
 $F_{pk} = 61 \text{ kN}$
 $\gamma_s = 1,15$

Lits N°	Nb torons	type de torons	dinf
1	4	T6,85-1860	3,0 cm
2	4	T6,85-1860	6,0 cm
3	4	T6,85-1860	8,0 cm
4	4	T6,85-1860	10,0 cm
5	4	T6,85-1860	12,0 cm
6	0	T6,85-1860	14,0 cm
7	0	T6,85-1860	
8	0	T6,85-1860	

Nb TORONS = **20**

BASE DE DONNEES

Valeurs selon norme européenne 10138 valeurs sept 2005

Torons/Fils	Diamètre	Section	Fp0,1k	Fpk	Ep	CLASSE	$\eta_{p2} =$	α_2
F5-1860	5	19,6	32,4	36,5	205000,MPa	1860,MPa	1,4	0,25
F7-1770	7	38,5	59,9	71,6	205000,MPa	1770,MPa	1,4	0,25
T5,2-1960	5,2	13,6	23,8	26,7	195000,MPa	1960,MPa	1,2	0,19
T5,2-2160	5,2	13,6	26,2	29,4	195000,MPa	2160,MPa	1,2	0,19
T6,85-1860	6,85	28,2	53,6	60,9	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T9,3-1860	9,3	52	85,1	96,7	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,5-1860	12,5	93	152	173	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,9-1860	12,9	100	164	186	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,2-1860	15,2	140	228	259	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,7-1860	15,7	150	246	279	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19

Classe 1 (RN)	8	0,008	1,50
Classe 2 (TBR)	2,5	0,006	1,10
Classe 3 (barres)	4,5	0,008	1,25

TYPE DE CIMENT

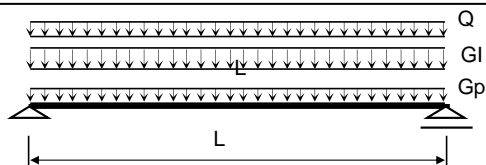
CIMENT	CEM	a	s	α_{ds1}	α_{ds2}
Rapid	42,5R/52,5	1	0,2	6	0,11
Normal	42,5	0	0,25	4	0,12
Slow	32,5	-1	0,38	3	0,13
				α	S
				α_{ds1}	α_{ds2}
CIMENT :	poutre	Rapid	1	0,2	6
					0,11

CHARGES EXTERIEURES

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

Charges permanentes

Gp poutre = 175 daN/m	Lpoutres = 4,60 m
Gp pannes = 375 daN/m	Lpannes = 5,75 m
soit 2156,3 daN/m	entraxe = 1,00 m
Gp bca = 145 daN/m ²	Gp charges accrochées = 0 daN/m ²
soit 834 daN/m	soit 0 daN/m
Poutre : PP = 175,0 daN/m	MPP = 4,63 kN.m
Autres : CP = 2990,0 daN/m	MCP = 79,09 kN.m
TOTAL PP+CP = 3165,0 daN/m	MG = 83,71 kN.m



Charges d'exploitation

	charges	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
Surcharges Q = 80 daN/m ²	460 daN/m	0,7	0,5	0,3	12,17 kN.m 1
Vent W = 0 daN/m ²	0 daN/m	0,5	0,2	0	0,00 kN.m 3
Neige S = 55 daN/m ²	316 daN/m	0,6	0,2	0	8,36 kN.m 2

ELS	perm.	q. perm.	freq.	carac.
p(kN/m)	31,65	33,03	34,58	39,41
Ms(kNm)	84	87	91	104

G =	31,65 kN/m	ELU	eq 6.10
Q =	4,60 kN/m	pu (kN/m)	52,5
S =	3,16 kN/m	Mu (kNm)	139

CHARGE A L'ELU

$P_{ELU} = 0,052 \text{ MN/m}$

MOMENT A L'ELU

$M_{ELU} = 0,139 \text{ MN.m}$

TRANCHANT ELU

$T_{ELU} = 0,121 \text{ MN}$

Moments à mi travée	Moment calculé	Moment pris en compte
$M_{\max_qperm} =$	87 kN.m	87 kN.m
$M_{\max_freq} =$	91 kN.m	91 kN.m
$M_{\max_ELS} =$	104 kN.m	104 kN.m
$M_{ELU} =$	0,139 MN.m	0,139 MN.m

Coefficient hyperstatique
100%

FLEXION ELS

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

sous combinaisons caractéristique	sous combinaisons fréquente	sous combinaisons quasi permanentes
$M_{max, ELS} = 104,25 \text{ kN.m}$	$M_{max, freq} = 91,47 \text{ kN.m}$	$M_{max, qperm} = 87,36 \text{ kN.m}$
contraintes en fibre sup = 31,91 MPa contraintes en fibre inf = -31,91 MPa en section d'enrobage = -32,69 MPa 1er lit à 3,0 cm	contraintes en fibre sup = 28,00 MPa contraintes en fibre inf = -28,00 MPa en section d'enrobage = -28,69 MPa	contraintes en fibre sup = 26,74 MPa contraintes en fibre inf = -26,74 MPa en section d'enrobage = -27,40 MPa

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) :

soit $Pk_{sup} = 1.05 \times (Po - DP)$

Pertes (si valeur imposée) 10%

Pertes totales = 10,00%

$Pk_{sup} = 4812 \text{ daN.torons}$

SIGMA_{sup} = -4,52 MPa

SIGMA_{inf} = 32,01 MPa

$f_{ctm} = -2,90 \text{ MPa}$

$f_{ctm, fi} = -3,82 \text{ MPa}$

FIBRE	y cm	sigma_precont. MPa	sigma_caract MPa	sigma_freq MPa	sigma_qp MPa
INF	0	32,01	0,10	4,01	5,27
SUP	28	-4,52	27,39	23,48	22,23

OK

OK

OK

Absence fissure Combinaison QP (classe 3)

Absence fissure Combinaison F (classe 2)

Absence fissure Combinaison C (classe 1)

Contraintes limites classes XD, XF, XS = 0.6f _{ck}	18,0 MPa	Fluage linéaire si	13,5 MPa
Moment de fissuration pour f _{ctm} = 0.03 MPa	114,0 kN.m	$\sigma_c < 0.45f_{ck}$	

VERIFICATION AU RELACHEMENT

SECTION	à l _{disp}	à mi travée
Poids propre	M _{pp} = 0,28 kN.m	M _{pp} = 4,63 kN.m
contraintes		
fibre sup =	0,09 MPa	1,42 MPa
fibre inf =	-0,09 MPa	-1,42 MPa
cdg torons =	-0,04 MPa	-0,63 MPa

l_{disp} = 0,873 m

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) :

Effort au relâchement = 45 kN

$Pk_{inf} = 42 \text{ kN}$

soit $Pk_{inf} = 0.95 \times (Po - DP)$

SECTION	précontrainte totale	Cumul contraintes à l _{disp}	Commentaires	A mi-travée	Commentaires
Fibre sup	-3,97 MPa	-3,89 MPa	il faut gagner	-2,56 MPa	il faut
Fibre inf	28,15 MPa	28,06 MPa	des torons aux	26,74 MPa	augmenter
cdg torons	19,20 MPa	19,16 MPa	abouts	18,58 MPa	fck(tp)
SECTION	précontrainte avec gainage	Cumul contraintes à l _{disp}		Commentaires	
Fibre sup	-0,86 MPa	-0,77 MPa		fluage non	
Fibre inf	22,45 MPa	22,37 MPa		linéaire	
cdg torons	15,67 MPa	15,63 MPa			

$f_{ck}(t_p) = 11,89 \text{ MPa}$

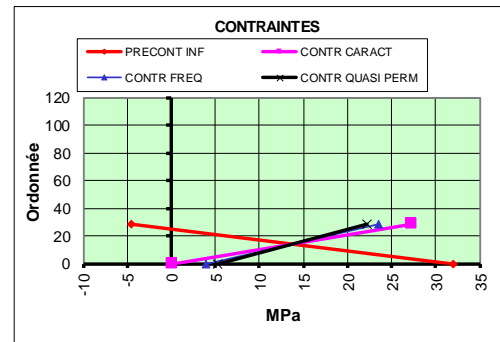
$f_{ctm}(t_p) = 1,94 \text{ MPa}$

$\sigma_c \text{ admissible} =$

$\sigma_c < 0,7 \cdot f_{ck}(t_p) = 8,32 \text{ MPa}$

Fluage linéaire si au cdg torons

$\sigma_c < 0,45 \cdot f_{ck}(t_p) = 5,35 \text{ MPa}$



On constate que les poutres BA précontraintes 25 x 28ht cm sont justifiées pour reprendre une charge de 80 daN/m², et donc justifiées pour la mise en place des panneaux photovoltaïques.

Bâtiment B :

Hypothèses de charges (à l'ELS) :

Poids propre plancher existant (dalle BA ép.= 18 cm)	$G = 450 \text{ daN/m}^2$
Charges d'exploitation toiture terrasse technique	$Q = 10 \text{ daN/m}^2$
Charges neiges	$S = 55 \text{ daN/m}^2$
Charges permanentes complémentaires (étanchéité, ...)	$G' = 25 \text{ daN/m}^2$
Gravillons (ép. = 5 cm)	$G' = 100 \text{ daN/m}^2$
Panneaux photovoltaïques	$G' = 50 \text{ daN/m}^2$



- Note de calculs dalle BA ép. = 18 cm :

GEOMETRIE ET MATERIAUX									
Portée	4,7	m							
Largeur totale	100	cm					gauche	droit	
Hauteur totale	18	cm					réduction de hauteur à l'appui:	0	0
Largeur de l'âme	100	cm					réduction de largeur à l'appui:	0	0
Epaisseur de la table	0	cm							
Beton: fc28	25	MPa							
γb	1,5				ft28=	2,10	MPa		
Fumée de silice	n	(o/n)			Ei=	32164	MPa		
Nuance d'acier	500	MPa			Ev=	10819	MPa		
Coef d'équivalence	15								
nu (adhérence)	1	(1.6 pour acier HA)							
Fissuration:	1	non préjudiciable							
θ=	1								
Coefficient hyperstatique	80%								

CHARGES									
	Charge surfacique	Charge linéaire	Torsion linéaire	Charge ponctuelle	Couple ponctuel				
Bande de charge	1	m				position: x=	0	m	0
poids mort (dalle-recharge-...)	4,5	KN/m2	0	KN/ml	0	KN.m/ml	0	KN	0
cloison et revêtement fragile	1,25	KN/m2	0	KN/ml	0	KN.m/ml	0	KN	0
surcharge d'exploitation	1,05	KN/m2	0	KN/ml	0	KN.m/ml	0	KN	0
ELS	6,8	KN/m2	0	KN/ml	0	KN.m/ml	0	KN	0
ELU	9,3375	KN/m2	0	KN/ml	0	KN.m/ml	0	KN	0
Méthode forfaitaire α = Q/(G+Q)=	0,15								

ARMATURES										
	diam	ei / es	12	14	16	20	25	32	divers	Total
Tendues	1er lit	2							1,89	1,89
	2ème lit	4,5							1,41	1,41
	3ème lit	9,5							0,00	0,00
	4ème lit	12							0,00	0,00
	Total	3,1	0	0	0	0	0	0		3,30
Comprimées	1er lit	2								0,00
	2ème lit	4,5								0,00
	Total	0	0	0	0	0	0	0		0,00

Pourcentage d'acier: Rho 0,2%

Diffusé le : 07/12/2023

• Note de calculs poutres BA précontraintes 20 x 78ht cm (P1) :

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

DIMENSIONS DE LA POUTRE type :

$b_{\text{talon}} = 20,0 \text{ cm}$ $b_{\text{tête}} = 20,0 \text{ cm}$ $h_{\text{total}} = 78 \text{ cm}$
 $h_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $b_{\text{âme}} = 20,0 \text{ cm}$
 $d_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $d_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{âme}} = 78 \text{ cm}$

$L = 6,60 \text{ m}$ $L_{\text{prefa}} = 6,80 \text{ m}$
 About = 0,10 m

Poutre R 20 X 78 cm

$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$	$E_{cmP} =$
$f_{cm} = 38,00 \text{ MPa}$	32837 MPa
$f_{cm, tp0} = 19,89 \text{ MPa}$	$t_0 = 3 \text{ jours}$
si mise en tension sans étuvage	
$\gamma_c = 1,5$	
$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$	
$f_{ctm, f1} = 2,90 \text{ MPa}$	
Humidité relative = 70	

ARMATURES DE PRECONTRAINT

type fils/torons : **T6,85-1860** classe : **Classe 3 (barres)**
 diamètre = 6,85 mm $\rho_{1000} = 4,5$
 $k_1 = 0,008$
 $k_2 = 1,25$

$A_p = 28 \text{ mm}^2$
 $A_{p, \text{total}} = 282 \text{ mm}^2$
 $E_p = 195000, \text{MPa}$

CDG des torons = 4,50 cm
 excentricité e = 34,50 cm
 $d_p = 73,50 \text{ cm}$

$F_{p0,1k} = 54 \text{ kN}$
 $F_{pk} = 61 \text{ kN}$
 $\gamma_s = 1,15$

Lits N°	Nb torons	type de torons	dinf
1	5	T6,85-1860	3,0 cm
2	5	T6,85-1860	6,0 cm
3	0	T6,85-1860	8,0 cm
4	0	T6,85-1860	10,0 cm
5	0	T6,85-1860	12,0 cm
6	0	T6,85-1860	14,0 cm
7	0	T6,85-1860	
8	0	T6,85-1860	

Nb TORONS = **10**

BASE DE DONNEES Valeurs selon norme européenne 10138 valeurs sept 2005

Torons/Fils	Diamètre	Section	Fp0,1k	Fpk	E _p	CLASSE	$\eta_{p2} =$	α_2
F5-1860	5	19,6	32,4	36,5	205000,MPa	1860,MPa	1,4	0,25
F7-1770	7	38,5	59,9	71,6	205000,MPa	1770,MPa	1,4	0,25
T5,2-1960	5,2	13,6	23,8	26,7	195000,MPa	1960,MPa	1,2	0,19
T5,2-2160	5,2	13,6	26,2	29,4	195000,MPa	2160,MPa	1,2	0,19
T6,85-1860	6,85	28,2	53,6	60,9	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T9,3-1860	9,3	52	85,1	96,7	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,5-1860	12,5	93	152	173	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,9-1860	12,9	100	164	186	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,2-1860	15,2	140	228	259	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,7-1860	15,7	150	246	279	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19

Classe 1 (RN) 8 0,008 1,50
 Classe 2 (TBR) 2,5 0,006 1,10
 Classe 3 (barres) 4,5 0,008 1,25

TYPE DE CIMENT

CIMENT	CEM	a	s	α_{ds1}	α_{ds2}
Rapid	42.5R/52.5	1	0,2	6	0,11
Normal	42,5	0	0,25	4	0,12
Slow	32,5	-1	0,38	3	0,13
			α	s	α_{ds1}
CIMENT :	poutre Rapid		1	0,2	6
					α_{ds2}
					0,11

CHARGES EXTERIEURES

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

Charges permanentes

Gp poutre = 600 daN/m	Lpoutres = 6,60 m
Gp pannes = 450 daN/m	Lpannes = 2,50 m
soit 1125,0 daN/m	entraxe = 1,00 m
Gp bca = 145 daN/m²	Gp charges accrochées = 0 daN/m²
soit 363 daN/m	soit 0 daN/m
Poutre : PP = 600,0 daN/m	MPP = 32,67 kN.m
Autres : CP = 1487,5 daN/m	MCP = 80,99 kN.m
TOTAL PP+CP = 2087,5 daN/m	MG = 113,66 kN.m

Charges d'exploitation

charges	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
surcharges Q = 60 daN/m²	0,7	0,5	0,3	8,17 kN.m 1
Vent W = 0 daN/m²	0,5	0,2	0	0,00 kN.m 3
Neige S = 55 daN/m²	0,6	0,2	0	7,49 kN.m 2

ELS	perm.	q. perm.	freq.	carac.
p(kN/m)	20,88	21,33	21,90	23,75
Ms(kNm)	114	116	119	129

G =	20,88 kN/m	ELU	eq 6.10
Q =	1,50 kN/m	pu (kN/m)	31,7
S =	1,38 kN/m	Mu (kNm)	172

CHARGE A L'ELU

P_{ELU} = **0,032 MN/m**

MOMENT A L'ELU

M_{ELU} = **0,172 MN.m**

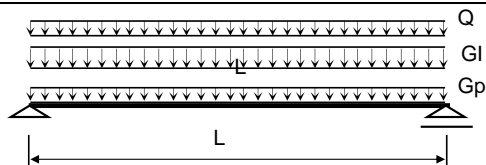
TRANCHANT ELU

T_{ELU} = **0,105 MN**

Moments à mi travée	Moment calculé	Moment pris en compte
M _{max_qperm} =	116 kN.m	116 kN.m
M _{max_freq} =	119 kN.m	119 kN.m
M _{max_ELS} =	129 kN.m	129 kN.m
M _{ELU} =	0,172 MN.m	0,172 MN.m

Coefficient hyperstatique

100%



FLEXION ELS

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

sous combinaisons caractéristique	sous combinaisons fréquente	sous combinaisons quasi permanentes
$M_{max, ELS} = 129,32 \text{ kN.m}$	$M_{max, freq} = 119,25 \text{ kN.m}$	$M_{max, qperm} = 116,11 \text{ kN.m}$
contraintes en fibre sup = 6,38 MPa contraintes en fibre inf = -6,38 MPa en section d'enrobage = -6,43 MPa 1er lit à 3,0 cm	contraintes en fibre sup = 5,88 MPa contraintes en fibre inf = -5,88 MPa en section d'enrobage = -5,93 MPa	contraintes en fibre sup = 5,73 MPa contraintes en fibre inf = -5,73 MPa en section d'enrobage = -5,78 MPa

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) : **maxi**

soit $Pk_{sup} = 1,05 \times (Po - DP)$

Pertes (si valeur imposée) 10%

Pertes totales = 10,00%

$Pk_{sup} = 4812 \text{ daN/toron}$

SIGMA_{sup} = -5,10 MPa

SIGMA_{inf} = 11,27 MPa

$f_{ctm} = -2,90 \text{ MPa}$

$f_{ctm,fl} = -2,90 \text{ MPa}$

FIBRE	y cm	sigma_précont. MPa	sigma_caract MPa	sigma_freq MPa	sigma_qp MPa	
INF	0	11,27	4,89	5,39	5,54	OK
SUP	78	-5,10	1,28	0,78	0,62	OK
Contraintes limites classes XD, XF, XS = 0.6f _{ck}			18,0 MPa	Fluage linéaire si		
Moment de fissuration pour $f_{ctm} = 0.03 \text{ MPa}$			287,3 kN.m	$\sigma_c < 0.45f_{ck} =$		
				13,5 MPa		

Absence fissure Combinaison QP (classe 3)

Absence fissure Combinaison F (classe 2)

Absence fissure Combinaison C (classe 1)

VERIFICATION AU RELÂCHEMENT

SECTION	à l_{disp}	à mi travée
Poids propre	$M_{pp} = 1,89 \text{ kN.m}$	$M_{pp} = 32,67 \text{ kN.m}$
contraintes		
fibre sup =	0,09 MPa	1,61 MPa
fibre inf =	-0,09 MPa	-1,61 MPa
cdg torons =	-0,08 MPa	-1,43 MPa

$l_{disp} = 1,155 \text{ m}$

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

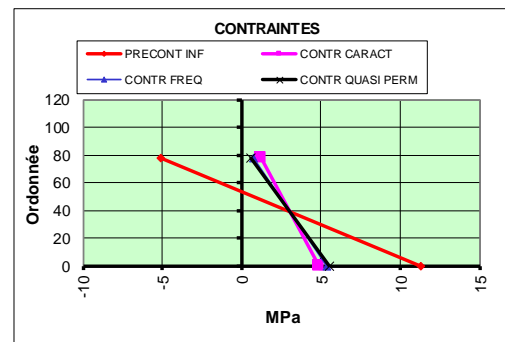
Calcul en précontrainte (mini ou maxi) : **mini**

Effort au relâchement = 47 kN

$Pk_{inf} = 44 \text{ kN}$

soit $Pk_{inf} = 0,95 \times (Po - DP)$

SECTION	précontrainte totale	Cumul contraintes à l_{disp}	Commentaires	A mi-travée	Commentaires
Fibre sup	-4,71 MPa	-4,61 MPa	il faut gagner des torons aux abouts	-3,10 MPa	il faut augmenter f _{ck} (tp)
Fibre inf	10,40 MPa	10,31 MPa		8,79 MPa	
cdg torons	9,53 MPa	9,45 MPa		8,10 MPa	
SECTION	précontrainte avec gainage	Cumul contraintes à l_{disp}		Commentaires	
Fibre sup	-0,69 MPa	-0,60 MPa		fluage non linéaire	
Fibre inf	7,25 MPa	7,15 MPa			
cdg torons	6,64 MPa	6,56 MPa			
$f_{ck}(t_p) = 11,89 \text{ MPa}$		$f_{ctm}(t_p) = 1,94 \text{ MPa}$			
$\sigma_c \text{ admissible} =$		$\sigma_c < 0,7.f_{ck}(t_p) = 8,32 \text{ MPa}$			
Fluage linéaire si au cdg torons		$\sigma_c < 0,45.f_{ck}(t_p) = 5,35 \text{ MPa}$			



On constate que les poutres BA précontraintes 20 x 78ht cm sont justifiées pour reprendre la mise en place des panneaux photovoltaïques.

• Note de calculs poutres BA précontraintes 30 x 38ht cm (P3) :

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

DIMENSIONS DE LA POUTRE

type :

$b_{\text{talon}} = 30,0 \text{ cm}$ $b_{\text{tête}} = 30,0 \text{ cm}$ $h_{\text{total}} = 38 \text{ cm}$
 $h_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $b_{\text{âme}} = 30,0 \text{ cm}$
 $d_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $d_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{âme}} = 38 \text{ cm}$

$L = 3,85 \text{ m}$ $L_{\text{prefa}} = 4,05 \text{ m}$
 About = 0,10 m

ARMATURES DE PRECONTRAINTE

type fils/torons : **T6,85-1860** classe : **Classe 3 (barres)**
 diamètre = 6,85 mm $\rho_{1000} = 4,5$
 $k_1 = 0,008$ $k_2 = 1,25$

$A_p = 28 \text{ mm}^2$
 $A_{p,\text{total}} = 282 \text{ mm}^2$
 $E_p = 195000 \text{ MPa}$

CDG des torons = 4,50 cm
 excentricité $e = 14,50 \text{ cm}$
 $d_p = 33,50 \text{ cm}$

$F_{p0,1k} = 54 \text{ kN}$
 $F_{pk} = 61 \text{ kN}$
 $\gamma_s = 1,15$

Lits N°	Nb torons	type de torons	dinf
1	5	T6,85-1860	3,0 cm
2	5	T6,85-1860	6,0 cm
3	0	T6,85-1860	8,0 cm
4	0	T6,85-1860	10,0 cm
5	0	T6,85-1860	12,0 cm
6	0	T6,85-1860	14,0 cm
7	0	T6,85-1860	
8	0	T6,85-1860	

Nb TORONS = 10

BASE DE DONNEES

Valeurs selon norme européenne 10138 valeurs sept 2005

Torons/Fils	Diamètre	Section	Fp0,1k	Fpk	E _p	CLASSE	$\eta_{p2} =$	α_2
F5-1860	5	19,6	32,4	36,5	205000,MPa	1860,MPa	1,4	0,25
F7-1770	7	38,5	59,9	71,6	205000,MPa	1770,MPa	1,4	0,25
T5,2-1960	5,2	13,6	23,8	26,7	195000,MPa	1960,MPa	1,2	0,19
T5,2-2160	5,2	13,6	26,2	29,4	195000,MPa	2160,MPa	1,2	0,19
T6,85-1860	6,85	28,2	53,6	60,9	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T9,3-1860	9,3	52	85,1	96,7	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,5-1860	12,5	93	152	173	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,9-1860	12,9	100	164	186	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,2-1860	15,2	140	228	259	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,7-1860	15,7	150	246	279	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19

Classe 1 (RN) 8 0,008 1,50
 Classe 2 (TBR) 2,5 0,006 1,10
 Classe 3 (barres) 4,5 0,008 1,25

TYPE DE CIMENT

CIMENT	CEM	a	s	α_{ds1}	α_{ds2}
Rapid	42,5R/52,5	1	0,2	6	0,11
Normal	42,5	0	0,25	4	0,12
Slow	32,5	-1	0,38	3	0,13

CIMENT : poutre **Rapid**

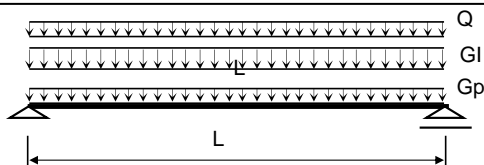
	α	s	α_{ds1}	α_{ds2}
	1	0,2	6	0,11

CHARGES EXTERIEURES

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

Charges permanentes

Gp poutre = 150 daN/m	Lpoutres = 3,85 m
Gp pannes = 450 daN/m	Lpannes = 5,05 m
soit 2272,5 daN/m	entraxe = 1,00 m
Gp bca = 125 daN/m ²	Gp charges accrochées = 0 daN/m ²
soit 631 daN/m	soit 0 daN/m
Poutre : PP = 150,0 daN/m	MPP = 2,78 kN.m
Autres : CP = 2903,8 daN/m	MCP = 53,80 kN.m
TOTAL PP+CP = 3053,8 daN/m	MG = 56,58 kN.m



Charges d'exploitation

charges	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
surcharges Q = 60 daN/m ²	0,7	0,5	0,3	5,61 kN.m 1
Vent W = 0 daN/m ²	0,5	0,2	0	0,00 kN.m 3
Neige S = 55 daN/m ²	0,6	0,2	0	5,15 kN.m 2

ELS	perm.	q. perm.	freq.	carac.
p(kN/m)	30,54	31,45	32,61	36,35
Ms(kNm)	57	58	60	67

G =	30,54 kN/m	ELU	eq 6.10
Q =	3,03 kN/m	pu (kN/m)	48,3
S =	2,78 kN/m	Mu (kNm)	89

CHARGE A L'ELU

$P_{ELU} = 0,048 \text{ MN/m}$

MOMENT A L'ELU

$M_{ELU} = 0,089 \text{ MN.m}$

TRANCHANT ELU

$T_{ELU} = 0,093 \text{ MN}$

Moments à mi travée	Moment calculé	Moment pris en compte
$M_{\max_qperm} =$	58 kN.m	58 kN.m
$M_{\max_freq} =$	60 kN.m	60 kN.m
$M_{\max_ELS} =$	67 kN.m	67 kN.m
$M_{ELU} =$	0,089 MN.m	0,089 MN.m

Coefficient hyperstatique
100%

FLEXION ELS

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

sous combinaisons caractéristique	sous combinaisons fréquente	sous combinaisons quasi permanentes
$M_{max, ELS} = 67,34 \text{ kN.m}$	$M_{max, freq} = 60,42 \text{ kN.m}$	$M_{max, qperm} = 58,26 \text{ kN.m}$
contraintes en fibre sup = 9,33 MPa contraintes en fibre inf = -9,33 MPa en section d'enrobage = -9,50 MPa	contraintes en fibre sup = 8,37 MPa contraintes en fibre inf = -8,37 MPa en section d'enrobage = -8,52 MPa	contraintes en fibre sup = 8,07 MPa contraintes en fibre inf = -8,07 MPa en section d'enrobage = -8,22 MPa

1er lit à 3,0 cm

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) : **maxi**

soit $Pk_{sup} = 1.05 \times (Po - DP)$

Pertes (si valeur imposée) 10%

Pertes totales = 10,00%

$Pk_{sup} = 4812 \text{ daN.torons}$

SIGMA_{sup} = -5,44 MPa

SIGMA_{inf} = 13,88 MPa

$f_{ctm} = -2,90 \text{ MPa}$

$f_{ctm,fi} = -3,53 \text{ MPa}$

FIBRE	y cm	sigma_precont. MPa	sigma_caract MPa	sigma_freq MPa	sigma_qp MPa
INF	0	13,88	4,56	5,52	5,81
SUP	38	-5,44	3,88	2,93	2,63

OK

OK

OK

Absence fissure Combinaison QP (classe 3)

Absence fissure Combinaison F (classe 2)

Absence fissure Combinaison C (classe 1)

Contraintes limites classes XD, XF, XS = $0.6f_{ck}$ **18,0 MPa**
Moment de fissuration pour $f_{ctm} = 0.03 \text{ MPa}$ **121,2 kN.m**
Fluage linéaire si $\sigma_c < 0.45f_{ck}$ **13,5 MPa**

VERIFICATION AU RELACHEMENT

SECTION	à l_{disp}	à mi travée
Poids propre	$M_{pp} = 0,21 \text{ kN.m}$	$M_{pp} = 2,78 \text{ kN.m}$
contraintes		
fibre sup =	0,03 MPa	0,38 MPa
fibre inf =	-0,03 MPa	-0,38 MPa
cdg torons =	-0,02 MPa	-0,29 MPa

$l_{disp} = 0,945 \text{ m}$

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

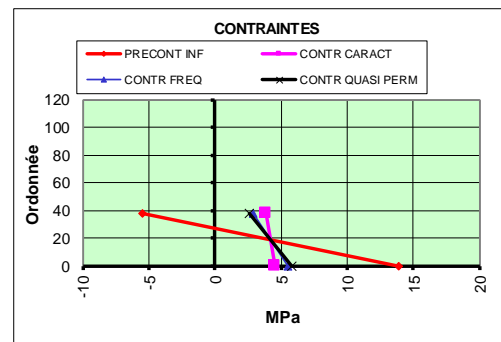
Calcul en précontrainte (mini ou maxi) : **mini**

Effort au relâchement = **46 kN**

$Pk_{inf} = 44 \text{ kN}$

soit $Pk_{inf} = 0.95 \times (Po - DP)$

SECTION	précontrainte totale	Cumul contraintes à l_{disp}	Commentaires	A mi-travée	Commentaires
Fibre sup	-4,97 MPa	-4,94 MPa	il faut gagner des torons aux abouts	-4,59 MPa	il faut augmenter $f_{ck}(tp)$
Fibre inf	12,69 MPa	12,66 MPa		12,30 MPa	
cdg torons	10,60 MPa	10,57 MPa		10,30 MPa	
SECTION	précontrainte avec gainage	Cumul contraintes à l_{disp}		Commentaires	
Fibre sup	-0,82 MPa	-0,79 MPa		fluage non linéaire	
Fibre inf	8,79 MPa	8,76 MPa			
cdg torons	7,35 MPa	7,33 MPa			
$f_{ck}(t_p) =$	11,89 MPa	$f_{ctm}(t_p) =$	1,94 MPa		
σ_c admissible =		$\sigma_c < 0.7.f_{ck}(t_p) =$	8,32 MPa		
Fluage linéaire si au cdg torons		$\sigma_c < 0.45.f_{ck}(t_p) =$	5,35 MPa		



On constate que les poutres BA précontraintes 20 x 38ht cm sont justifiées pour reprendre la mise en place des panneaux photovoltaïques.

• Note de calculs poutres BA précontraintes 30 x 38ht cm (P5) :

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

DIMENSIONS DE LA POUTRE

type :

$b_{\text{talon}} = 30,0 \text{ cm}$ $b_{\text{tête}} = 30,0 \text{ cm}$ $h_{\text{total}} = 38 \text{ cm}$
 $h_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $b_{\text{âme}} = 30,0 \text{ cm}$
 $d_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $d_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{âme}} = 38 \text{ cm}$

$L = 6,60 \text{ m}$ $L_{\text{prefa}} = 6,80 \text{ m}$
 About = 0,10 m

ARMATURES DE PRECONTRAINTE

type fils/torons : **T6,85-1860** classe : **Classe 3 (barres)**
 diamètre = 6,85 mm $\rho_{1000} = 4,5$
 $k_1 = 0,008$ $k_2 = 1,25$

$A_p = 28 \text{ mm}^2$
 $A_{p,\text{total}} = 282 \text{ mm}^2$
 $E_p = 195000 \text{ MPa}$

CDG des torons = 4,50 cm
 excentricité e = 14,50 cm
 $d_p = 33,50 \text{ cm}$

$F_{p0,1k} = 54 \text{ kN}$
 $F_{pk} = 61 \text{ kN}$
 $\gamma_s = 1,15$

Lits N°	Nb torons	type de torons	dinf
1	5	T6,85-1860	3,0 cm
2	5	T6,85-1860	6,0 cm
3	0	T6,85-1860	8,0 cm
4	0	T6,85-1860	10,0 cm
5	0	T6,85-1860	12,0 cm
6	0	T6,85-1860	14,0 cm
7	0	T6,85-1860	
8	0	T6,85-1860	

Nb TORONS = 10

BASE DE DONNEES

Valeurs selon norme européenne 10138 valeurs sept 2005

Torons/Fils	Diamètre	Section	Fp0,1k	Fpk	E _p	CLASSE	$\eta_{p2} =$	α_2
F5-1860	5	19,6	32,4	36,5	205000,MPa	1860,MPa	1,4	0,25
F7-1770	7	38,5	59,9	71,6	205000,MPa	1770,MPa	1,4	0,25
T5,2-1960	5,2	13,6	23,8	26,7	195000,MPa	1960,MPa	1,2	0,19
T5,2-2160	5,2	13,6	26,2	29,4	195000,MPa	2160,MPa	1,2	0,19
T6,85-1860	6,85	28,2	53,6	60,9	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T9,3-1860	9,3	52	85,1	96,7	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,5-1860	12,5	93	152	173	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,9-1860	12,9	100	164	186	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,2-1860	15,2	140	228	259	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,7-1860	15,7	150	246	279	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19

Classe 1 (RN) 8 0,008 1,50
 Classe 2 (TBR) 2,5 0,006 1,10
 Classe 3 (barres) 4,5 0,008 1,25

TYPE DE CIMENT

CIMENT	CEM	a	s	α_{ds1}	α_{ds2}
Rapid	42.5R/52.5	1	0,2	6	0,11
Normal	42,5	0	0,25	4	0,12
Slow	32,5	-1	0,38	3	0,13

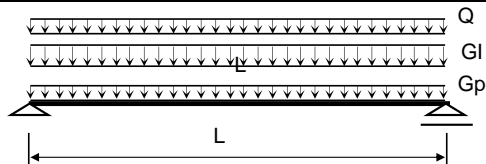
CIMENT :	poutre	Rapid	α	s	α_{ds1}	α_{ds2}
			1	0,2	6	0,11

CHARGES EXTERIEURES

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

Charges permanentes

Gp poutre = 150 daN/m	Lpoutres = 6,60 m
Gp pannes = 450 daN/m	Lpannes = 2,37 m
soit 1066,5 daN/m	entraxe = 1,00 m
Gp bca = 125 daN/m²	Gp charges accrochées = 0 daN/m²
soit 296 daN/m	soit 0 daN/m
Poutre : PP = 150,0 daN/m	MPP = 8,17 kN.m
Autres : CP = 1362,8 daN/m	MCP = 74,20 kN.m
TOTAL PP+CP = 1512,8 daN/m	MG = 82,37 kN.m



Charges d'exploitation

	charges	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
Surcharges Q = 60 daN/m²	142 daN/m	0,7	0,5	0,3	7,74 kN.m ¹
Vent W = 0 daN/m²	0 daN/m	0,5	0,2	0	0,00 kN.m ³
Neige S = 55 daN/m²	130 daN/m	0,6	0,2	0	7,10 kN.m ²

ELS	perm.	q. perm.	freq.	carac.
p(kN/m)	15,13	15,55	16,10	17,85
Ms(kNm)	82	85	88	97

G =	15,13 kN/m	ELU	eq 6.10
Q =	1,42 kN/m	pu (kN/m)	23,7
S =	1,30 kN/m	Mu (kNm)	129

CHARGE A L'ELU

$$p_{ELU} = 0,024 \text{ MN/m}$$

MOMENT A L'ELU

$$M_{ELU} = 0,129 \text{ MN.m}$$

TRANCHANT ELU

$$T_{ELU} = 0,078 \text{ MN}$$

Moments à mi travée	Moment calculé	Moment pris en compte
$M_{\max_qperm} =$	85 kN.m	85 kN.m
$M_{\max_freq} =$	88 kN.m	88 kN.m
$M_{\max_ELS} =$	97 kN.m	97 kN.m
$M_{ELU} =$	0,129 MN.m	0,129 MN.m

Coefficient hyperstatique
100%

FLEXION ELS

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

sous combinaisons caractéristique	sous combinaisons fréquente	sous combinaisons quasi permanentes
$M_{max_ELS} = 97,21 \text{ kN.m}$	$M_{max_freq} = 87,66 \text{ kN.m}$	$M_{max_qperm} = 84,69 \text{ kN.m}$
contraintes en fibre sup = 13,46 MPa contraintes en fibre inf = -13,46 MPa en section d'enrobage = -13,71 MPa	contraintes en fibre sup = 12,14 MPa contraintes en fibre inf = -12,14 MPa en section d'enrobage = -12,36 MPa	contraintes en fibre sup = 11,73 MPa contraintes en fibre inf = -11,73 MPa en section d'enrobage = -11,94 MPa

1er lit à 3,0 cm

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) :

maxi

soit $Pk_sup = 1.05 \times (Po - DP)$

Pertes (si valeur imposée) 10%

Pertes totales = 10,00%

$Pk_sup = 4812 \text{ daN/toron}$

SIGMA_{sup} = -5,44 MPa

SIGMA_{inf} = 13,88 MPa

$f_{ctm} = -2,90 \text{ MPa}$

$f_{ctm,fi} = -3,53 \text{ MPa}$

FIBRE	y cm	sigma_precont. MPa	sigma_caract MPa	sigma_freq MPa	sigma_qp MPa
INF	0	13,88	0,42	1,74	2,15
SUP	38	-5,44	8,02	6,70	6,29

OK
OK
OK

Absence fissure Combinaison QP (classe 3)
Absence fissure Combinaison F (classe 2)
Absence fissure Combinaison C (classe 1)

Contraintes limites classes XD, XF, XS = $0.6f_{ck}$ 18,0 MPa
Moment de fissuration pour $f_{ctm} = 0.03 \text{ MPa}$ 121,2 kN.m
Fluage linéaire si $\sigma_c < 0.45f_{ck}$ 13,5 MPa

VERIFICATION AU RELACHEMENT

SECTION	à l_{disp}	à mi travée
Poids propre	$M_{pp} = 0,40 \text{ kN.m}$	$M_{pp} = 8,17 \text{ kN.m}$
contraintes		
fibre sup =	0,06 MPa	1,13 MPa
fibre inf =	-0,06 MPa	-1,13 MPa
cdg torons =	-0,04 MPa	-0,86 MPa

$l_{disp} = 0,947 \text{ m}$

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) :

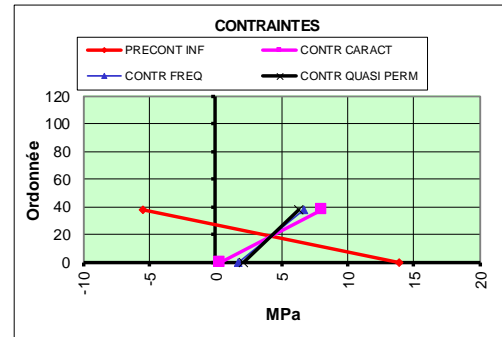
mini

Effort au relâchement = 46 kN

$Pk_inf = 44 \text{ kN}$

soit $Pk_inf = 0.95 \times (Po - DP)$

SECTION	précontrainte totale	Cumul contraintes à l_{disp}	Commentaires	A mi-travée	Commentaires
Fibre sup	-4,99 MPa	-4,93 MPa	il faut gagner des torons aux abouts	-3,85 MPa	il faut augmenter $f_{ck}(tp)$
Fibre inf	12,72 MPa	12,66 MPa		11,59 MPa	
cdg torons	10,62 MPa	10,58 MPa		9,76 MPa	
SECTION	précontrainte avec gainage	Cumul contraintes à l_{disp}		Commentaires	
Fibre sup	-0,82 MPa	-0,76 MPa		fluage non linéaire	
Fibre inf	8,81 MPa	8,76 MPa			
cdg torons	7,37 MPa	7,32 MPa			
$f_{ck}(tp) = 11,89 \text{ MPa}$		$f_{ctm}(tp) = 1,94 \text{ MPa}$			
$\sigma_c \text{ admissible} =$		$\sigma_c < 0.7.f_{ck}(tp) = 8,32 \text{ MPa}$			
Fluage linéaire si au cdg torons		$\sigma_c < 0.45.f_{ck}(tp) = 5,35 \text{ MPa}$			



On constate que les poutres BA précontraintes 30 x 38ht cm sont justifiées pour reprendre la mise en place des panneaux photovoltaïques.

• Note de calculs poutres BA précontraintes 20 x 39ht cm (P7) :

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

DIMENSIONS DE LA POUTRE type :

Poutre I 30 X 39

$b_{\text{talon}} = 30,0 \text{ cm}$ $b_{\text{tête}} = 30,0 \text{ cm}$ $h_{\text{total}} = 39 \text{ cm}$
 $h_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $b_{\text{âme}} = 20,0 \text{ cm}$
 $d_{\text{talon}} = 0 \text{ cm}$ $d_{\text{tête}} = 0 \text{ cm}$ $h_{\text{âme}} = 39 \text{ cm}$

$L = 6,60 \text{ m}$ $L_{\text{prefa}} = 6,80 \text{ m}$
 About = 0,10 m

$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$ $E_{cmP} = 32837 \text{ MPa}$
 $f_{cm} = 38,00 \text{ MPa}$
 $f_{cm,t0} = 19,89 \text{ MPa}$
 $t_0 = 3 \text{ jours}$
 si mise en tension sans étuvage
 $\gamma_c = 1,5$
 $f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$
 $f_{ctm,t1} = 3,50 \text{ MPa}$
 Humidité relative = 70

ARMATURES DE PRECONTRAINT

type fils/torons : T6,85-1860 classe : Classe 3 (barres)
 diamètre = 6,85 mm $\rho_{1000} = 4,5$
 $k_1 = 0,008$
 $k_2 = 1,25$

$A_p = 28 \text{ mm}^2$
 $A_{p_total} = 282 \text{ mm}^2$
 $E_p = 195000 \text{ MPa}$

CDG des torons = 4,50 cm
 excentricité e = 15,00 cm
 $d_p = 34,50 \text{ cm}$
 $F_{p0,1k} = 54 \text{ kN}$
 $F_{pk} = 61 \text{ kN}$
 $\gamma_s = 1,15$

Lits N°	Nb torons	type de torons	dinf
1	5	T6,85-1860	3,0 cm
2	5	T6,85-1860	6,0 cm
3	0	T6,85-1860	8,0 cm
4	0	T6,85-1860	10,0 cm
5	0	T6,85-1860	12,0 cm
6	0	T6,85-1860	14,0 cm
7	0	T6,85-1860	
8	0	T6,85-1860	

Nb TORONS = 10

BASE DE DONNEES Valeurs selon norme européenne 10138 valeurs sept 2005

Torons/Fils	Diamètre	Section	Fp0,1k	Fpk	E _p	CLASSE	$\eta_{p2} =$	α_2
F5-1860	5	19,6	32,4	36,5	205000,MPa	1860,MPa	1,4	0,25
F7-1770	7	38,5	59,9	71,6	205000,MPa	1770,MPa	1,4	0,25
T5,2-1960	5,2	13,6	23,8	26,7	195000,MPa	1960,MPa	1,2	0,19
T5,2-2160	5,2	13,6	26,2	29,4	195000,MPa	2160,MPa	1,2	0,19
T6,85-1860	6,85	28,2	53,6	60,9	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T9,3-1860	9,3	52	85,1	96,7	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,5-1860	12,5	93	152	173	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T12,9-1860	12,9	100	164	186	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,2-1860	15,2	140	228	259	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19
T15,7-1860	15,7	150	246	279	195000,MPa	1860,MPa	1,2	0,19

Classe 1 (RN) 8 0,008 1,50
 Classe 2 (TBR) 2,5 0,006 1,10
 Classe 3 (barres) 4,5 0,008 1,25

TYPE DE CIMENT

CIMENT	CEM	a	s	α_{ds1}	α_{ds2}
Rapid	42.5R/52.5	1	0,2	6	0,11
Normal	42,5	0	0,25	4	0,12
Slow	32,5	-1	0,38	3	0,13

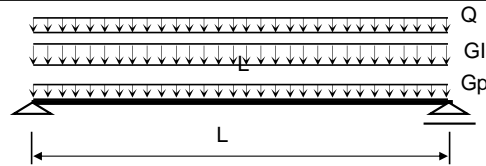
CIMENT : poutre Rapid $\alpha = 1$ $S = 0,2$ $\alpha_{ds1} = 6$ $\alpha_{ds2} = 0,11$

CHARGES EXTERIEURES

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

Charges permanentes

Gp poutre = 105 daN/m	Lpoutres = 6,60 m
Gp pannes = 450 daN/m	Lpannes = 2,55 m
soit 1147,5 daN/m	entraxe = 1,00 m
Gp bca = 125 daN/m ²	Gp charges accrochées = 0 daN/m ²
soit 319 daN/m	soit 0 daN/m
Poutre : PP = 105,0 daN/m	MPP = 5,72 kN.m
Autres : CP = 1466,3 daN/m	MCP = 79,84 kN.m
TOTAL PP+CP = 1571,3 daN/m	MG = 85,55 kN.m



Charges d'exploitation

	charges	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
Surcharges Q = 60 daN/m ²	153 daN/m	0,7	0,5	0,3	8,33 kN.m 1
Vent W = 0 daN/m ²	0 daN/m	0,5	0,2	0	0,00 kN.m 3
Neige S = 55 daN/m ²	140 daN/m	0,6	0,2	0	7,64 kN.m 2

ELS	perm.	q. perm.	freq.	carac.
p(kN/m)	15,71	16,17	16,76	18,65
Ms(kNm)	86	88	91	102

G =	15,71 kN/m	ELU	eq 6.10
Q =	1,53 kN/m	pu (kN/m)	24,8
S =	1,40 kN/m	Mu (kNm)	135

CHARGE A L'ELU

$P_{ELU} = 0,025 \text{ MN/m}$

MOMENT A L'ELU

$M_{ELU} = 0,135 \text{ MN.m}$

TRANCHANT ELU

$T_{ELU} = 0,082 \text{ MN}$

Moments à mi travée	Moment calculé	Moment pris en compte
$M_{\max_qperm} =$	88 kN.m	88 kN.m
$M_{\max_freq} =$	91 kN.m	91 kN.m
$M_{\max_ELS} =$	102 kN.m	102 kN.m
$M_{ELU} =$	0,135 MN.m	0,135 MN.m

Coefficient hyperstatique
100%

FLEXION ELS

Calcul suivant l'Eurocode 2 NF EN 1992-1-1

sous combinaisons caractéristique	sous combinaisons fréquente	sous combinaisons quasi permanentes
$M_{max, ELS} = 101,52 \text{ kN.m}$	$M_{max, freq} = 91,25 \text{ kN.m}$	$M_{max, qperm} = 88,05 \text{ kN.m}$
contraintes en fibre sup = 20,02 MPa contraintes en fibre inf = -20,02 MPa en section d'enrobage = -20,38 MPa	contraintes en fibre sup = 18,00 MPa contraintes en fibre inf = -18,00 MPa en section d'enrobage = -18,31 MPa	contraintes en fibre sup = 17,37 MPa contraintes en fibre inf = -17,37 MPa en section d'enrobage = -17,67 MPa

1er lit à 3,0 cm

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) :

maxi

soit $Pk_{sup} = 1.05 \times (Po - DP)$

Pertes (si valeur imposée) 10%

Pertes totales = 10,00%

$Pk_{sup} = 4812 \text{ daN/toron}$

SIGMASup = -8,07 MPa

SIGMAInf = 20,41 MPa

$f_{ctm} = -2,90 \text{ MPa}$

$f_{ctm, fi} = -3,50 \text{ MPa}$

FIBRE	y cm	sigma_precont. MPa	sigma_caract MPa	sigma_freq MPa	sigma_qp MPa
INF	0	20,41	0,38	2,41	3,04
SUP	39	-8,07	11,96	9,93	9,30

OK

OK

OK

Absence fissure Combinaison QP (classe 3)

Absence fissure Combinaison F (classe 2)

Absence fissure Combinaison C (classe 1)

Contraintes limites classes XD, XF, XS = 0.6fck 18,0 MPa

Fluage linéaire si

$\sigma_c < 0.45f_{ck} =$

13,5 MPa

VERIFICATION AU RELÂCHEMENT

SECTION	à l_{disp}	à mi travée
Poids propre	$M_{pp} = 0,28 \text{ kN.m}$	$M_{pp} = 5,72 \text{ kN.m}$
contraintes		
fibre sup =	0,05 MPa	1,13 MPa
fibre inf =	-0,05 MPa	-1,13 MPa
cdg torons =	-0,04 MPa	-0,87 MPa

$l_{disp} = 0,933 \text{ m}$

CONTRAINTES DU BETON DANS LA SECTION

Calcul en précontrainte (mini ou maxi) :

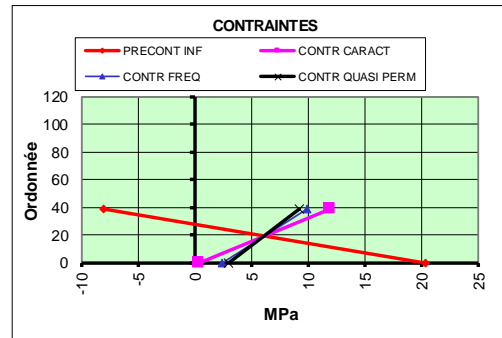
mini

Effort au relâchement = 45 kN

$Pk_{inf} = 43 \text{ kN}$

soit $Pk_{inf} = 0.95 \times (Po - DP)$

SECTION	précontrainte totale	Cumul contraintes à l_{disp}	Commentaires	A mi-travée	Commentaires
Fibre sup	-7,23 MPa	-7,18 MPa	il faut gagner des torons aux abouts	-6,11 MPa	il faut augmenter fck(tp)
Fibre inf	18,30 MPa	18,24 MPa		17,17 MPa	
cdg torons	15,35 MPa	15,31 MPa		14,49 MPa	
SECTION	précontrainte avec gainage	Cumul contraintes à l_{disp}		Commentaires	
Fibre sup	-1,75 MPa	-1,70 MPa		fluage non linéaire	
Fibre inf	12,68 MPa	12,63 MPa			
cdg torons	10,65 MPa	10,61 MPa			
$f_{ck}(t_p) =$	11,89 MPa	$f_{ctm}(t_p) =$	1,94 MPa		
σ_c admissible =		$\sigma_c < 0.7.f_{ck}(t_p) =$	8,32 MPa		
Fluage linéaire si au cdg torons		$\sigma_c < 0.45.f_{ck}(t_p) =$	5,35 MPa		



On constate que les poutres BA précontraintes 20 x 39ht cm sont justifiées pour reprendre la mise en place des panneaux photovoltaïques.

Bâtiment « Data Center » :

Hypothèses de charges (à l'ELS) :

<i>Poids propre DAP ép. = 32 cm + table de compression ép. = 5 cm</i>	G = 580 daN/m²
<i>Charges d'exploitation toiture terrasse technique</i>	Q = 10 daN/m²
<i>Charges neiges</i>	S = 55 daN/m²
<i>Charges permanentes complémentaires (étanchéité, ...)</i>	G' = 25 daN/m²
<i>Gravillons (ép. = 5 cm)</i>	G' = 100 daN/m²
<i>Panneaux photovoltaïques</i>	G' = 50 daN/m²

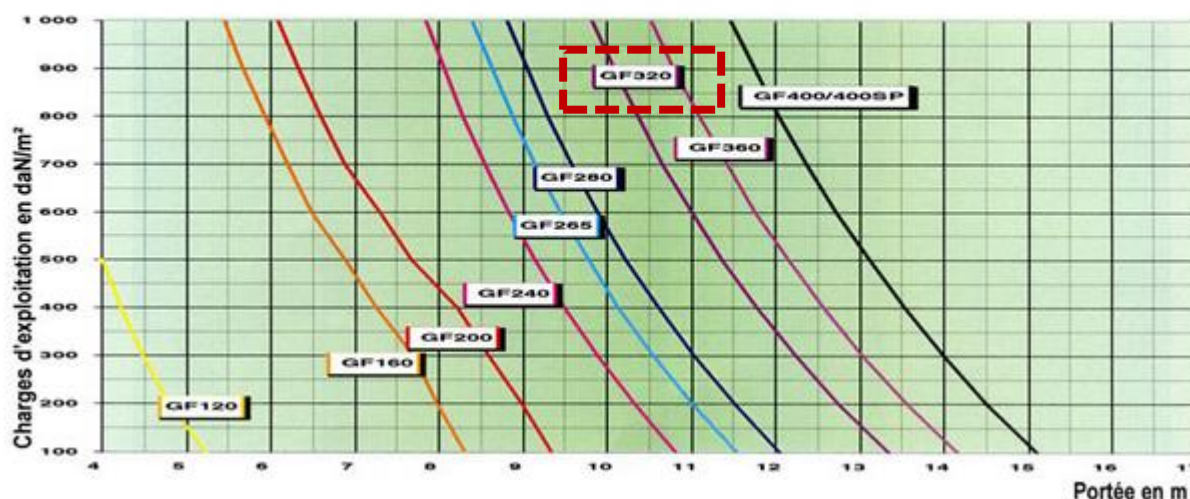


- Dalles alvéolaires précontraintes :

Les caractéristiques mise en évidence des dalles alvéolaires précontraintes du bâtiment « Data Center » possèdent des caractéristiques équivalentes au type de DAP « GF320 » chez le fournisseur « GF ». Ce type de DAP possède une capacité portante d'au moins 500 daN/m² pour une portée de 10,00 m.

Charges permanentes: 500 daN/m² avec table de compression

Avec la flèche calculée pour pouvoir supporter des ouvrages de type non fragiles suivant le CPT plancher titre III.



Cet ordre de grandeur nous permet de justifier la mise en place des panneaux solaires en toiture terrasse du bâtiment « Data Center ».

IV. CONCLUSION :

En conclusion, de diagnostic de l'ensemble de bâtiments situés 231, avenue Clément Ader, 34170, Castelnau-le-Lez, nous a permis de justifier la mise en place de panneaux photovoltaïques en toiture terrasse.

En effet, concernant le bâtiment « Local Groupe Electrogène », la capacité portante des poutres en béton armé précontraintes a été justifiée dans le cadre du projet pour la reprise d'une charge de **80 kg/m²** pour ce plancher.

Il conviendra néanmoins de déposer 4 cm de gravillon au niveau de la surface de mise en place des panneaux solaires pour reprendre une charge de 80 kg/m² et s'assurer de ne pas venir recharger les dalles alvéolaires précontraintes.

Pour le bâtiment B, les capacités portantes des ouvrages qui constituent la toiture terrasse, poutres et dalle BA ont été justifiées pour reprendre les 60 kg/m² correspondant aux charges projetées.

A noter que la dépose de l'épaisseur de gravillon sur la surface de mise en place d'équipement pourra permettre de récupérer jusqu'à 160 kg/m² de surcharge admissible pour ces surfaces de planchers.

Enfin, la capacité portante des dalles alvéolaires précontraintes du bâtiment « Data Center » est de minimum **500 kg/m²** dans le cas le plus défavorable ce qui nous permet de justifier la mise en place des panneaux solaires.