Remplacement de l'ascenseur
Note de justification structurelle de la cage – CNRA, Loperhet (Finistère)

	CLIENT	
	CNRA OUEST **37 route du radar de Bretagne CS80013** **29470 LOPERHET**	✉philippe-p.lemaire@aviation-civile.gouv.fr ☎ **02 98 37 31 50**



Référence : 26XXXXX-STR			NOTE DE CALCUL	
INDICE	**DATE**	**AUTEUR**	**VERIFICATION**	**MODIFICATIONS**
0	26/06/2026	AC		1ère émission
1	07/07/2026	AC		2ère émission – DDC ascenseur

SOBRETEC
SIEGE SOCIAL : 120, rue Rolland Garros – 29490 GUIPAVAS
SAS au capital de 200 000 € – SIRET 637 020 215 00074 – Identification de TVA FR 25 637 020 215
Tél. 02 98 44 26 61
Email : contact@sobretec.com
Site internet : www.sobretec.fr

SOMMAIRE

1 PRÉAMBULE 3

1.1 OBJET DE LA NOTE 3
1.2 CONTENU DE LA MISSION 3
1.3 ÉLEMENTS REÇUS 3

2 RELEVÉ DE L'EXISTANT 4

2.1 PRESENTATION DE L'OUVRAGE 4
2.2 STRUCTURE DE LA GAINE 4
2.3 FONDATIONS 6

3 HYPOTHÈSES 7

3.1 BASES REGLEMENTAIRES ET MATERIAUX 7
3.2 CHARGES DES PLANCHERS 7
3.3 CHARGES DE L'ASCENSEUR 7

4 ANALYSE — DESCENTE DE CHARGES 10

4.1 MODELISATION 10
4.2 COMPARATIF DES REACTIONS 10

5 VÉRIFICATIONS 12

5.1 DALLE BASSE DE CUVETTE 12
5.2 VERIFICATION PROFILES EN TETE DE GAINE 17

6 CONCLUSION 19

1 PRÉAMBULE

1.1 OBJET DE LA NOTE

La présente note a pour objet de justifier la structure de la cage d'ascenseur existante du bâtiment radar du CNRA à Loperhet (Finistère), dans le cadre du remplacement de l'appareil. La charge nominale passe de 375 kg à 450 kg, soit une augmentation de la charge utile de 75 kg (+20 %). La gaine, ses fondations et la structure d'appui des planchers sont conservées : il s'agit de vérifier qu'elles restent compatibles avec les réactions du nouvel appareil.

1.2 CONTENU DE LA MISSION

La mission se limite au volet structure et comprend :

- la reconnaissance de l'existant à partir des plans reçus et d'une visite sur site ;
- l'établissement des hypothèses de charges ;
- la descente de charges comparée des états existant et projet ;
- la vérification des voiles, des fondations et de la dalle de cuvette vis-à-vis des réactions de l'ascenseur.

1.3 ÉLEMENTS REÇUS

Les éléments disponibles à ce stade sont :

- le courriel du maître d'ouvrage demandant l'étude du passage de 375 kg à 450 kg ;
- les plans de l'existant permettant de situer les planchers et leur appui sur les voiles ;
- un reportage photographique de la fosse, de la tête de gaine et du toit de cabine.

Ne sont pas disponibles à ce stade la fiche technique du futur appareil ni le plan de réactions sur génie civil de l'ascensoriste. Les charges de l'ascenseur sont donc traitées selon la descente de charges de l'ascensoriste.

2 RELEVÉ DE L'EXISTANT

2.1 PRESENTATION DE L'OUVRAGE

La cage d'ascenseur est constituée de voiles en béton armé formant la gaine. L'appareil est un ascenseur électrique à traction, à machine en tête, avec suspension directe des câbles sur le châssis de cabine (mouflage 1:1, sans poulie de renvoi de cabine). La fosse présente une profondeur d'environ 1,00 m et reçoit deux amortisseurs (cabine et contrepoids).

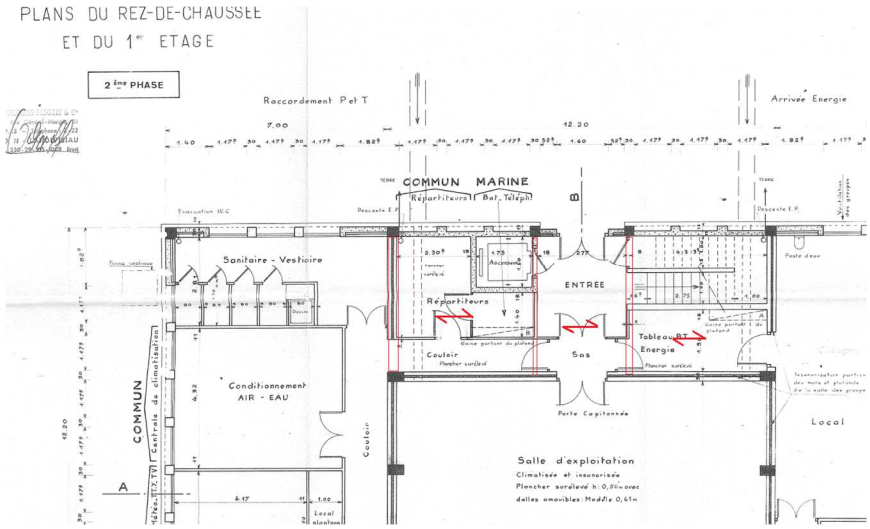
Le bâtiment présente des niveaux courants identiques. La gaine d'ascenseur dessert les niveaux jusqu'au R+5, où elle s'arrête. Le niveau R+6 est occupé par le radar ; d'après les plans et coupes de l'existant, la structure propre du radar ne s'appuie pas sur les voiles de la cage d'ascenseur, qui ne sont donc pas sollicités par cet équipement.



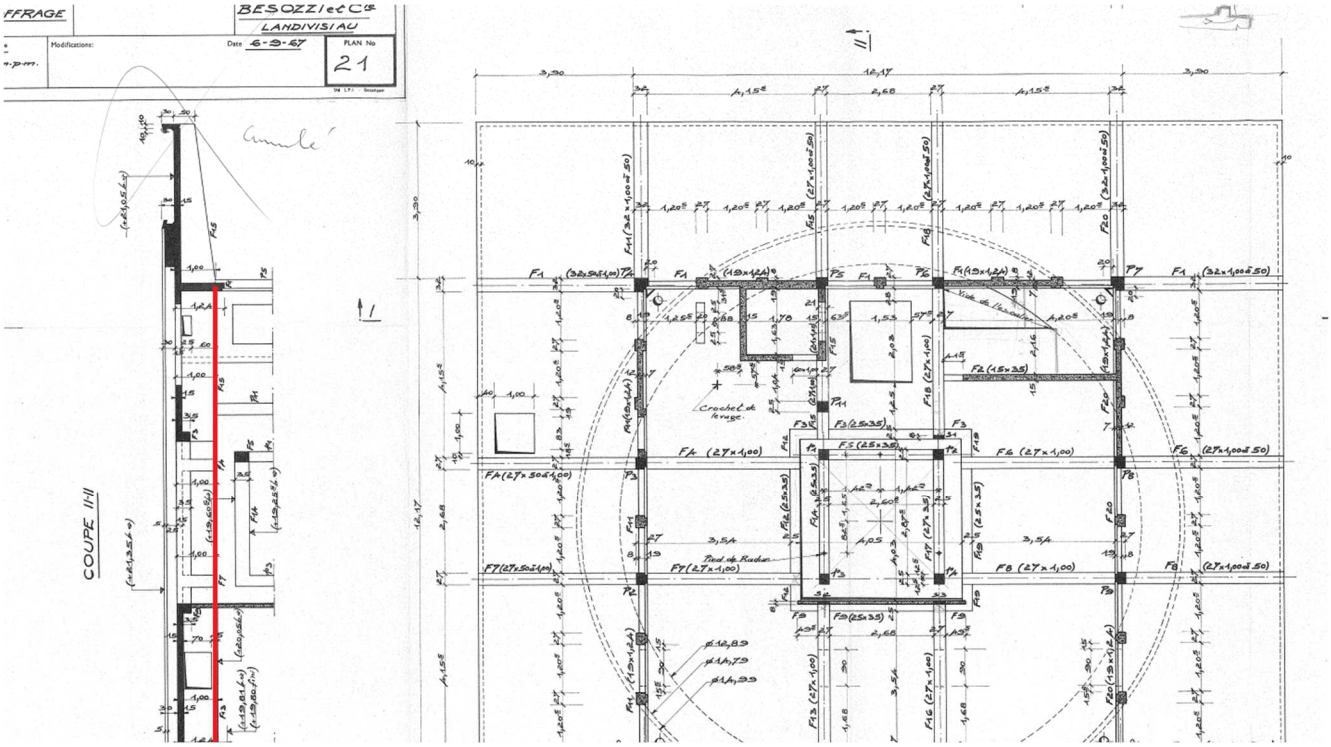


2.2 STRUCTURE DE LA GAINE

Les voiles en béton armé de 18 cm d'épaisseur assurent à la fois le clos de la gaine et la reprise des efforts de l'ascenseur. Les rails de guidage de la cabine et du contrepoids sont fixés aux voiles par ferrures scellées, réparties sur la hauteur. Les planchers des niveaux courants de la circulation s'appuient sur ces voiles.



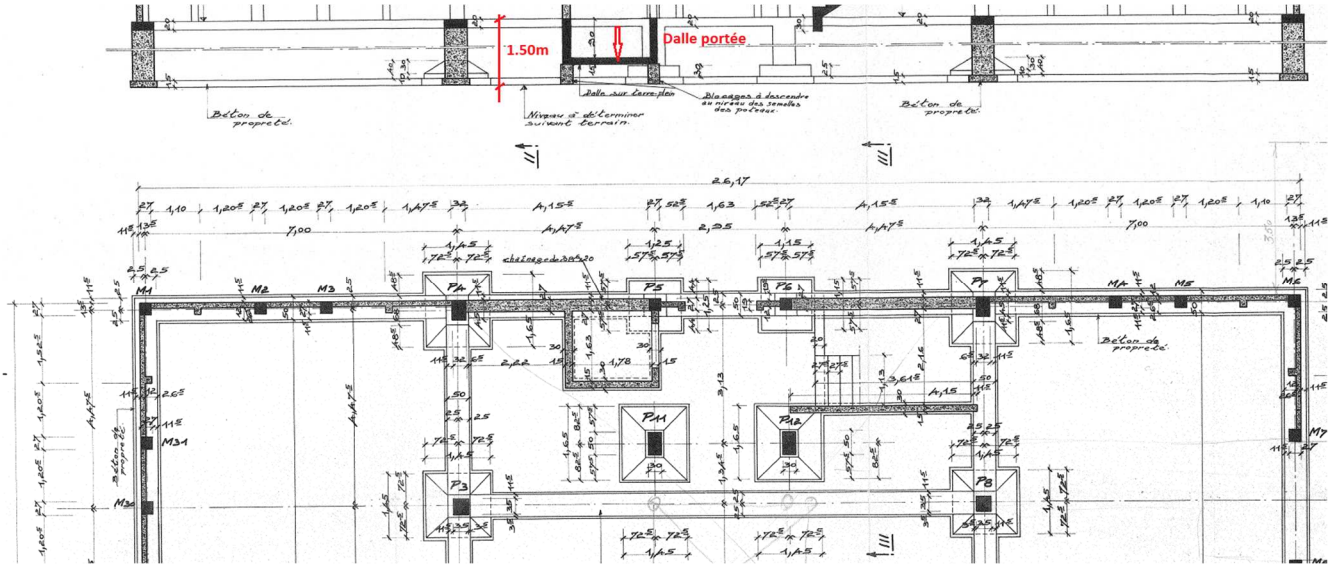
La structure du radar est indépendante de la cage d'ascenseur. La ligne rouge ci-dessous repère l'arase inférieure de la poutre du plancher radar, qui passe au-dessus de la gaine et prend appui sur le poteau P5 — les voiles de la cage ne reprennent donc pas cette charge :





2.3 FONDATIONS

Les fondations sont superficielles. Les voiles de la gaine sont fondés sur semelles filantes de 0,30 m de largeur, dont l'assise se situe à environ 1,50 m sous le niveau du rez-de-chaussée (sensiblement le niveau du terrain fini). La dalle basse de la cuvette porte sur ces semelles filantes. Les planchers bas des autres zones semblent être en dallage.



La contrainte de sol n'est pas renseignée sur les plans DOE. Seule une résistance théorique du sol de 50 T/m², soit 0.49 MPa est mentionnée.

3 HYPOTHÈSES

3.1 BASES REGLEMENTAIRES ET MATERIAUX

Les vérifications sont menées selon les Eurocodes (EN 1990 à EN 1997) et, pour les charges et réactions de l'ascenseur, selon la série EN 81 (EN 81-20 et EN 81-50). Les caractéristiques des matériaux (béton, acier) et la contrainte admissible du sol sous les semelles sont à confirmer par les pièces d'exécution d'origine.

3.2 CHARGES DES PLANCHERS

Les niveaux courants étant identiques, les charges de plancher reprises par les voiles de la gaine sont sensiblement les mêmes à chaque niveau, du R+1 au R+5. Elles sont prises en compte avec une charge permanente G = 150 daN/m² et une charge d'exploitation Q = 400 daN/m² (catégorie C au sens de l'EN 1991-1-1, zone de circulation susceptible d'accueillir du public).

Les planchers situés autour de la gaine reposent clairement sur les voiles de l'ascenseur : cet appui est évident et il est pris en compte dans le calcul. En revanche, on considère que le niveau R+6, qui porte le radar, ne repose pas sur ces voiles, car le radar possède sa propre structure indépendante (cf. §2.1).

Ce choix est volontairement prudent. En ne faisant pas porter le radar par les voiles, on les considère moins chargés : le petit supplément de poids dû au passage de la cabine de 375 à 450 kg représente alors une part plus importante de la charge totale. On se place ainsi dans le cas où ce supplément compte le plus, et l'on montre qu'il reste acceptable. Si les voiles portaient aussi le radar, son effet serait encore plus faible.

3.3 CHARGES DE L'ASCENSEUR

Le plan de réactions de l'ascensoriste (INEX, appareil VM Be 3, 450 kg, traction gearless, 1 m/s, course 11 m, mouflage 1:1) a été communiqué ; il s'agit d'une pré-étude (indice PRO 4), à reconfirmer avant exécution. La motorisation est en fond de cuvette, avec renvoi haut et point fixe du contrepoids en tête. Les réactions indiquées intègrent déjà un coefficient dynamique de 1,5.

Les actions de l'appareil relèvent de situations non concomitantes, traitées en cas de charge distincts et combinées séparément : le poids permanent en service (G et Q), les réactions accidentelles d'impact en cuvette (A) et la charge temporaire de montage (situation transitoire). Les efforts horizontaux de guidage, qui s'équilibrent, ne participent pas à la descente de charges.

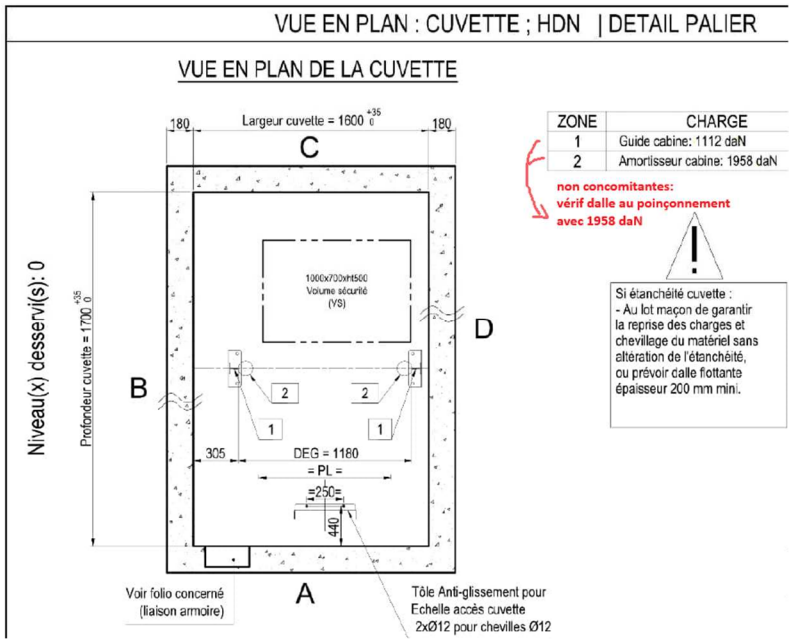
Poids permanent en service — le poids de l'appareil comprend une part permanente (G : tare de la cabine, contrepoids, câbles et machine, soit environ 2,0 t) et une part d'exploitation (Q : charge utile de 450 daN), soit un total de l'ordre de 2,5 t. Ce poids descend dans les voiles puis dans les semelles ; pour la descente de charges, il est appliqué en charge répartie sur les voiles de la gaine. Sa répartition entre la tête (renvoi, résultante verticale nette de l'ordre de 800 daN) et la cuvette (réaction de la machine) ne modifie pas la charge reçue par les fondations.

Efforts horizontaux et arrachement — les efforts horizontaux de guidage et de renvoi (de l'ordre de 4 000 daN cumulés en tête) s'équilibrent globalement et ne se transmettent pas aux semelles. De même, la face côté contrepoids travaille en soulèvement (réaction verticale ascendante d'environ 2 150 daN). Ces efforts ne relèvent pas de la descente de charges : ils sont vérifiés localement (flexion et cisaillement des voiles, arrachement et cisaillement des chevilles), la face en soulèvement étant dimensionnante pour l'ancrage.

Réactions accidentelles d'impact (A) — en fond de cuvette, la dalle basse reçoit des charges d'impact accidentelles, exclusives entre elles : amortisseur cabine 1 958 daN par plot (deux plots), amortisseur contrepoids de l'ordre de 1 600 daN (valeur non fournie par le plan, estimée) et reprise de parachute au pied des guides 1 112 daN par plot (amortisseurs à bulles polyuréthane). N'étant pas concomitantes, seule la plus défavorable est retenue : le poinçonnement de la dalle est gouverné par l'amortisseur cabine (1 958 daN). Ces actions ne se cumulent pas avec le poids en service, la cabine n'étant alors plus suspendue.

Charge temporaire de montage — trois points de manutention de 1 500 daN sont prévus en sous-face de la dalle haute pour le levage du matériel. Action de construction (situation transitoire), non concomitante des charges d'exploitation, reprise par un ou des profilés métalliques traversant la gaine et appuyés sur les voiles (cf. §5), généralement un point actif à la fois.

Le plan requiert enfin un béton d'au moins 23 MPa et des zones de béton armé saines, d'emprise minimale 300 mm, en faces B et D au droit des fixations — à vérifier sur les voiles existants.

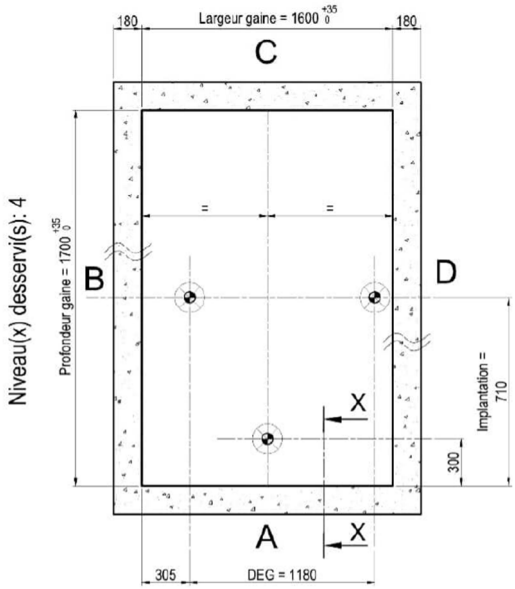


Efforts en cuvette

VUE EN PLAN DU DERNIER NIVEAU HAUT

Situation des éléments de manutention

Crochet/Emplacement de manutention : 1500 daN avec indication de la charge par Crochet/Emplacement.
Les crochets/emplacements de manutention devront être prévus aux positions indiquées par le repère :



Efforts en tête

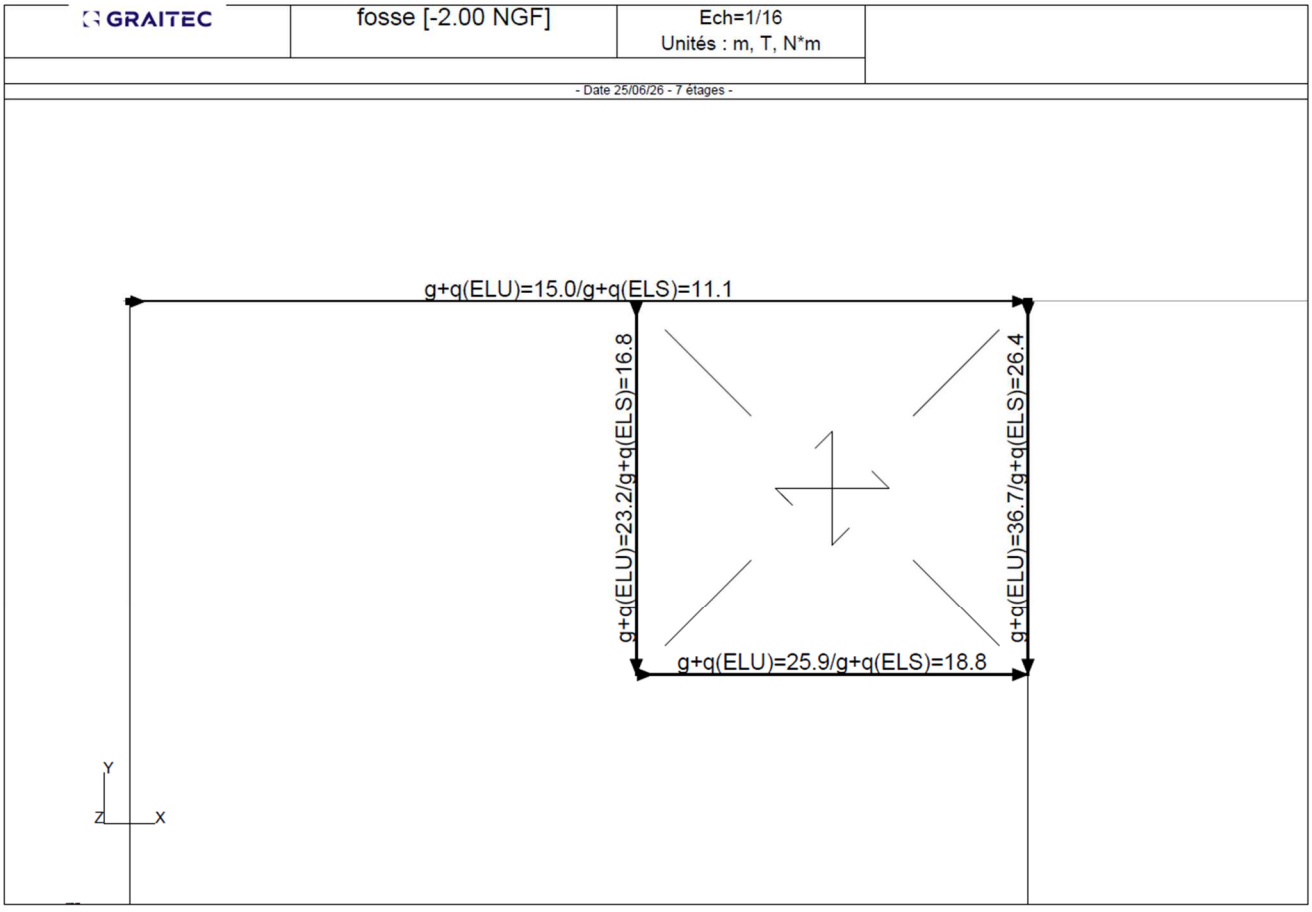
4 ANALYSE — DESCENTE DE CHARGES

4.1 MODELISATION

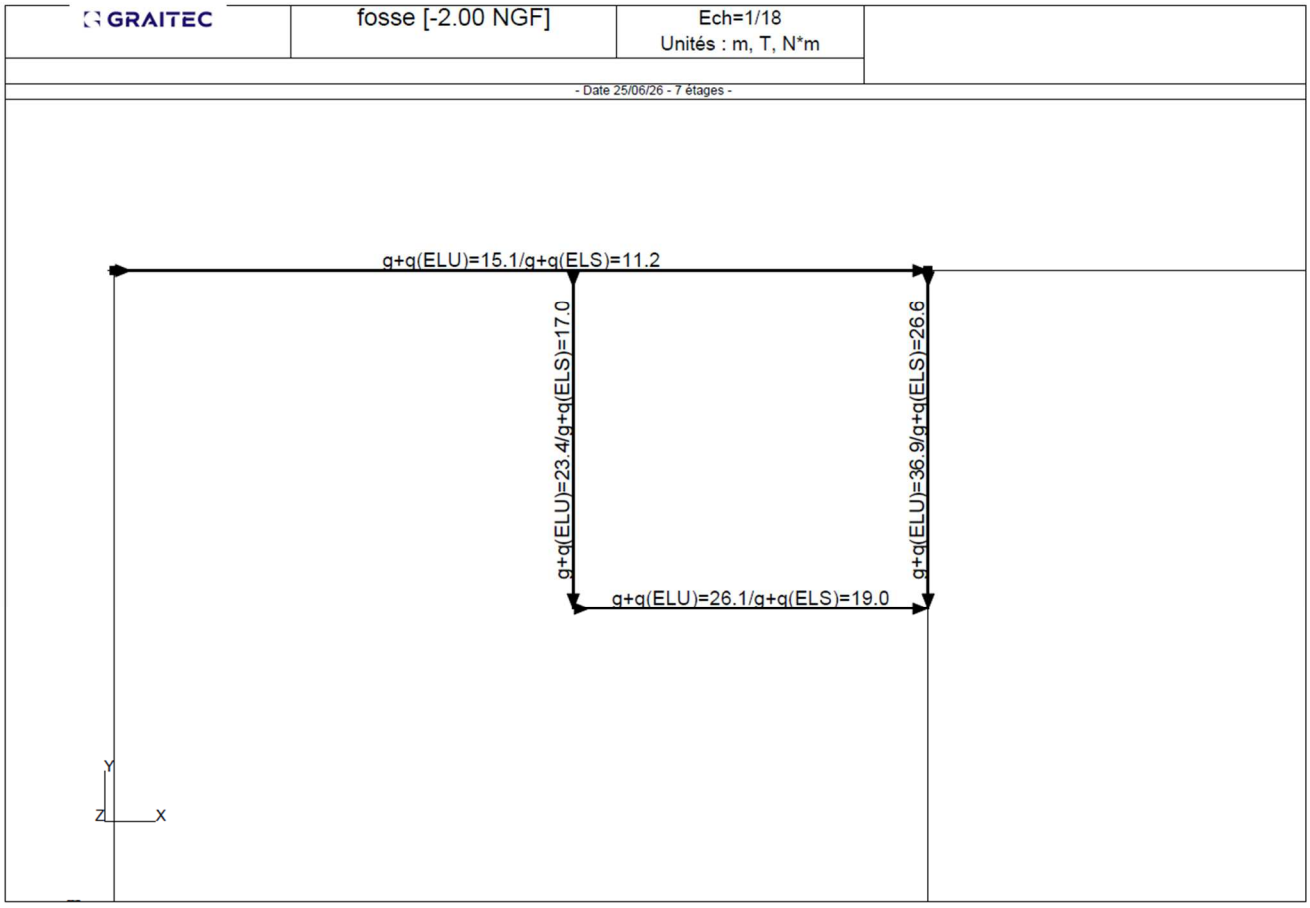
La descente de charges est réalisée sous Arche (Graitec) pour les deux états, existant et projet. Le modèle reprend les voiles de la gaine, les planchers s'y appuyant, et les charges de l'ascenseur appliquées en charges ponctuelles aux points définis au §3.3. La comparaison porte sur les réactions en pied de voile et la contrainte transmise aux semelles filantes.

4.2 COMPARATIF DES REACTIONS

Les résultats des deux modèles sont synthétisés ci-après. L'écart entre les deux états reste limité, l'augmentation de charge utile de 20 % se traduisant par un accroissement modéré des réactions.



DDC Semelles – Existant



DDC Semelles – Projet

Le rapport de sol n'étant pas disponible, la contrainte admissible n'est pas connue et la portance des semelles ne peut être vérifiée. L'analyse porte alors sur la seule comparaison des efforts entre état existant et état projet : la structure ayant fonctionné de manière satisfaisante sous l'appareil de 375 kg, il suffit de montrer que le passage à 450 kg n'accroît que marginalement les efforts transmis au sol. L'augmentation, comprise entre 0,7 % et 1,20 %, est négligeable et n'est pas de nature à remettre en cause l'équilibre existant.

5 VÉRIFICATIONS

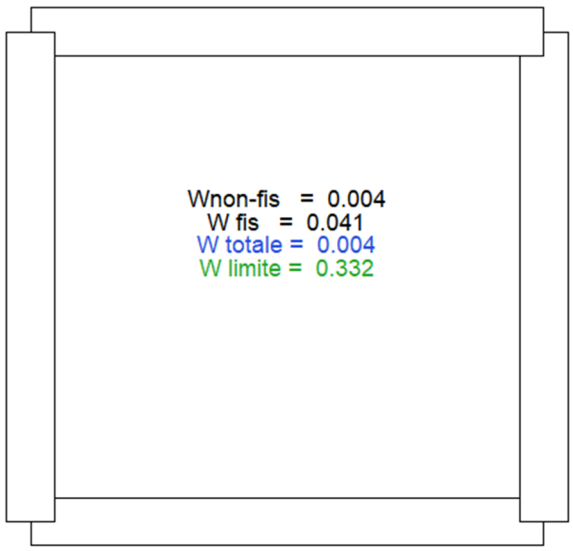
5.1 DALLE BASSE DE CUVETTE

La dalle basse est vérifiée localement sous les réactions d'amortisseurs en flexion entre semelles et au poinçonnement sous les plots d'amortisseur. Cette vérification est indépendante de la descente de charges globale.

Vérification du plancher bas de la fosse :

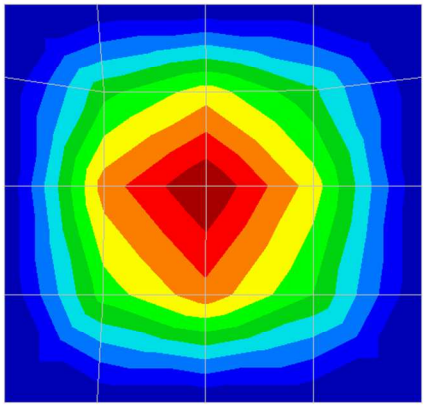
Existant : La flèche de calcul de 0.04cm reste inférieure à la flèche limite totale de 0.332 cm.

Les sections d'armatures inférieures sont de 1.98 cm² dans les deux sens et une section d'armature supérieure dans les deux sens de 1.44cm². En pratique pour une dalle de cuvette, le minimum théorique (~1,6 cm²/ml) est faible ; on met couramment un treillis ou des HA sur les deux faces, par exemple HA8 e=200 (2,5 cm²/ml) ou un ST25C (2,57 cm²/ml) par nappe. Cela couvre largement le minimum, donne le contrôle de fissuration.

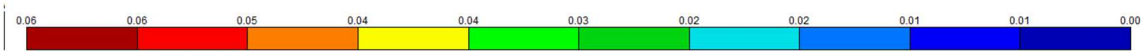


GRAITEC	Description de la flèche	Ech 1/13 ELS	Eh = 0.040 Eb = 0.040	Flèches (cm) ELS

- Date 25/06/26 - 7 étages -

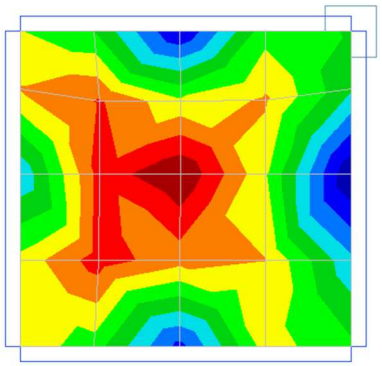






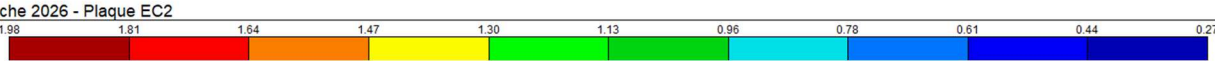
GRAITEC	Description du ferraillage théorique	Ech 1/18 ELU	Eh = 0.040 Eb = 0.040	Aciers Max(Bas selon X,Bas selon Y) (cm²/ml)

- Date 25/06/26 - 7 étages -



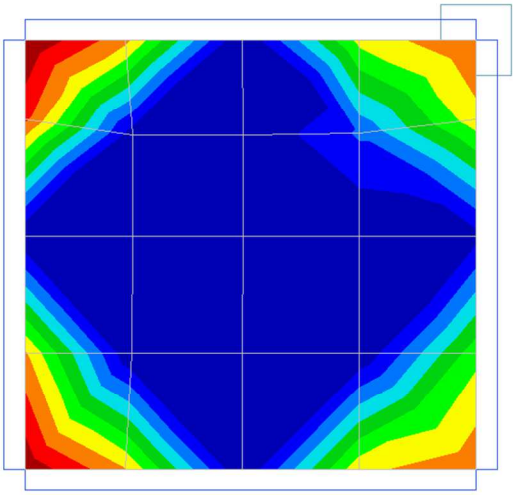


Arche 2026 - Plaque EC2



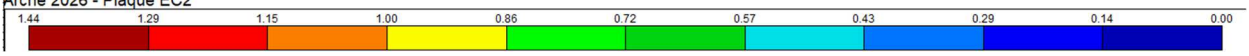
GRAITEC	Description du ferraillage théorique	Ech 1/13 ELU	Eh = 0.040 Eb = 0.040	Aciers Max(Haut selon X,Haut selon Y) (cm²/ml)

- Date 25/06/26 - 7 étages -





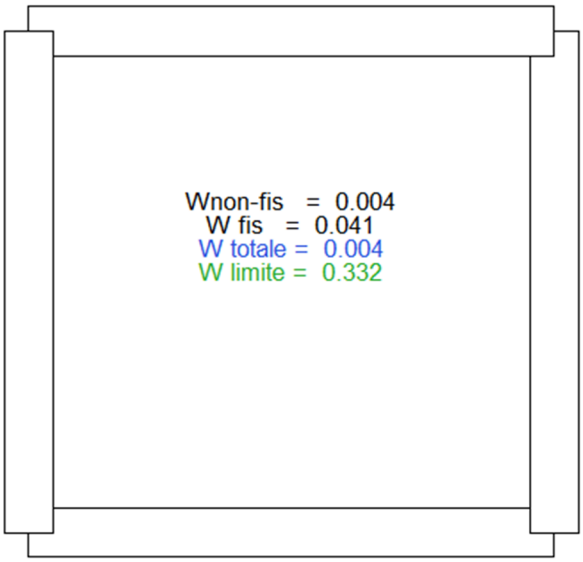
Arche 2026 - Plaque EC2



La flèche de calcul, égale à 0,02 cm, reste très inférieure à la flèche limite totale de 0,332 cm.

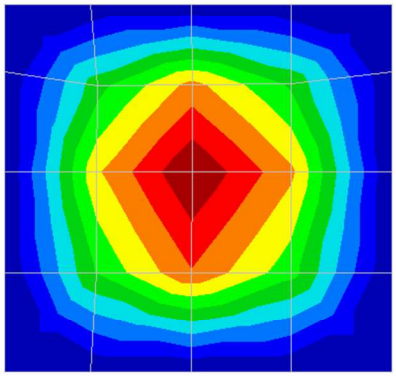
Les sections d'armatures requises à l'état projet sont de 0,99 cm²/ml en nappe inférieure et de 0,60 cm²/ml en nappe supérieure, dans les deux directions. Par rapport aux sections de calcul de la dalle existante, la section nécessaire d'armature est inférieure.

En retenant la pratique courante, soit un treillis ST 25C posé sur les deux faces (2,57 cm²/ml par nappe), la section couvre le besoin projet.

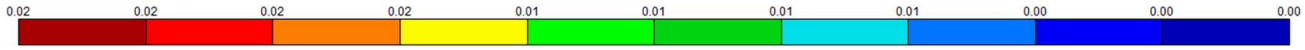


GRAITEC	Description de la flèche	Ech 1/17 ELS	Eh = 0.040 Eb = 0.040	Flèches (cm) ELS

- Date 25/06/26 - 7 étages -

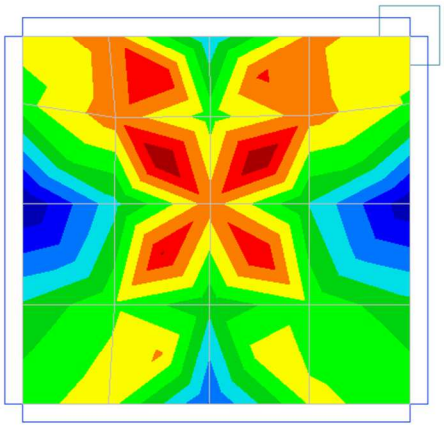






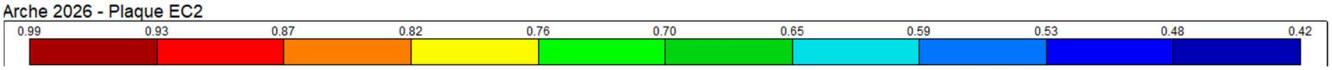
GRAITEC	Description du ferraillage théorique	Ech 1/17 ELU	Eh = 0.040 Eb = 0.040	Aciers Max(Bas selon X,Bas selon Y) (cm²/ml)

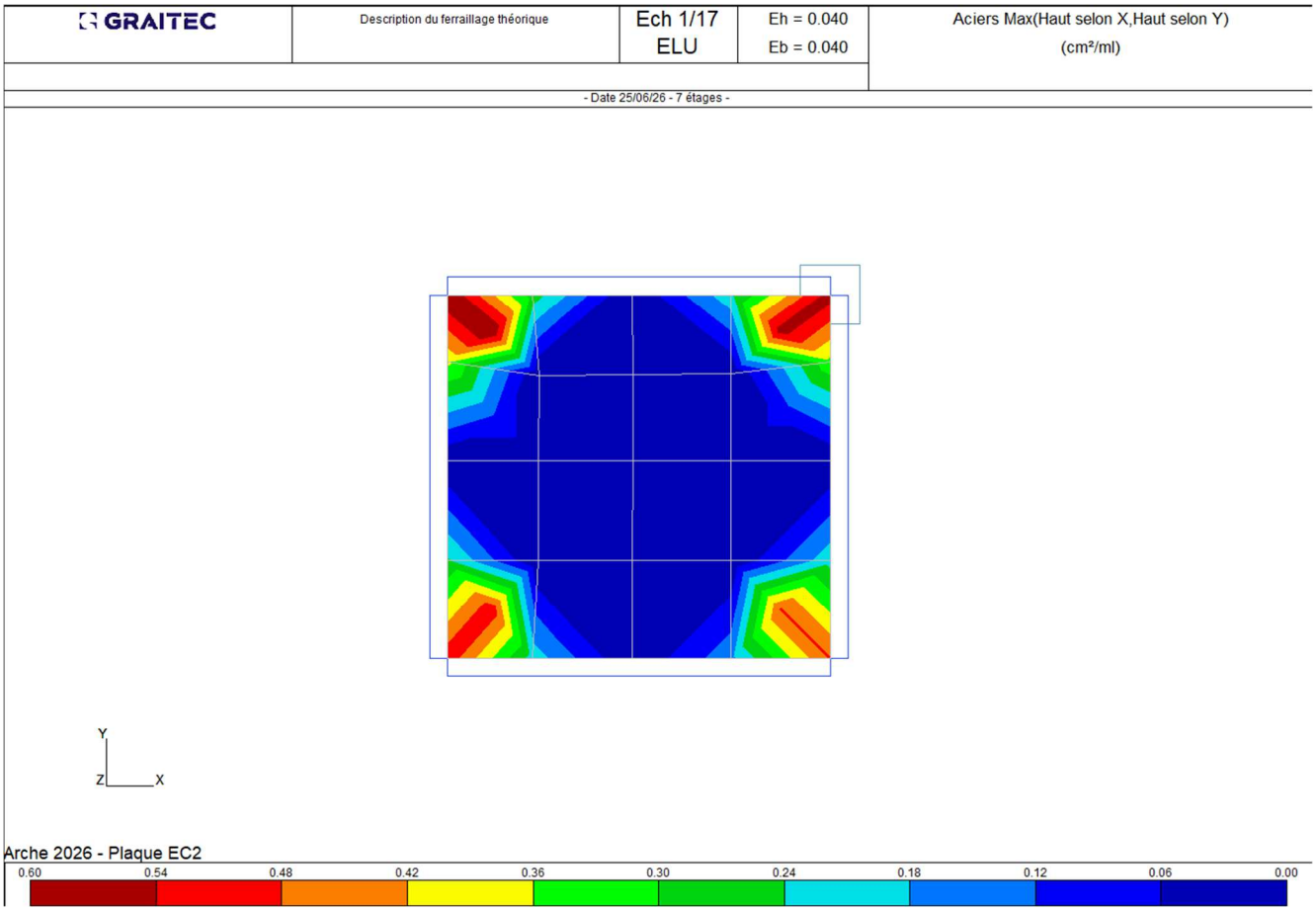
- Date 25/06/26 - 7 étages -





Arche 2026 - Plaque EC2

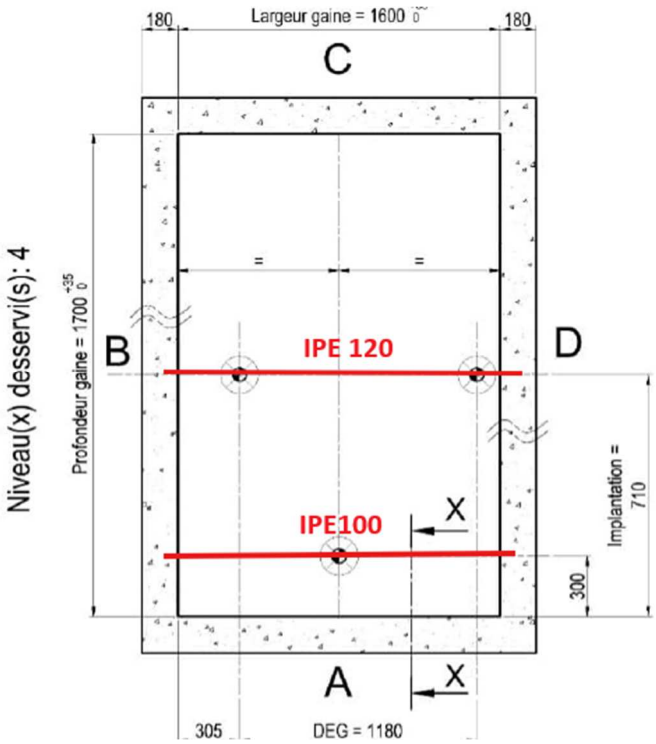




5.2 VERIFICATION PROFILES EN TETE DE GAINE

Profilé métallique en tête de gaine

En tête de gaine, la réaction verticale de l'ascenseur existant est actuellement reprise par deux profilés métalliques reportant sur les voiles. Le nouvel appareil reportant ses efforts de tête directement sur les voiles par chevillage du renvoi haut et du point fixe (cf. §3.3), ces deux profilés ne sont plus utiles à l'ascenseur et sont déposés. Deux nouveaux profilés métalliques sont réalisés en tête, destinés cette fois à reprendre les trois crochets de manutention (1 500 daN chacun) imposés par le plan en sous-face de la dalle haute, celle-ci n'étant pas apte à recevoir ces efforts par ancrage. Le profilé le plus sollicité est dimensionné sous deux charges ponctuelles de 1 500 daN, hypothèse sécuritaire couvrant la mobilisation simultanée de deux points de levage. La section retenue, un IPE 120, vérifie la flexion et la flèche sous ce chargement (notes de calcul en annexe). Cette charge de montage, temporaire, n'est pas concomitante des charges d'exploitation : elle ne se cumule ni avec le poids de l'ascenseur en service ni avec les efforts repris par les voiles.


180
Largeur gaine = 1600 0
180
C
Niveau(x) desservi(s): 4
Profondeur gaine = 1700 +35 0
B
IPE 120
D
IPE100
X
Implantation = 710
300
A
X
305
DEG = 1180

6 CONCLUSION

Le passage de l'ascenseur de 375 kg à 450 kg n'entraîne qu'une augmentation marginale des charges sur la structure de la gaine. Le poids de l'appareil en service passe d'environ 2,2 t (existant) à 2,5 t (projet), soit un écart faible, entièrement repris par les voiles et les semelles. La descente de charges, établie en service (poids permanent et charge utile), montre entre les deux états un écart maximal de l'ordre de 1,2 % sur les efforts transmis aux fondations : la structure existante, qui a fonctionné de manière satisfaisante sous l'appareil de 375 kg, reste compatible avec le nouvel appareil. Les charges accidentelles d'impact en cuvette (amortisseur cabine 1 958 daN gouvernant), les efforts de manutention au montage (crochets repris par deux profilés IPE 120 neufs, les deux profilés existants étant déposés) et les efforts horizontaux de guidage font l'objet de vérifications locales distinctes, sans incidence sur la descente de charges. Les valeurs de l'ascensoriste étant à l'indice PRO 4 (pré-étude), la note sera confirmée à réception de l'indice d'exécution.

A3C

v 2.20

NOTE DE CALCUL

I - PARAMETRES

I.1 - Paramètres généraux

Type d'élément : Elément en acier

Longueur de l'élément : L = 1,600 m

Orientation : Horizontale

Appuis : Sur appuis simples

Axe de flexion : y-y

I.2 - Position de l'élément

L'élément considéré est un élément intermédiaire.

Extraxes de l'élément considéré :
- Avec l'élément gauche : D_1 = 6,000 m
- Avec l'élément droit : D_2 = 6,000 m

I.3 - Section droite

Profilé : IPE 120 - S235

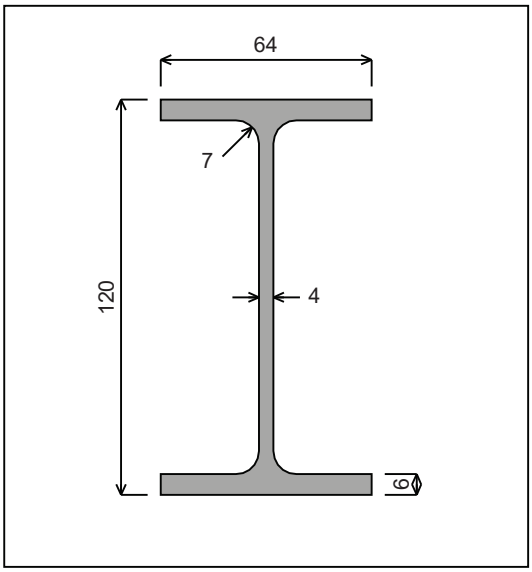


Figure 1 : Section droite

Propriétés géométriques :

A = 13,21 cm^2 m = 10,370 kg/m

$A_{v,y}$ = 8,06 cm^2
I_y = 317,75 cm^4
$W_{el,y}$ = 52,96 cm^3
$W_{pl,y}$ = 60,73 cm^3
I_t = 1,74 cm^4
I_w = 889,59 cm^6

$A_{v,z}$ = 6,31 cm^2
I_z = 27,67 cm^4
$W_{el,z}$ = 8,65 cm^3
$W_{pl,z}$ = 13,58 cm^3

Propriétés mécaniques de l'acier :

E = 210000 MPa
ρ = 7850 kg/m^3
G = 80769 MPa
f_y = 235 MPa

I.4 - Maintiens latéraux

Maintiens latéraux de la barre :

Maintien No.	x(*) (m)	Semelle supérieure maintenue	Semelle inférieure maintenue
1	0,0	X	X
2	1,600	X	X

(*) : Position par rapport à l'extrémité gauche

I.5 - Cas de charge

- Cas de charge 1 : Charges permanentes (G)

Poids propre de l'élément : 0,102 kN/m

- Cas de charge 2 : Charges variables (Q1)

Charges concentrées :

No.	x(m)*	F(kN)	Position
1	0,310	15,000	Haut
2	1,490	15,000	Haut

(*) par rapport à l'extrémité gauche

I.6 - Paramètres de calcul

Coefficients partiels sur les charges :

$\gamma_{G,sup}$ = 1,35
$\gamma_{G,inf}$ = 1,00
γ_Q = 1,50

Coefficients partiels sur la résistance :

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00

Réduction de la limite d'élasticité en fonction de l'épaisseur selon EN 1993-1-1 Tableau 3.1

Annexes Nationales: Annexes Nationales Françaises

Résistance plastique de section sous sollicitations combinées (M-N ou M-N-V): Calcul exact

La résistance au déversement de la barre en flexion est calculée selon Clause 6.3.2.2 (EN 1993-1-1)

Les coefficients d'interaction k_{ij} sont calculés selon: Annexe A

Coefficient pour la résistance à l'effort tranchant: $\eta = 1,20$

Flèches limites: $w_{max} <= L/350 = 0,457$ cm
$w_3 <= L/350 = 0,457$ cm

Fréquences propres limites: $f >= f_{lim} = 2,60$ Hz
Pourcentage de charges d'exploitation: 20%

I.7 - Combinaisons des charges

- Etats Limites Ultimes

No.	Nom	Description	Combinaison	Calcul
1	ELU01 (Auto)		1,35G+1,50Q1	Oui
2	ELU02 (Auto)		G+1,50Q1	Oui

- Etats Limites de Service

No.	Nom	Description	Combinaison	Calcul
1	ELS01 (Auto)		G+Q1	Oui

II - EFFORTS INTERNES SOUS LES COMBINAISONS ELU

- ELU01 (Auto) = 1,35G+1,50Q1

Effort normal : N_{Ed} = 0,0 kN
Effort tranchant maximal : $|V_{z,Ed}|_{max}$ = 25,422 kN (x = 1,600 m)
Moment fléchissant maximal : $|M_{y,Ed}|_{max}$ = 6,131 kNm (x = 0,310 m)

Réactions verticales aux appuis : Appui gauche : R_L = 19,797 kN
Appui droit : R_R = 25,422 kN

Section No.	x (m)	V_L (kN)	V_R (kN)	M (kN.m)
1	0,0	-	19,797	0,0
2	0,032	19,793	19,793	0,633
3	0,064	19,789	19,789	1,267
4	0,096	19,784	19,784	1,900
5	0,128	19,780	19,780	2,533
6	0,160	19,775	19,775	3,166
7	0,192	19,771	19,771	3,799
8	0,224	19,767	19,767	4,431
9	0,256	19,762	19,762	5,064
10	0,288	19,758	19,758	5,696
11	0,310	19,755	-2,745	6,131
12	0,320	-2,747	-2,747	6,103
13	0,352	-2,751	-2,751	6,015
14	0,384	-2,755	-2,755	5,927
15	0,416	-2,760	-2,760	5,839
16	0,448	-2,764	-2,764	5,750
17	0,480	-2,769	-2,769	5,662
18	0,512	-2,773	-2,773	5,573
19	0,544	-2,777	-2,777	5,484
20	0,576	-2,782	-2,782	5,396
21	0,608	-2,786	-2,786	5,306
22	0,640	-2,791	-2,791	5,217
23	0,672	-2,795	-2,795	5,128
24	0,704	-2,799	-2,799	5,038
25	0,736	-2,804	-2,804	4,949
26	0,768	-2,808	-2,808	4,859
27	0,800	-2,813	-2,813	4,769
28	0,832	-2,817	-2,817	4,679

Section No.	x (m)	V_L (kN)	V_R (kN)	M (kN.m)
29	0,864	-2,821	-2,821	4,589
30	0,896	-2,826	-2,826	4,498
31	0,928	-2,830	-2,830	4,408
32	0,960	-2,834	-2,834	4,317
33	0,992	-2,839	-2,839	4,226
34	1,024	-2,843	-2,843	4,136
35	1,056	-2,848	-2,848	4,044
36	1,088	-2,852	-2,852	3,953
37	1,120	-2,856	-2,856	3,862
38	1,152	-2,861	-2,861	3,770
39	1,184	-2,865	-2,865	3,679
40	1,216	-2,870	-2,870	3,587
41	1,248	-2,874	-2,874	3,495
42	1,280	-2,878	-2,878	3,403
43	1,312	-2,883	-2,883	3,311
44	1,344	-2,887	-2,887	3,219
45	1,376	-2,892	-2,892	3,126
46	1,408	-2,896	-2,896	3,034
47	1,440	-2,900	-2,900	2,941
48	1,472	-2,905	-2,905	2,848
49	1,490	-2,907	-25,407	2,796
50	1,504	-25,409	-25,409	2,440
51	1,536	-25,414	-25,414	1,627
52	1,568	-25,418	-25,418	0,813
53	1,600	-25,422	-	0,0

- ELU02 (Auto) = G+1,50Q1

Effort normal : N_{Ed} = 0,0 kN
Effort tranchant maximal : $|V_{z,Ed}|_{max}$ = 25,394 kN (x = 1,600 m)
Moment fléchissant maximal : $|M_{y,Ed}|_{max}$ = 6,123 kNm (x = 0,310 m)

Réactions verticales aux appuis : Appui gauche : R_L = 19,769 kN
Appui droit : R_R = 25,394 kN

Section No.	x (m)	V_L (kN)	V_R (kN)	M (kN.m)
1	0,0	-	19,769	0,0
2	0,032	19,766	19,766	0,633
3	0,064	19,762	19,762	1,265
4	0,096	19,759	19,759	1,897
5	0,128	19,756	19,756	2,530
6	0,160	19,753	19,753	3,162
7	0,192	19,749	19,749	3,794
8	0,224	19,746	19,746	4,426
9	0,256	19,743	19,743	5,058
10	0,288	19,740	19,740	5,689
11	0,310	19,737	-2,763	6,123
12	0,320	-2,764	-2,764	6,096
13	0,352	-2,767	-2,767	6,007
14	0,384	-2,770	-2,770	5,919
15	0,416	-2,773	-2,773	5,830
16	0,448	-2,777	-2,777	5,741
17	0,480	-2,780	-2,780	5,652
18	0,512	-2,783	-2,783	5,563
19	0,544	-2,786	-2,786	5,474
20	0,576	-2,790	-2,790	5,385
21	0,608	-2,793	-2,793	5,296
22	0,640	-2,796	-2,796	5,206
23	0,672	-2,799	-2,799	5,117
24	0,704	-2,803	-2,803	5,027
25	0,736	-2,806	-2,806	4,937
26	0,768	-2,809	-2,809	4,848
27	0,800	-2,813	-2,813	4,758
28	0,832	-2,816	-2,816	4,668
29	0,864	-2,819	-2,819	4,577
30	0,896	-2,822	-2,822	4,487

Section No.	x (m)	V_L (kN)	V_R (kN)	M (kN.m)
31	0,928	-2,826	-2,826	4,397
32	0,960	-2,829	-2,829	4,306
33	0,992	-2,832	-2,832	4,216
34	1,024	-2,835	-2,835	4,125
35	1,056	-2,839	-2,839	4,034
36	1,088	-2,842	-2,842	3,943
37	1,120	-2,845	-2,845	3,852
38	1,152	-2,848	-2,848	3,761
39	1,184	-2,852	-2,852	3,670
40	1,216	-2,855	-2,855	3,579
41	1,248	-2,858	-2,858	3,487
42	1,280	-2,861	-2,861	3,396
43	1,312	-2,865	-2,865	3,304
44	1,344	-2,868	-2,868	3,213
45	1,376	-2,871	-2,871	3,121
46	1,408	-2,874	-2,874	3,029
47	1,440	-2,878	-2,878	2,937
48	1,472	-2,881	-2,881	2,845
49	1,490	-2,883	-25,383	2,793
50	1,504	-25,384	-25,384	2,437
51	1,536	-25,387	-25,387	1,625
52	1,568	-25,391	-25,391	0,813
53	1,600	-25,394	-	0,0

III - FLECHES SOUS LES CAS DE CHARGES ELEMENTAIRES

Cas de charges	w_{max} (mm)	x (m)
G	0,01	0,800
Q1	1,46	0,736

IV - ETATS LIMITES ULTIMES (ELU)

IV.1 - Synthèse des vérifications

- Résistance des sections

Résistance de section à l'effort normal (Comb. ELU01 (Auto)): $\Gamma_{N,max}$ = 0,0 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section à l'effort tranchant (en x = 1,600 m, Comb. ELU01 (Auto)):
$\Gamma_{V,max}$ = 0,297 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section au moment fléchissant (en x = 0,310 m, Comb. ELU01 (Auto)):
$\Gamma_{M,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-N (en x = 0,310 m, Comb. ELU01 (Auto)):
$\Gamma_{MN,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-V (en x = 0,310 m, Comb. ELU01 (Auto)):
$\Gamma_{MV,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-N-V (en x = 0,310 m, Comb. ELU01 (Auto)):
$\Gamma_{MNV,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

- Résistance de l'âme

Voilement par cisaillement: Aucune vérification requise

- Résistance de la barre

Flambement selon l'axe fort: Aucune vérification requise

Flambement selon l'axe faible: Aucune vérification requise

Déversement (Comb. ELU01 (Auto)):
$\Gamma_{LT,max}$ = 0,536 < 1 =>*Satisfaisant*

Interaction M-N: Aucune vérification requise

IV.2 - Vérifications selon ELU

- COMBINAISON: ELU01 (Auto) = 1,35G+1,50Q1

- Résistance des sections

Classe de la section: 1

Résistance de section à l'effort normal :

$\Gamma_{N,max}$ = 0,0 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section à l'effort tranchant (en x = 1,600 m) :

$\Gamma_{V,max}$ = 0,297 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section au moment fléchissant (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{M,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-N (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{MN,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-V (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{MV,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-N-V (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{MNV,max}$ = 0,430 < 1 =>*Satisfaisant*

Section No.	Γ_N	Γ_V	Γ_M	Γ_{MN}	Γ_{MV}	Γ_{MNV}
1	0,0	0,231	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,231	0,044	0,044	0,044	0,044
3	0,0	0,231	0,089	0,089	0,089	0,089
4	0,0	0,231	0,133	0,133	0,133	0,133
5	0,0	0,231	0,177	0,177	0,177	0,177
6	0,0	0,231	0,222	0,222	0,222	0,222
7	0,0	0,231	0,266	0,266	0,266	0,266
8	0,0	0,231	0,311	0,311	0,311	0,311
9	0,0	0,231	0,355	0,355	0,355	0,355
10	0,0	0,231	0,399	0,399	0,399	0,399
11	0,0	0,231	0,430	0,430	0,430	0,430
12	0,0	0,032	0,428	0,428	0,428	0,428
13	0,0	0,032	0,422	0,422	0,422	0,422
14	0,0	0,032	0,415	0,415	0,415	0,415
15	0,0	0,032	0,409	0,409	0,409	0,409
16	0,0	0,032	0,403	0,403	0,403	0,403
17	0,0	0,032	0,397	0,397	0,397	0,397
18	0,0	0,032	0,391	0,391	0,391	0,391
19	0,0	0,032	0,384	0,384	0,384	0,384
20	0,0	0,033	0,378	0,378	0,378	0,378
21	0,0	0,033	0,372	0,372	0,372	0,372

Section No.	Γ_N	Γ_V	Γ_M	Γ_{MN}	Γ_{MV}	Γ_{MNV}
22	0,0	0,033	0,366	0,366	0,366	0,366
23	0,0	0,033	0,359	0,359	0,359	0,359
24	0,0	0,033	0,353	0,353	0,353	0,353
25	0,0	0,033	0,347	0,347	0,347	0,347
26	0,0	0,033	0,340	0,340	0,340	0,340
27	0,0	0,033	0,334	0,334	0,334	0,334
28	0,0	0,033	0,328	0,328	0,328	0,328
29	0,0	0,033	0,322	0,322	0,322	0,322
30	0,0	0,033	0,315	0,315	0,315	0,315
31	0,0	0,033	0,309	0,309	0,309	0,309
32	0,0	0,033	0,303	0,303	0,303	0,303
33	0,0	0,033	0,296	0,296	0,296	0,296
34	0,0	0,033	0,290	0,290	0,290	0,290
35	0,0	0,033	0,283	0,283	0,283	0,283
36	0,0	0,033	0,277	0,277	0,277	0,277
37	0,0	0,033	0,271	0,271	0,271	0,271
38	0,0	0,033	0,264	0,264	0,264	0,264
39	0,0	0,033	0,258	0,258	0,258	0,258
40	0,0	0,034	0,251	0,251	0,251	0,251
41	0,0	0,034	0,245	0,245	0,245	0,245
42	0,0	0,034	0,238	0,238	0,238	0,238
43	0,0	0,034	0,232	0,232	0,232	0,232
44	0,0	0,034	0,226	0,226	0,226	0,226
45	0,0	0,034	0,219	0,219	0,219	0,219
46	0,0	0,034	0,213	0,213	0,213	0,213
47	0,0	0,034	0,206	0,206	0,206	0,206
48	0,0	0,034	0,200	0,200	0,200	0,200
49	0,0	0,297	0,196	0,196	0,196	0,196
50	0,0	0,297	0,171	0,171	0,171	0,171
51	0,0	0,297	0,114	0,114	0,114	0,114
52	0,0	0,297	0,057	0,057	0,057	0,057
53	0,0	0,297	0,0	0,0	0,0	0,0

- Résistance de l'âme

Aucune vérification requise parce que: $h_w / t_w < 72\varepsilon / \eta$ ($\eta = 1,200$)

- Résistance de la barre - Flambement selon l'axe fort

Aucune vérification requise parce que: $N_{Ed} = 0$

- Résistance de la barre - Flambement selon l'axe faible

Aucune vérification requise parce que: $N_{Ed} = 0$

- Résistance de la barre - Déversement

Résistance au déversement est calculée en utilisant: EN 1993-1-1 § 6.3.2.2

Courbe de déversement:	a	
Facteur d'imperfection	α_{LT}	= 0,210
Elancement réduit limite:	$\lambda_{LT,0}$	= 0,200

Moment critique de déversement élastique calculé par l'analyse modale d'instabilité (LTBeamN)

	M_{cr}	= 22,924 kNm
Elancement réduit	λ_{LT}	= 0,789 >$\lambda_{LT,0}$
Coefficient de réduction	χ_{LT}	= 0,802
Résistance au déversement	$M_{b,Rd}$	= 11,444 kNm
Critère	Γ_{LT}	= 0,536 < 1 =>*Satisfaisant*

- Résistance de la barre - Interaction M-N

Aucune vérification requise parce que: $N_{Ed} <= 0$

- COMBINAISON: ELU02 (Auto) = G+1,50Q1

- Résistance des sections

Classe de la section: 1

Résistance de section à l'effort normal :

$\Gamma_{N,max}$ = 0,0 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section à l'effort tranchant (en x = 1,600 m) :

$\Gamma_{V,max}$ = 0,297 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section au moment fléchissant (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{M,max}$ = 0,429 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-N (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{MN,max}$ = 0,429 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-V (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{MV,max}$ = 0,429 < 1 =>*Satisfaisant*

Résistance de section aux actions combinées M-N-V (en x = 0,310 m) :

$\Gamma_{MNV,max}$ = 0,429 < 1 =>*Satisfaisant*

Section No.	Γ_N	Γ_V	Γ_M	Γ_{MN}	Γ_{MV}	Γ_{MNV}
1	0,0	0,231	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,231	0,044	0,044	0,044	0,044
3	0,0	0,231	0,089	0,089	0,089	0,089
4	0,0	0,231	0,133	0,133	0,133	0,133
5	0,0	0,231	0,177	0,177	0,177	0,177
6	0,0	0,231	0,222	0,222	0,222	0,222
7	0,0	0,231	0,266	0,266	0,266	0,266
8	0,0	0,231	0,310	0,310	0,310	0,310
9	0,0	0,231	0,354	0,354	0,354	0,354
10	0,0	0,231	0,399	0,399	0,399	0,399
11	0,0	0,231	0,429	0,429	0,429	0,429
12	0,0	0,032	0,427	0,427	0,427	0,427
13	0,0	0,032	0,421	0,421	0,421	0,421
14	0,0	0,032	0,415	0,415	0,415	0,415
15	0,0	0,032	0,409	0,409	0,409	0,409
16	0,0	0,032	0,402	0,402	0,402	0,402
17	0,0	0,032	0,396	0,396	0,396	0,396
18	0,0	0,033	0,390	0,390	0,390	0,390
19	0,0	0,033	0,384	0,384	0,384	0,384
20	0,0	0,033	0,377	0,377	0,377	0,377
21	0,0	0,033	0,371	0,371	0,371	0,371
22	0,0	0,033	0,365	0,365	0,365	0,365
23	0,0	0,033	0,359	0,359	0,359	0,359

Section No.	Γ_N	Γ_V	Γ_M	Γ_{MN}	Γ_{MV}	Γ_{MNV}
24	0,0	0,033	0,352	0,352	0,352	0,352
25	0,0	0,033	0,346	0,346	0,346	0,346
26	0,0	0,033	0,340	0,340	0,340	0,340
27	0,0	0,033	0,333	0,333	0,333	0,333
28	0,0	0,033	0,327	0,327	0,327	0,327
29	0,0	0,033	0,321	0,321	0,321	0,321
30	0,0	0,033	0,314	0,314	0,314	0,314
31	0,0	0,033	0,308	0,308	0,308	0,308
32	0,0	0,033	0,302	0,302	0,302	0,302
33	0,0	0,033	0,295	0,295	0,295	0,295
34	0,0	0,033	0,289	0,289	0,289	0,289
35	0,0	0,033	0,283	0,283	0,283	0,283
36	0,0	0,033	0,276	0,276	0,276	0,276
37	0,0	0,033	0,270	0,270	0,270	0,270
38	0,0	0,033	0,264	0,264	0,264	0,264
39	0,0	0,033	0,257	0,257	0,257	0,257
40	0,0	0,033	0,251	0,251	0,251	0,251
41	0,0	0,033	0,244	0,244	0,244	0,244
42	0,0	0,033	0,238	0,238	0,238	0,238
43	0,0	0,033	0,232	0,232	0,232	0,232
44	0,0	0,034	0,225	0,225	0,225	0,225
45	0,0	0,034	0,219	0,219	0,219	0,219
46	0,0	0,034	0,212	0,212	0,212	0,212
47	0,0	0,034	0,206	0,206	0,206	0,206
48	0,0	0,034	0,199	0,199	0,199	0,199
49	0,0	0,297	0,196	0,196	0,196	0,196
50	0,0	0,297	0,171	0,171	0,171	0,171
51	0,0	0,297	0,114	0,114	0,114	0,114
52	0,0	0,297	0,057	0,057	0,057	0,057
53	0,0	0,297	0,0	0,0	0,0	0,0

- Résistance de l'âme

Aucune vérification requise parce que: $h_w / t_w < 72\varepsilon / \eta$ ($\eta = 1,200$)

- Résistance de la barre - Flambement selon l'axe fort

Aucune vérification requise parce que: $N_{Ed} = 0$

- Résistance de la barre - Flambement selon l'axe faible

Aucune vérification requise parce que: $N_{Ed} = 0$

- Résistance de la barre - Déversement

Résistance au déversement est calculée en utilisant: EN 1993-1-1 § 6.3.2.2

Courbe de déversement:	a	
Facteur d'imperfection	α_{LT}	= 0,210
Elancement réduit limite:	$\lambda_{LT,0}$	= 0,200

Moment critique de déversement élastique calculé par l'analyse modale d'instabilité (LTBeamN)

M_{cr} = 22,934 kNm

Elancement réduit	λ_{LT}	= 0,789 > $\lambda_{LT,0}$
Coefficient de réduction	χ_{LT}	= 0,802
Résistance au déversement	$M_{b,Rd}$	= 11,445 kNm
Critère	Γ_{LT}	= 0,535 < 1 =>*Satisfaisant*

- Résistance de la barre - Interaction M-N

Aucune vérification requise parce que: $N_{Ed} <= 0$

V - ETATS LIMITES DE SERVICE (ELS)

V.1 - Flèches

Flèche maximale : w_{max} = 1,5 mm en x = 0,736 m (Combinaison ELS01 (Auto))
$w_{3,max}$ = 1,5 mm en x = 0,736 m (Combinaison ELS01 (Auto))

Vérification : w_{max} = 1,5 mm < L/350 = 4,6 mm =>*Satisfaisant*
$w_{3,max}$ = 1,5 mm < L/350 = 4,6 mm =>*Satisfaisant*

Nom	Combinaison	w_{max} (mm)			$w_{3,max}$ (mm)		
		w_{max}	x (m)	<= L/350	$w_{3,max}$	x (m)	<= L/350
ELS01 (Auto)	G+Q1	1,5	0,736	Oui	1,5	0,736	Oui

V.2 - Vibrations

Fréquence propre minimale : f_{min} = 28,65 Hz (Combinaison G+0,2Q1)

Vérification : f_{min} = 28,65 Hz > 2,6 Hz =>*Satisfaisant*

Combinaison	w_{max} (mm)	f_{min} (Hz)	f_{min} >= f_{lim}
G + 0,2Q1	0,30	28,65	Oui