

Maître d'ouvrage



Emetteur



# Etude acrotères et escaliers en béton armé RSMA, Saint-Pierre 97410

## Note de calcul



Ind.	Date	Modifications / Observations	Etabli par	Vérifié par	Approuvé Par
A	27/03/2025	Première diffusion	BOR	DPE	RRU

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
1.1. Généralités .....	3
1.2. Localisation .....	3
1.3. Documents de references .....	3
1.4. Normes et guides de référence .....	3
<b>2. CONTEXTE .....</b>	<b>4</b>
2.1. Principe constructif des escaliers .....	4
2.2. Ferrailage des éléments étudiés .....	5
<b>3. CARACTERISTIQUES DU BETON ARME.....</b>	<b>8</b>
3.1. Béton.....	8
3.2. Acier .....	9
3.3. Coefficients partiels de sécurité.....	9
3.4. Dispositions constructives .....	9
3.5. Fissuration .....	10
<b>4. SOLLICITATIONS .....</b>	<b>11</b>
4.1. Modélisation .....	11
4.2. Actions .....	11
4.2.1. Charges Permanentes .....	11
4.2.2. Charges Climatiques.....	11
4.2.3. Charge D'exploitation Sur Garde-Corps .....	12
4.2.4. Charge d'exploitation sur escaliers .....	12
4.3. Combinaisons D'actions.....	12
4.3.1. Etats limites de service.....	12
4.3.2. Etats limites ultimes .....	12
<b>5. VERIFICATIONS DES SECTIONS .....</b>	<b>13</b>
5.1. Acrotères.....	13
5.2. Escaliers.....	13
<b>6. CONSTATS ET ANALYSE.....</b>	<b>16</b>
6.1. Acrotères.....	16
6.2. Escaliers.....	17
<b>7. PRÉCONISATIONS .....</b>	<b>18</b>
<b>8. ANNEXES.....</b>	<b>20</b>
8.1. Modélisation escaliers.....	20
8.2. Efforts internes garde-corps et dalles inclinées.....	23
8.3. Calcul du moment de flexion sur acrotère .....	26

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. GENERALITES

Cette note a pour but de vérifier les acrotères et les escaliers du bâtiment de la 4<sup>ème</sup> compagnie, au RSMA de Saint Pierre, suite à l'apparition de désordres sur ces éléments en béton armé.

#### Limites de prestation :

Les vérifications des ancrages du garde-corps sur l'acrotère et du plancher de la toiture ne sont pas prises en compte sur cette note de calculs.

### 1.2. LOCALISATION

Adresse : Quartier SUACOT - 97448 St-Pierre Cedex, Saint-Pierre 97410, La Réunion



Figure 1: Localisation du site

### 1.3. DOCUMENTS DE REFERENCES

Les documents de travail utilisés sont les suivants :

- Plans de coffrage et de ferrailage des escaliers « B200 -Escalier 1-2 coffrage ferrailage » réalisés par GECP,
- Plans de ferrailage des acrotères,
- Relevé des désordres sur site.

### 1.4. NORMES ET GUIDES DE REFERENCE

Les calculs de dimensionnement des structures sont effectués selon les normes en vigueur, les DTU, les règles et guides professionnels, en particulier les documents qui suivent :

- Eurocode 0 – NF EN 1990 Base de calculs des structures,
  - Eurocode 1 – NF EN 1991 Actions sur les structures,
  - Eurocode 2 – NF EN 1992 Calculs des structures en béton,
- L'application des Eurocodes doit être faite avec les Annexes Nationales Françaises.
- Guide du STRRES FABEM 1 : Reprise des bétons dégradés (2021)



## 2. CONTEXTE

### 2.1. PRINCIPE CONSTRUCTIF DES ESCALIERS

Conformément aux plans d'exécution, le bâtiment possède deux escaliers extérieurs composés de dalles inclinées de 20 cm d'épaisseur préfabriquées et de garde-corps en béton armé portant longitudinalement. Sur toiture, les acrotères sont des relevés en béton armé supportant un garde-corps métallique en périphérie du bâtiment et des ouvertures.



Figure 2 : Vue sur les escaliers extérieurs étudiés

#### ESCALIER 2

#### COUPE B

Niveau RDC

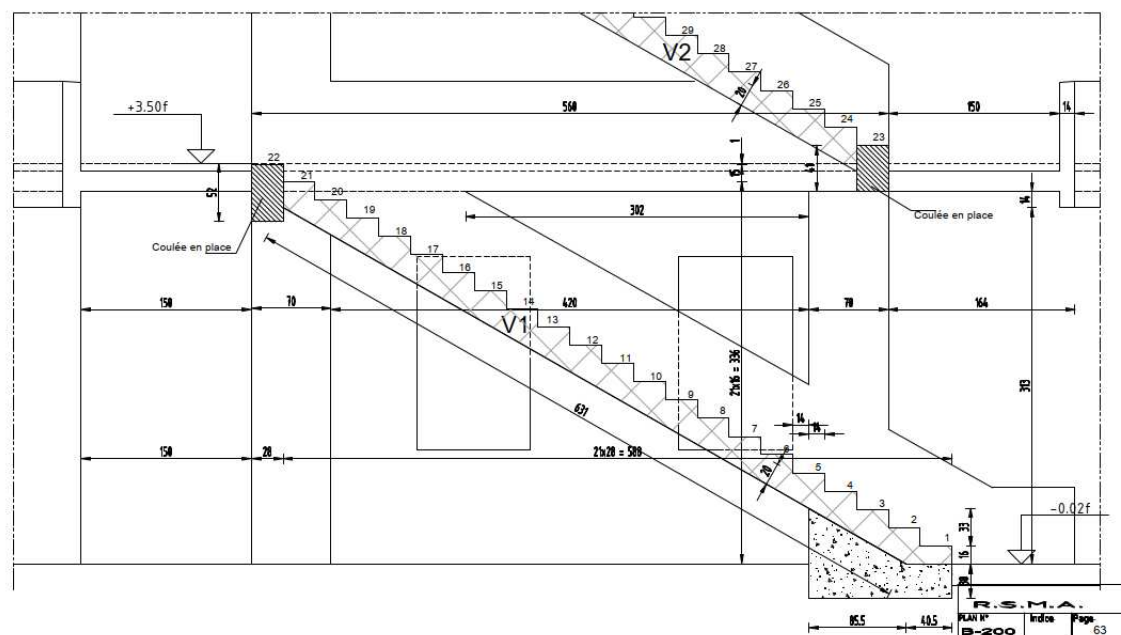
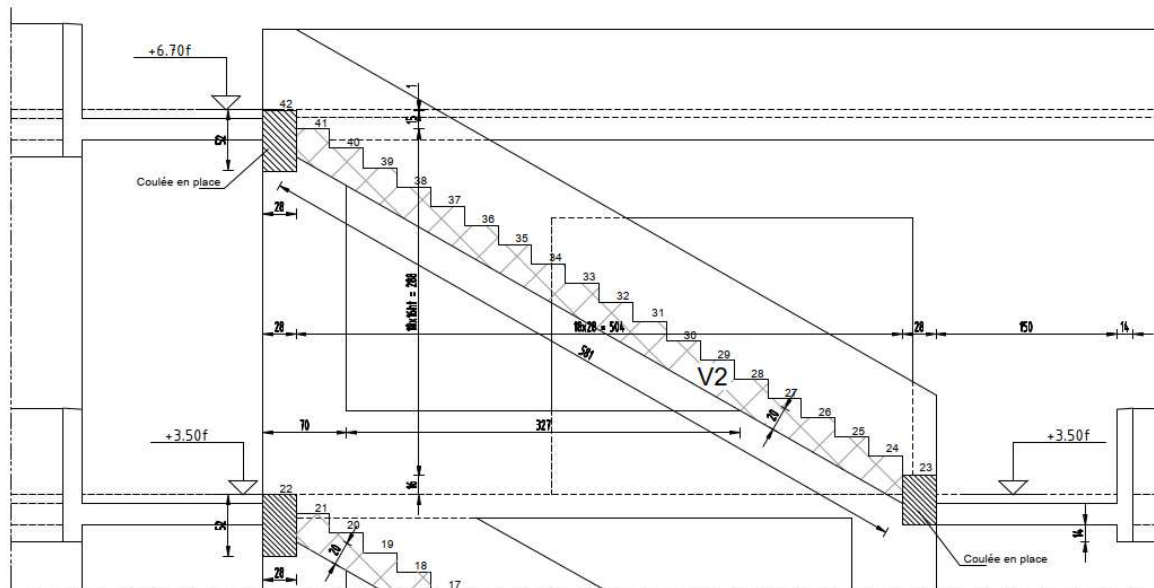


Figure 3 : Vue en coupe sur l'escalier au niveau RDC

## ESCALIER 2 COUPE B

Niveau R+1



R.S.M.A.		
PLAN N°	Index	Page
B-200		64

Figure 4 : Vue en coupe sur l'escalier du niveau R+1

## 2.2. FERRAILLAGE DES ELEMENTS ETUDIES

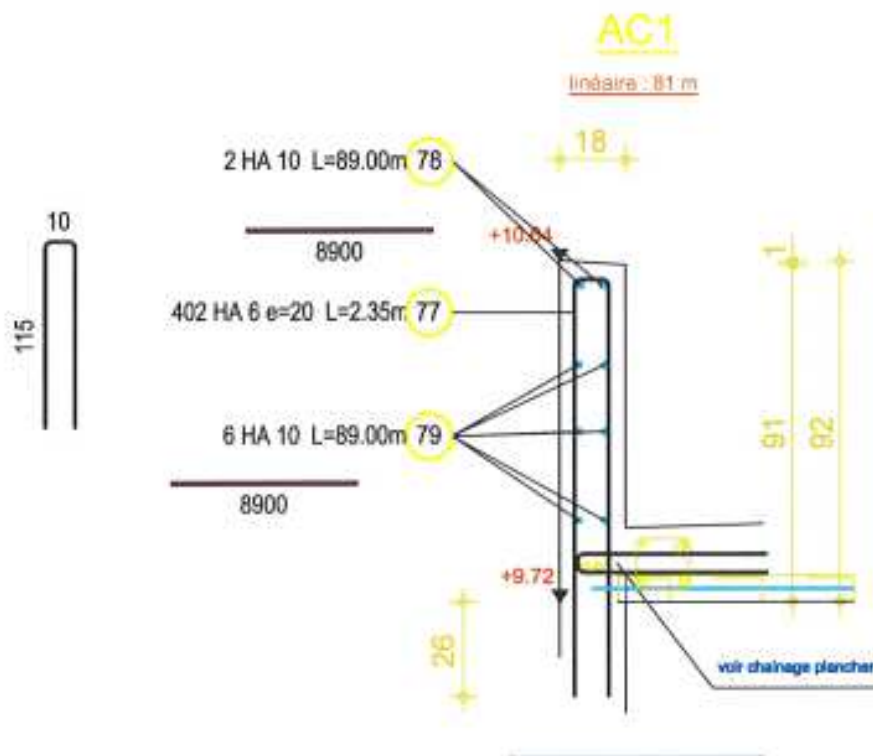


Figure 5 : Ferrailage des acrotères en béton armé situés niveau R+2 (vue en coupe)

## FERRAILLAGE V1

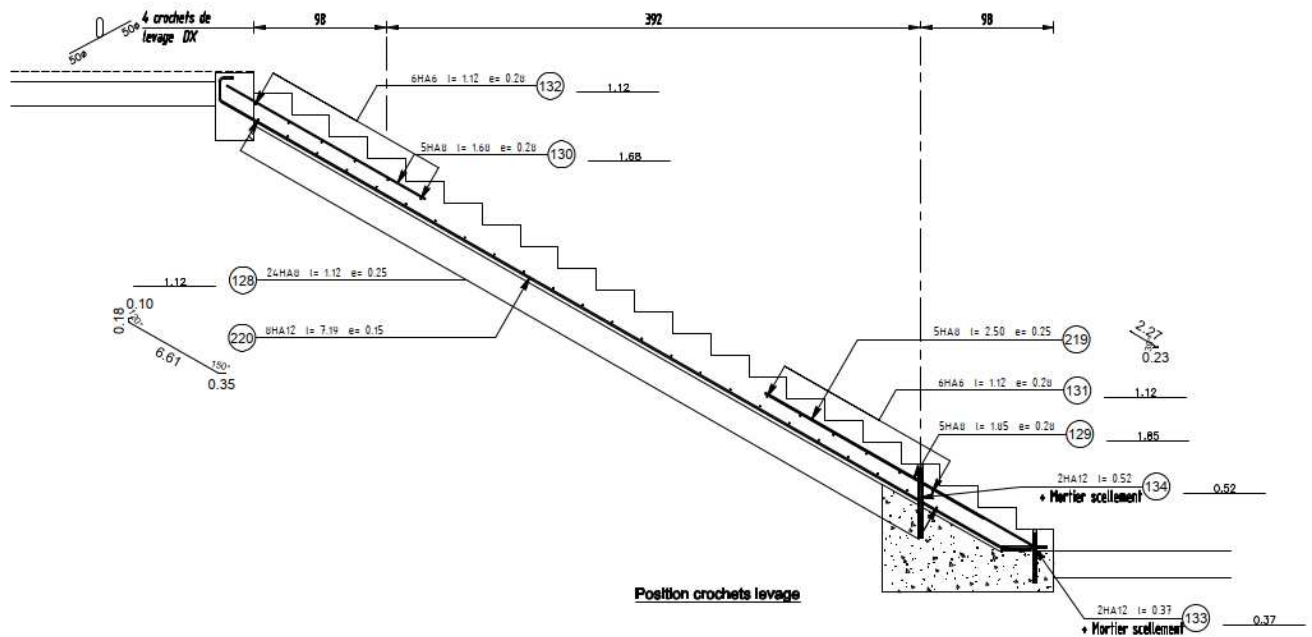


Figure 6 : Ferrailage de l'escalier du RDC (vue en coupe)

## FERRAILLAGE V2

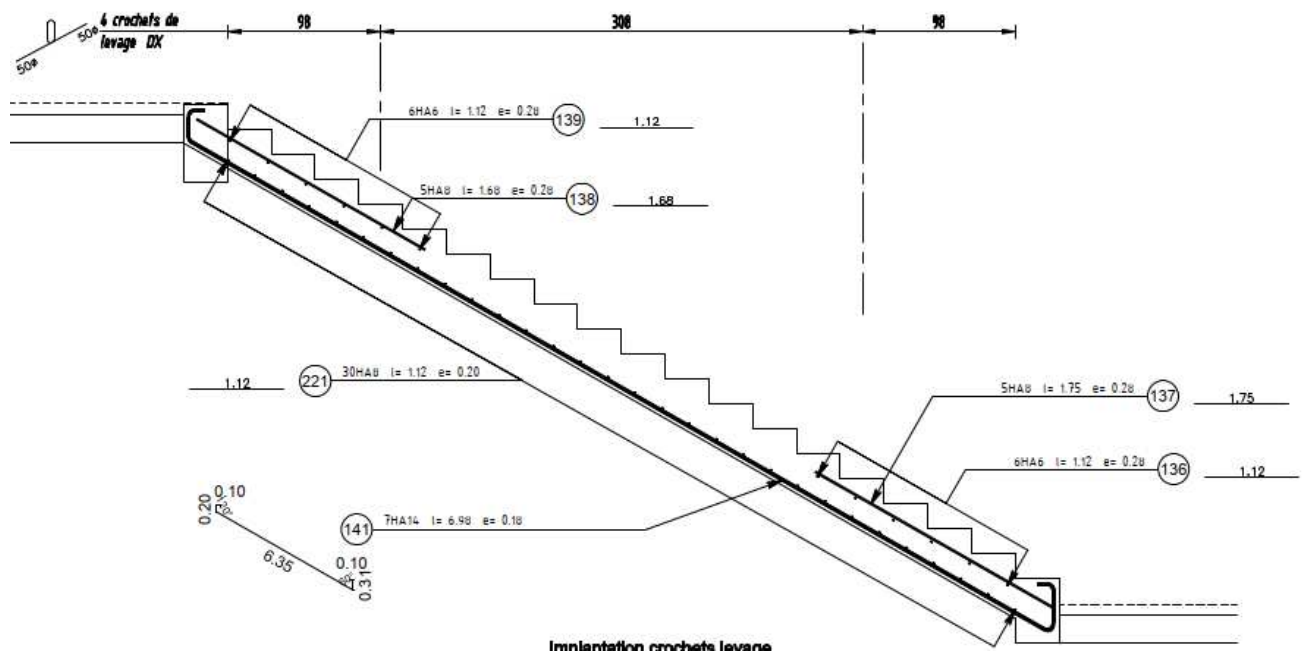


Figure 7 : Ferrailage de l'escalier du R+1 (vue en coupe)

**Figure 8 : Ferrailage des garde-corps en béton armé de l'escalier RDC**

**Figure 9 : Ferrailage des garde-corps en béton armé de l'escalier R+1**

### 3. CARACTERISTIQUES DU BETON ARME

#### 3.1. BETON

Les hypothèses définies sur les plans de coffrage et ferrailage des escaliers, pour les acrotères et escaliers qui sont des éléments extérieurs, sont les suivantes :

Désignation	
Classe d'exposition du béton	XS1
Résistance à la compression du béton $f_{ck}$	30 MPa
Résistance moyenne du béton $f_{ctm}$	2.9 MPa
Module de Young $E_{cm}$	33 000 MPa
Enrobage des aciers	4 cm

Classes de résistance du béton														Expression analytique Commentaires	
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} < C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \times \ln(1 + (f_{cm}/10))$ > C50/60
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ fractile 5 %
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ fractile 95 %
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)]^{0.3}$ ( $f_{cm}$ en MPa)
$\varepsilon_{c1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	Voir figure 3.2 $\varepsilon_{c1}(\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0.31} < 2,8$
$\varepsilon_{cu1}$ (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	Voir figure 3.2 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu1}(\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
$\varepsilon_{c2}$ (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	Voir Figure 3.3 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c2}(\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0.53}$
$\varepsilon_{cu2}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	Voir Figure 3.3 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu2}(\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
$n$	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
$\varepsilon_{c3}$ (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	Voir Figure 3.4 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c3}(\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
$\varepsilon_{cu3}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	Voir Figure 3.4 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu3}(\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$



### 3.2. ACIER

- B500B
- Classe d'armature = B
- $F_{yk} = 500\text{MPa}$
- $E_s = 210\text{ GPa}$

### 3.3. COEFFICIENTS PARTIELS DE SECURITE

Conformément au Eurocode, la vérification des résistances des bétons à l'ELU se feront avec les coefficients partiels de sécurité suivant :

- Béton
  - o ELU : Situation durable et transitoire :  $\gamma_c = 1,5$
  - o ELU-A: Situation accidentelles:  $\gamma_c = 1,2$
  - o ELU-A: Situation accidentelles sismique:  $\gamma_c = 1,2$
- Acier de béton armé
  - o ELU : Situation durable et transitoire :  $\gamma_s = 1,15$
  - o ELU-A: Situation accidentelles:  $\gamma_s = 1,0$
  - o ELU-A: Situation accidentelles sismique:  $\gamma_s = 1,0$

### 3.4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Conformément à l'Eurocode 2 et à l'Annexe National, il est recommandé d'utiliser un béton de classe XS1 (zones exposées aux chlorures de l'air marin) lorsque l'ouvrage se situe à moins de 1km de la côte. La classe d'exposition des éléments vérifiés est donc correcte.

Classe structurale :

Ouvrage de génie civil = S4

*Minoration/majoration de classe :*

Durée de vie de l'ouvrage = 50 ans +0

**Classe béton C30/37** +0

Nature du liant = inconnu +0

Enrobage non compact +0

**Classe structural retenue = S4**

Enrobage minimal :

Classe d'exposition	XC4
$c_{min\ dur}$	35 mm
$\Delta_{cdev}$	5 mm
$c_{nom}$	40 mm

Conformément à NF EN 1992-1-1 clause 4.4.1.3 (3), la marge d'exécution  $\Delta_{cdev}$  peut être réduite à 5mm par mise en œuvre sur chantier d'un système d'assurance qualité dans lequel la surveillance inclut des mesures de l'enrobage des armatures avant coulage du béton. Sinon 10mm.

**L'enrobage minimal est respecté sur les plans d'exécution mais ne fait pas état d'un système d'assurance qualité spécifique. L'enrobage serait donc initialement légèrement sous-évalué.**

### 3.5. FISSURATION

Les vérifications à la fissuration sont faites conformément aux recommandations formulées dans la NF EN 1992-1 - § 7.3 relatifs à la maîtrise de la fissuration, ainsi que suivant l'annexe nationale associée.

Fissuration :

$w_{\max} = 0,20$  mm calculé à l'ELS fréquent

**Tableau 7.1NF – Valeurs recommandées de  $w_{\max}^{(1)}$  (mm)**

Classe d'exposition	Éléments en béton armé et éléments en béton précontraint sans armatures adhérentes	Éléments en béton précontraint avec armatures adhérentes
	Combinaison quasi-permanente de charges	Combinaison fréquente de charges
X0, XC1	0,40 <sup>(2)</sup>	0,20 <sup>(2)</sup>
XC2, XC3, XC4	0,30 <sup>(3)</sup>	0,20 <sup>(4)</sup>
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3, XD3 <sup>(5)</sup>	0,20	Décompression <sup>(6)</sup>

**Figure 10 : Extrait de l'Annexe National de la NF EN 1992-1, clause 7.3.1(5)**

## 4. SOLLICITATIONS

### 4.1. MODELISATION

Les garde-corps et dalles des escaliers ainsi que l'acrotère ont été modélisés par des éléments filaires sur le logiciel de calculs par éléments finis Robot Structural Analysis.

### 4.2. ACTIONS

#### 4.2.1. CHARGES PERMANENTES

- Structure béton-armé :  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Rajout de béton (marches) :  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

#### 4.2.2. CHARGES CLIMATIQUES

- Catégorie de rugosité de terrain : 0 (zone côtière)
- Hauteur de l'ouvrage : 10.64m

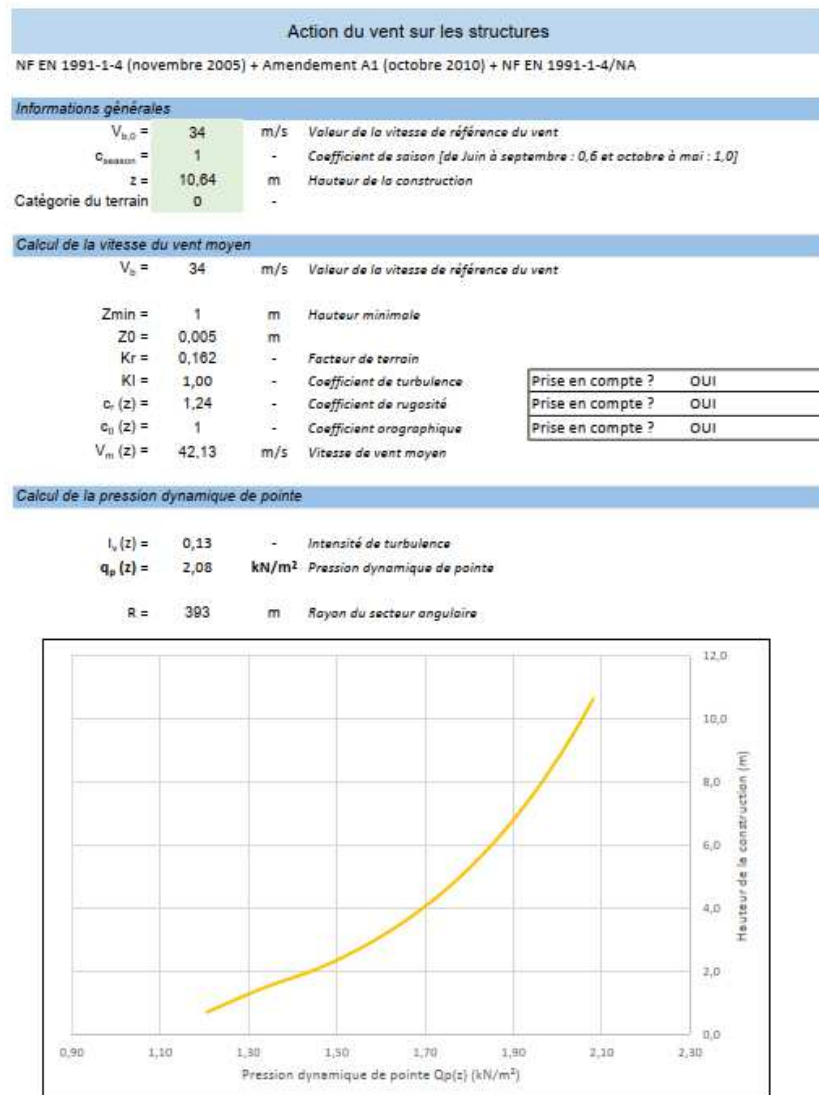


Figure 11 : Calcul de la pression dynamique de pointe appliquée sur les acrotères

#### 4.2.3. CHARGE D'EXPLOITATION SUR GARDE-CORPS

Une charge horizontale de 1kN est considérée sur les garde-corps. Pour l'acrotère, cette valeur est ramenée au niveau de l'ancrage soit :

$$M_Q = 1\text{kN} \times 0.80\text{m} = 0.80 \text{ kN.m}$$

Pour la vérification des garde-corps en béton armé des escaliers, conformément à l'Eurocode 1, une charge linéaire de 1.5 kN/ml est considérée pour la vérification.

#### 4.2.4. CHARGE D'EXPLOITATION SUR ESCALIERS

Conformément à la catégorie du bâtiment (catégorie A, habitations ou résidentiel) :

$$Q = 2.50 \text{ kN/m}^2$$

### 4.3. COMBINAISONS D'ACTIONS

#### 4.3.1. ETATS LIMITES DE SERVICE

Les combinaisons utilisées sont celles de l'Eurocode 0, chapitre 6.5

- ELS quasi permanent

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- ELS fréquent

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- ELS caractéristique

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

#### 4.3.2. ETATS LIMITES ULTIMES

Les combinaisons sont celles de l'Eurocode 0, chapitre 6.4

- Combinaison fondamentale

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Dont

en EQU :  $\gamma_{Gj,sup} = 1,10$  ;  $\gamma_{Gj,inf} = 0.9$

en STR :  $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$  ;  $\gamma_{Gj,inf} = 1.00$

- Combinaison accidentelle : sismique

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$



## 5. VERIFICATIONS DES SECTIONS

### 5.1. ACROTÈRES

Vérification des acrotères en béton armé d'épaisseur 18 cm :

Vérification du moment de flexion dû aux efforts horizontaux : Avec  $A_s = 1.41 \text{ cm}^2$  (HA6/20cm)

$$M_{Rd} = A_s \times (f_{yd} \times 0.9d) = 1.41 \times 10^{-4} \times (500 \times 10^3 / 1.15 \times 0.9 \times 0.13) = 7.35 \text{ kN.m}$$

Avec  $M_{Ed} = 2.50 \text{ kN.m}$  sous combinaisons ELU → OK 34%

Vérification de la section d'acier longitudinale minimale : Avec  $A_s = 3.14 \text{ cm}^2$  (4HA10)

$$A_{s,min} = 0.26 \times f_{ctm} / f_y \times b \times d = 1.88 \text{ cm}^2 < 3.14 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{OK 60\%}$$

**Les sections béton-armé théoriques d'acrotères sont vérifiées vis-à-vis des sollicitations et des dispositions constructives.**

### 5.2. ESCALIERS

Vérification des escaliers (dalle inclinée de 20cm) :

L'escalier étant incliné, la dalle subit un effort normal en plus d'un moment de flexion. La vérification en flexion composée se fait, conformément à l'Eurocode 2, avec l'inégalité suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

**Escalier RDC (V1 sur plan de coffrage)**

Avec :

$$A_c = 0.24 \text{ m}^2$$

$$A_s = 9.05 \text{ cm}^2 \text{ (8 HA12 sur 1,20m)}$$

$$f_{cd} = 30 / 1.5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 500 / 1.15 = 434 \text{ MPa}$$

$$d' = 4 \text{ cm} + 1.2 / 2 = 4.6 \text{ cm}$$

$$x = 1.93 \text{ cm (hauteur de la zone comprimée)}$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times (d - x / 2) = 56.70 \text{ kN.m}$$

$$N_{Rd} = A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd} = 5193 \text{ kN}$$

Et :

$$N_{Ed} = 19.51 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 46.20 \text{ kN.m}$$

$$19.51 / 5193 + 46.20 / 56.7 = 0.82 < 1 \rightarrow \text{Vérifié taux de travail 82\%}$$

**Escalier R+1 (V2 sur plan de coffrage)**

Avec :

$$A_c = 0.24 \text{ m}^2$$

$$A_s = 10.78 \text{ cm}^2 \text{ (7 HA14 sur 1,20m)}$$

$$f_{cd} = 30 / 1.5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 500 / 1.15 = 434 \text{ MPa}$$

$$d' = 4 \text{ cm} + 1.4 / 2 = 4.7 \text{ cm}$$

$x = 2.29 \text{ cm}$  (hauteur de la zone comprimée)

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times (d - x/2) = 66.38 \text{ kN.m}$$

$$N_{Rd} = A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd} = 5268 \text{ kN}$$

Et :

$$N_{Ed} = 21.64 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 54.95 \text{ kN.m}$$

$$21.64 / 5268 + 54.95 / 66.38 = 0.83 < 1 \rightarrow \text{Vérifié taux de travail 83\%}$$

### Garde-corps en béton armé (V1 sur plan de coffrage / ferrailage)

Avec :

$$A_c = 0.16 \times 0.95 = 0.152 \text{ m}^2$$

$$A_s = 2.26 \text{ cm}^2 \text{ (2 HA12)}$$

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 500/1.15 = 434 \text{ MPa}$$

$$d' = 4 \text{ cm} + 1.2/2 = 4.6 \text{ cm}$$

$$M_{Rd} = 79.5 \text{ kN.m}$$

$$N_{Rd} = A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd} = 3138 \text{ kN}$$

Et :

$$N_{Ed} = 9.54 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 22.60 \text{ kN.m}$$

$$9.54/3138 + 22.60/79.5 = 0.29 < 1 \rightarrow \text{Vérifié taux de travail 29\%}$$

### Garde-corps en béton armé (V2 sur plan de coffrage / ferrailage)

Avec :

$$A_c = 0.16 \times 0.95 = 0.152 \text{ m}^2$$

$$A_s = 2.26 \text{ cm}^2 \text{ (2 HA12)}$$

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 500/1.15 = 434 \text{ MPa}$$

$$d' = 4 \text{ cm} + 1.2/2 = 4.6 \text{ cm}$$

$$M_{Rd} = 79.5 \text{ kN.m}$$

$$N_{Rd} = A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd} = 3138 \text{ kN}$$

Et :

$$N_{Ed} = 10.50 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 26.64 \text{ kN.m}$$

$$10.5/3138 + 26.64/79.5 = 0.34 < 1 \rightarrow \text{Vérifié taux de travail 34\%}$$

Vérification des contraintes dans le béton armé sous combinaisons ELS de la dalle inclinée plus sollicité :

VERIFICATION -FISSURATION- ELS			
Dimensions de l'élément	b= 1,20m	h= 0,20m	
Ouvrage à calculer :	bâtiment	$\omega_{max} =$ 0,2mm	
kc = 0,4	0,4	$A_{sI} =$ 10,78cm <sup>2</sup>	
c <sub>nom</sub> =	40mm	$\Phi_{l,max} =$ HA14	
Vérification :	Courte durée	$M_{ELS} =$ 34,00kN.m	
<hr/>			
$M_{Rd} =$	67,13kN.m	$\alpha_e =$ 6	
$\sigma_{s2} =$	223,46kN/m <sup>2</sup>	$\leq \sigma_{s,lim} =$ 400MPa	
$A_{s,min} =$	6,22cm <sup>2</sup>	$S_{R,max} =$ 245mm	
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$	7,29E-04	$\omega_k =$ 0,18mm	
Vérification OK! 90%			

Figure 12 : Vérification de l'ouverture de fissure sous combinaisons ELS fréquent de la dalle inclinée de l'escalier R+1

**OK 90%**

Les sections béton-armé théoriques des escaliers sont vérifiées vis-à-vis des sollicitations et des dispositions constructives.

## 6. CONSTATS ET ANALYSE

### 6.1. ACROTERES

De façon récurrentes, les acrotères présentent des amorces de fissuration et des éclatements du béton et des zones de ragréage mettant à nu les aciers oxydés, localement très corrodés.

Le phénomène de corrosion des armatures entraine leur gonflement, la fissuration puis l'éclatement du béton. La mise à nu du ferrailage présente à ce jour accélère d'autant plus le processus de corrosion, sa perte de section et par conséquence ses capacités mécaniques.

L'enrobage des aciers sous le béton éclaté a été mesuré régulièrement inférieur à 4cm pouvant descendre localement à 1cm. Cet enrobage est très faible en comparaison aux 4cm d'enrobage minimal théorique des plans d'exécution et aux 5cm recommandés pour les structures exposées à l'air véhiculant du sel marin.

Localement dans les angles, les acrotères peuvent montrer des signes dissociation amplifiés par le gonflement des aciers. Il peut s'agir d'un joint sec, d'une reprise de bétonnage ou d'un défaut de liaison mécanique.

L'ensemble de ces désordres semblent venir du gonflement des aciers lié à la corrosion prématurée. Le sous-enrobage majeur des aciers et la mauvaise qualité des ragréages associés à la forte exposition aux embruns marins pourrait expliquer l'atteinte prématurée des aciers par la carbonatation du béton armé entraînant la corrosion. Les enrobages relevés ne correspondent pas aux plans d'exécution. A l'origine de ces problèmes récurrent il s'agirait donc de défauts de mise œuvre du ferrailage et de contrôle de l'enrobage avant le coulage du béton.



Figure 13 : Amorce de fissuration +et éclatement du béton avec aciers apparents oxydés sur l'acrotère





Figure 14 : Eclatement d'acrotère avec aciers apparents oxydés et sous-enrobage

## 6.2. ESCALIERS

Les escaliers présentent des fissures longitudinales entre la dalle inclinée et les garde-corps en béton armé. De plus, quelques éclats dont un avec aciers apparents oxydés ont été relevés en sous face du garde-corps extérieur au RDC.

En plus des fissures, nous observons un petit décalage, un désaffleurement de l'ordre de 5 à 10mm entre escaliers et garde-corps bétons. Ces éléments ne sont pas connectés structurellement dans leur longueur. Ils ne reprennent pas les mêmes charges et n'ont pas la même inertie ni rigidité. Ils réagissent donc différemment aux surcharges qu'ils supportent, pouvant provoquer une déformation différentielle qui fissurerait le revêtement entre les deux éléments sans conséquence structurelle directe.

Pour les éclats, comme pour les acrotères, le défaut d'enrobage relevé associé à l'exposition aux embruns semble avoir provoqué une corrosion prématurée des armatures en partie inférieure du garde-corps, induisant de la fissuration récurrente du béton notamment dans les angles. Les déformations différentielles de ces éléments en contact peuvent également avoir favorisé ces désordres.

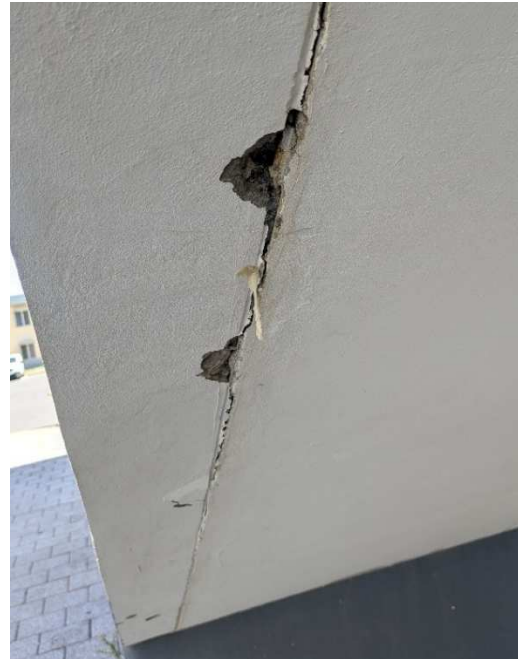


Figure 15 : Vue sur la sous face du garde-corps côté extérieur au RDC

## 7. PRÉCONISATIONS

Nos recommandations sont basées sur le guide du STRRES Reprise des bétons dégradés, qu'il conviendra de suivre pour la réalisation de travaux.

Sur l'acrotère nous pouvons préconiser deux différents modes de réparation :

- Dépose complète des acrotères par sciage et remise en œuvre de nouveaux éléments respectant les dispositions constructives d'enrobage notamment.
- La réparation traditionnelle des acrotères :
  - Sur tous les acrotères : Purge du béton faïencé, fissuré, pollué, carbonaté en profondeur, à 15mm au-delà des zones dégradées. Le dégarnissage doit être effectué jusqu'à ce que l'acier sain soit mis à nu sur une longueur d'au moins 50 mm. Les armatures doivent être dégagées sur la totalité de leur circonférence.
  - Passivation des aciers corrodés.
  - Réparation par mortier pour respecter un enrobage minimal de 4 à 5 cm au pourtour des aciers (une modification des aciers ou du coffrage peut être alors nécessaire)
  - Mise en œuvre d'une résine de protection résistante au vieillissement, aux altérations et aux alcalins.
  - Concernant le déversement entre les deux éléments préfabriqués au sud de la toiture, après purge, vérifier la présence d'une liaison mécanique. Si absence, prévoir un renfort d'angle dito plan d'exécution :



Sur l'escalier nous préconisons le même mode de réparation traditionnel :

- Purge du béton faïencé, fissuré, pollué, carbonaté en profondeur, à 15mm au-delà des zones dégradées. Le dégarnissage doit être effectué jusqu'à ce que l'acier sain soit mis à nu sur une longueur d'au moins 50 mm. Les armatures doivent être dégagées sur la totalité de leur circonférence.
- Passivation des aciers corrodés.
- Réparation par mortier pour respecter un enrobage minimal de 4 à 5 cm au pourtour des aciers (une modification des aciers ou du coffrage peut être alors nécessaire)
- Mise en œuvre d'une résine de protection résistante au vieillissement, aux altérations et aux alcalins.
- Concernant les « fissures longitudinales », le ragréage et la peinture peuvent être réalisés, en respectant la discontinuité le long de cette jonction entre escalier et garde-corps.

## 8. ANNEXES

### 8.1. MODÉLISATION ESCALIERS

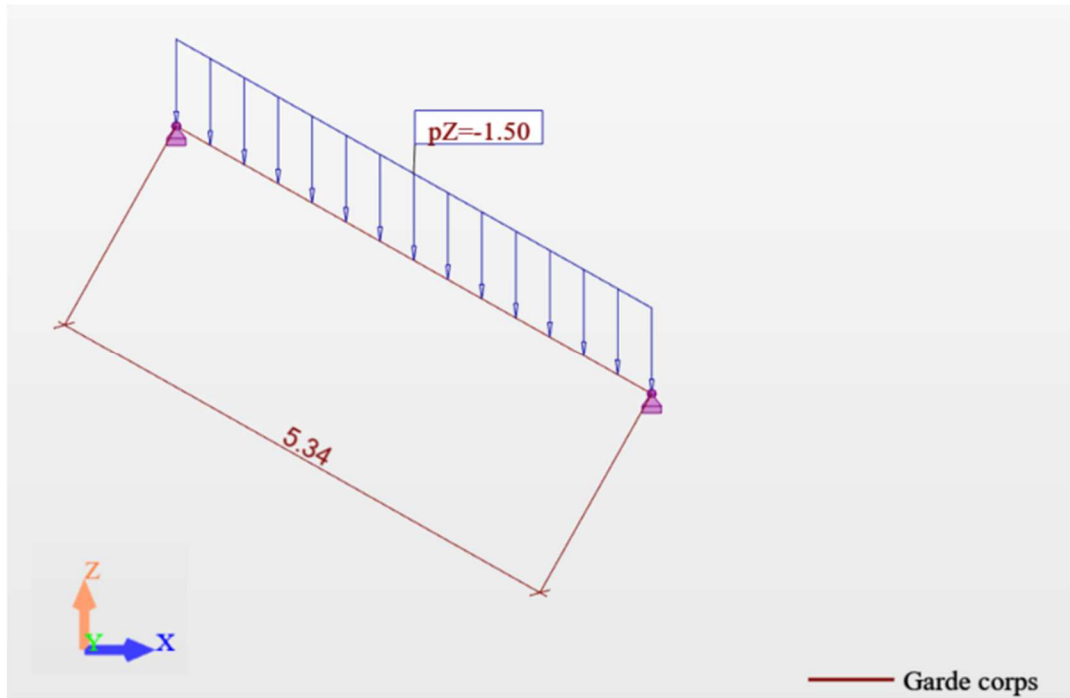


Figure 16 : Charge d'exploitation sur GC RDC

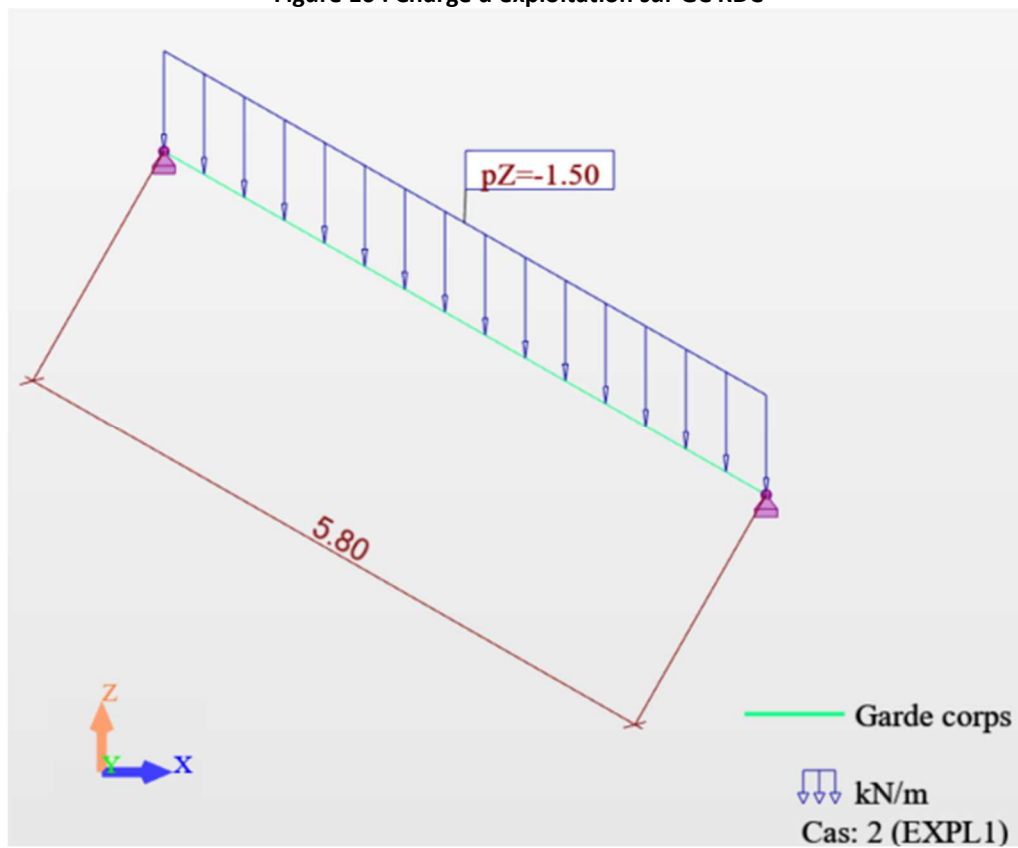


Figure 17 : Charge d'exploitation sur GC R+1



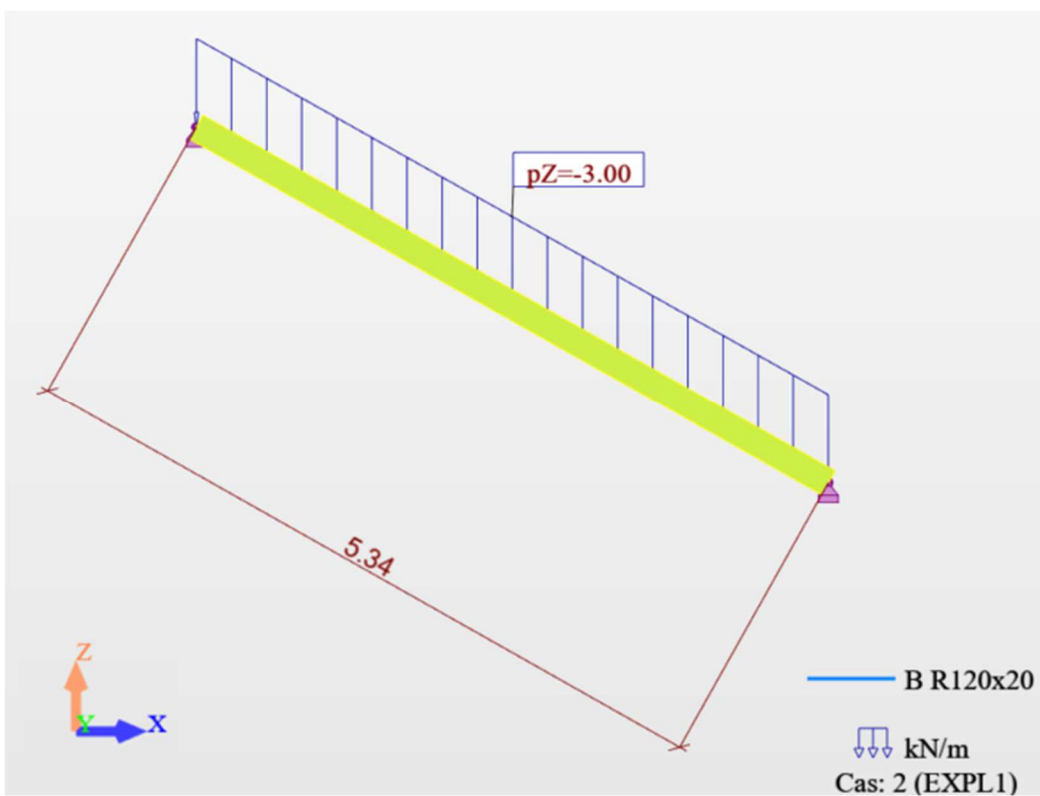
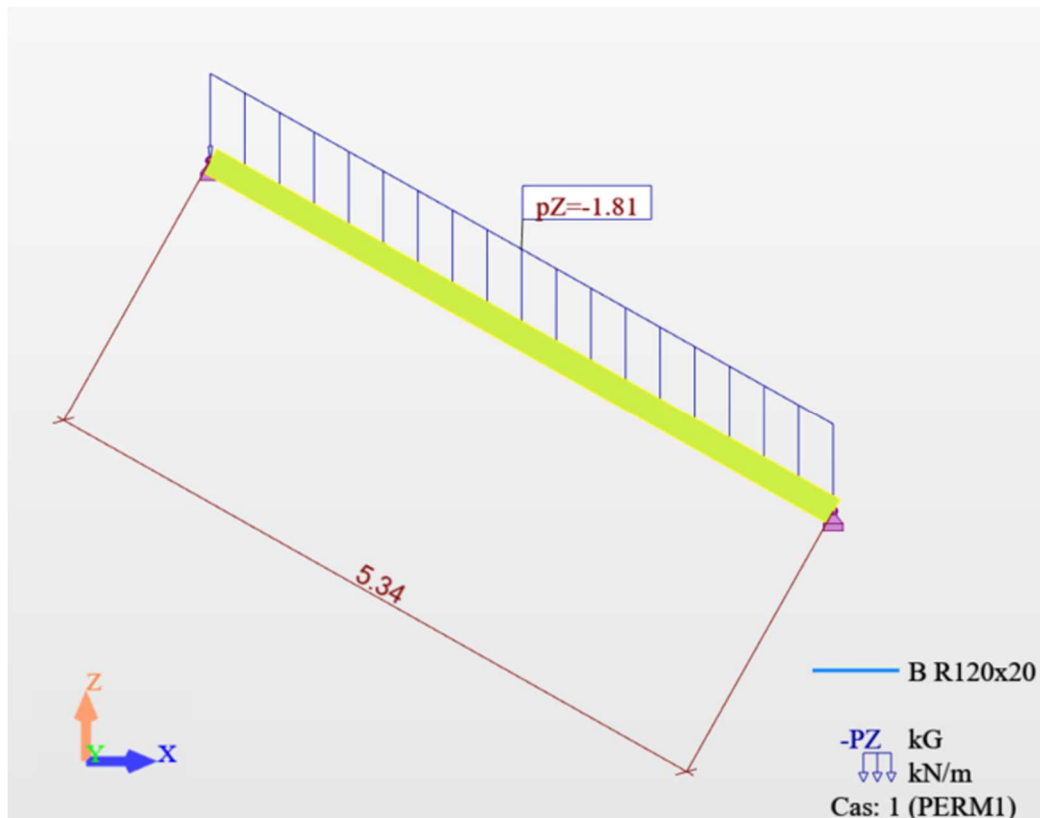


Figure 18 : Charge permanente et d'exploitation appliquées sur la dalle inclinée de l'escalier RDC

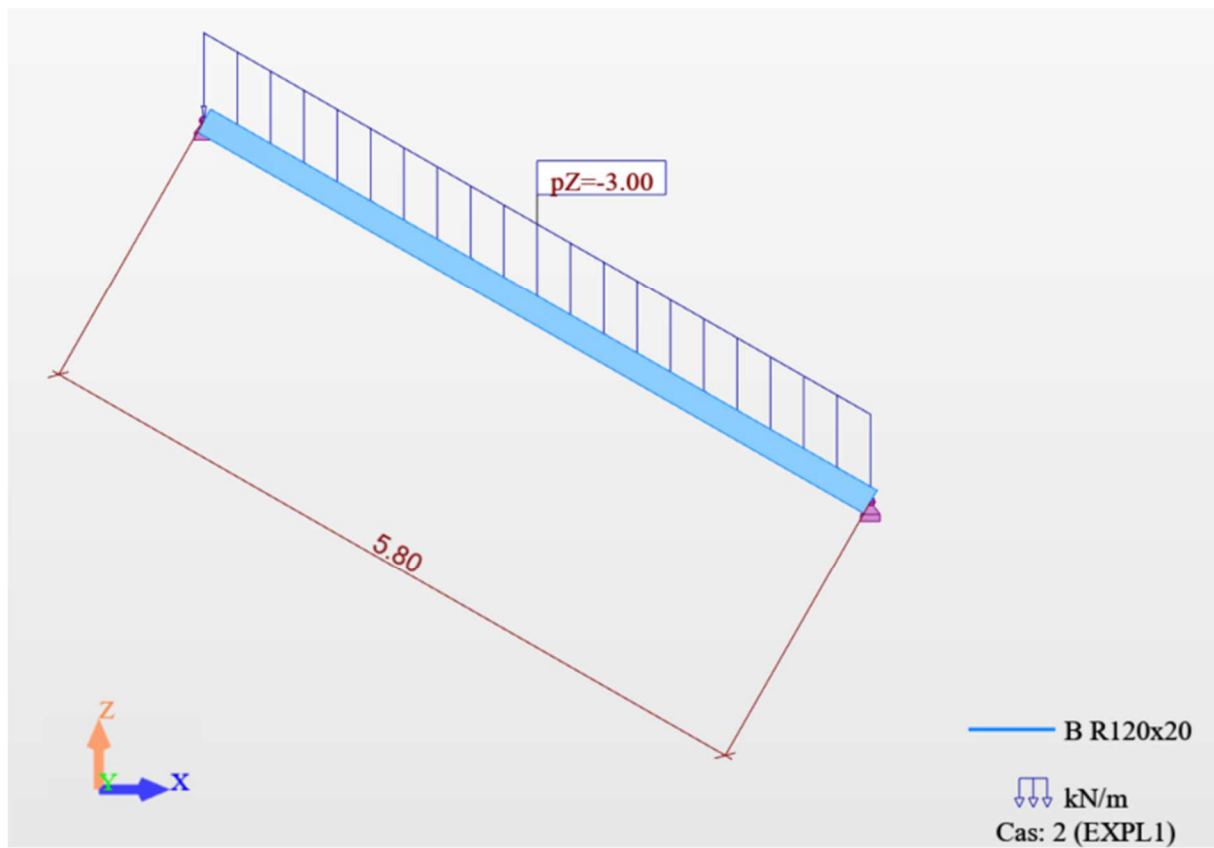
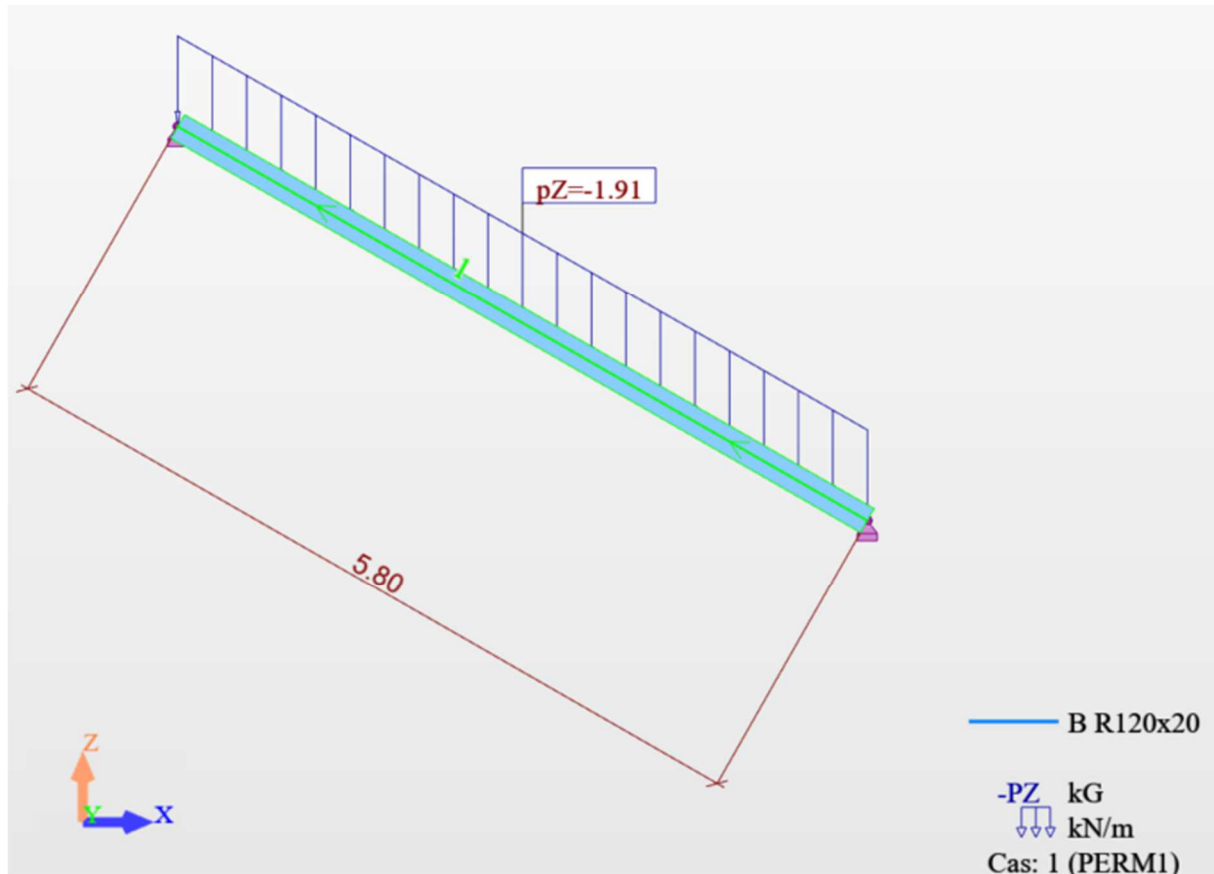


Figure 19 : Charge permanente et d'exploitation appliquées sur la dalle inclinée de l'escalier R+1

## 8.2. EFFORTS INTERNES GARDE-CORPS ET DALLES INCLINEES

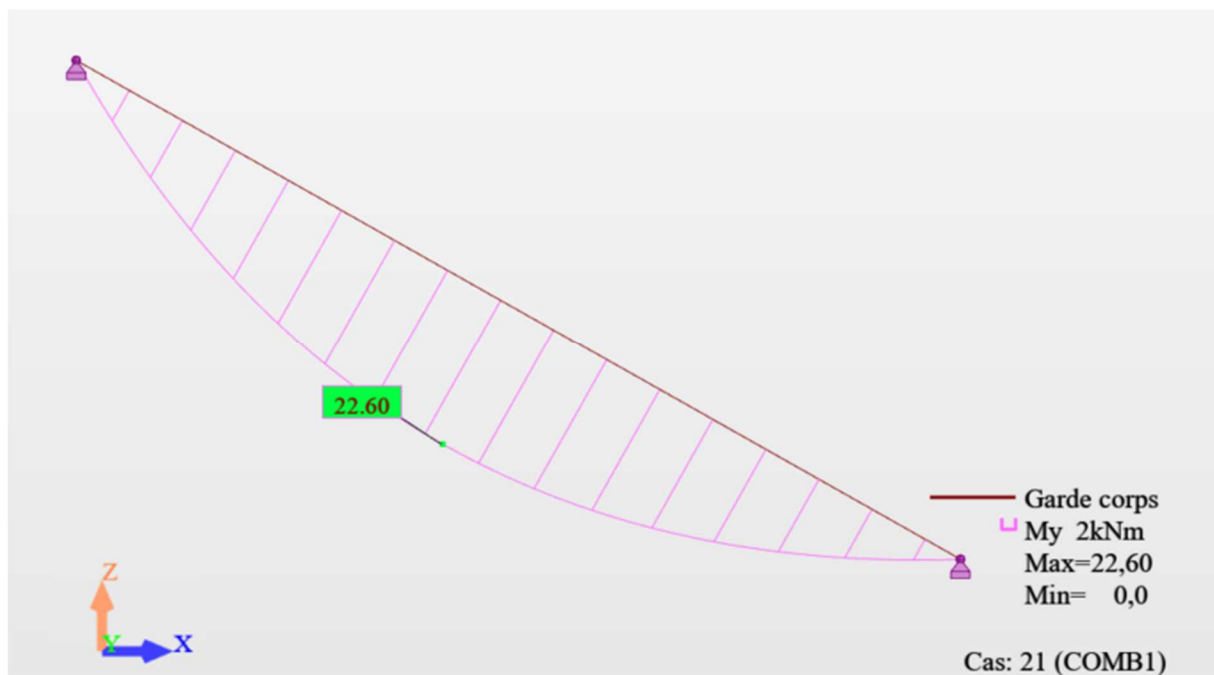
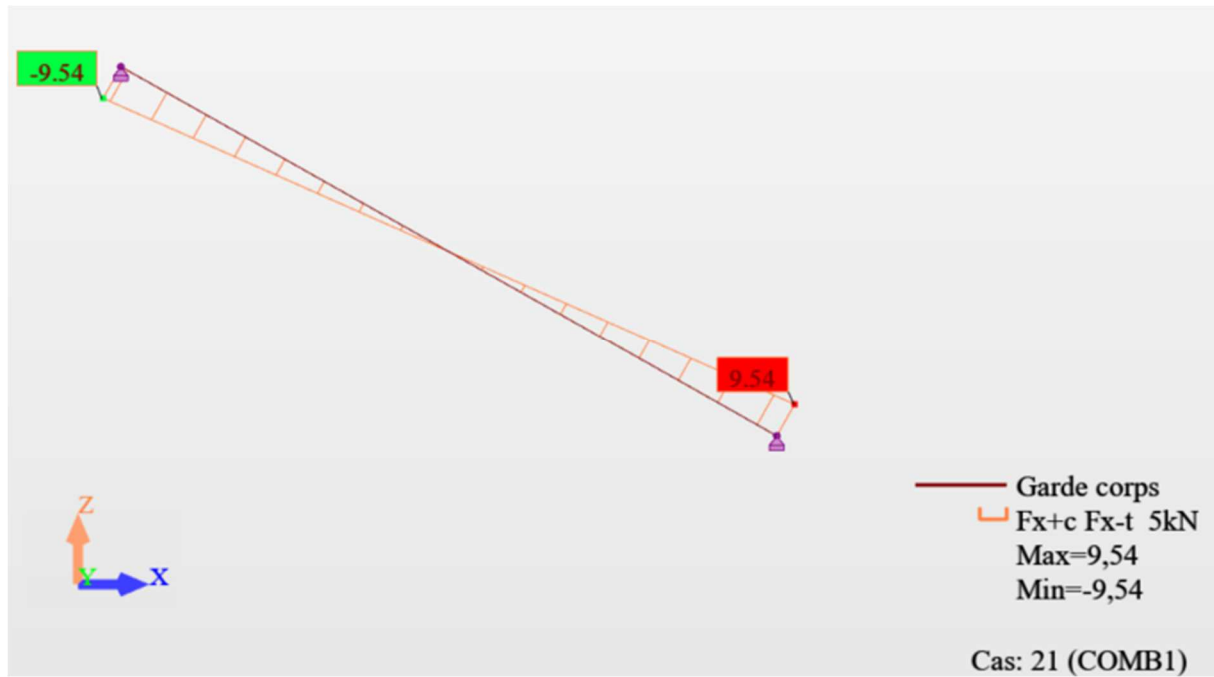


Figure 20 : Efforts internes (effort normal puis moment de flexion) sur le garde-corps escalier du RDC

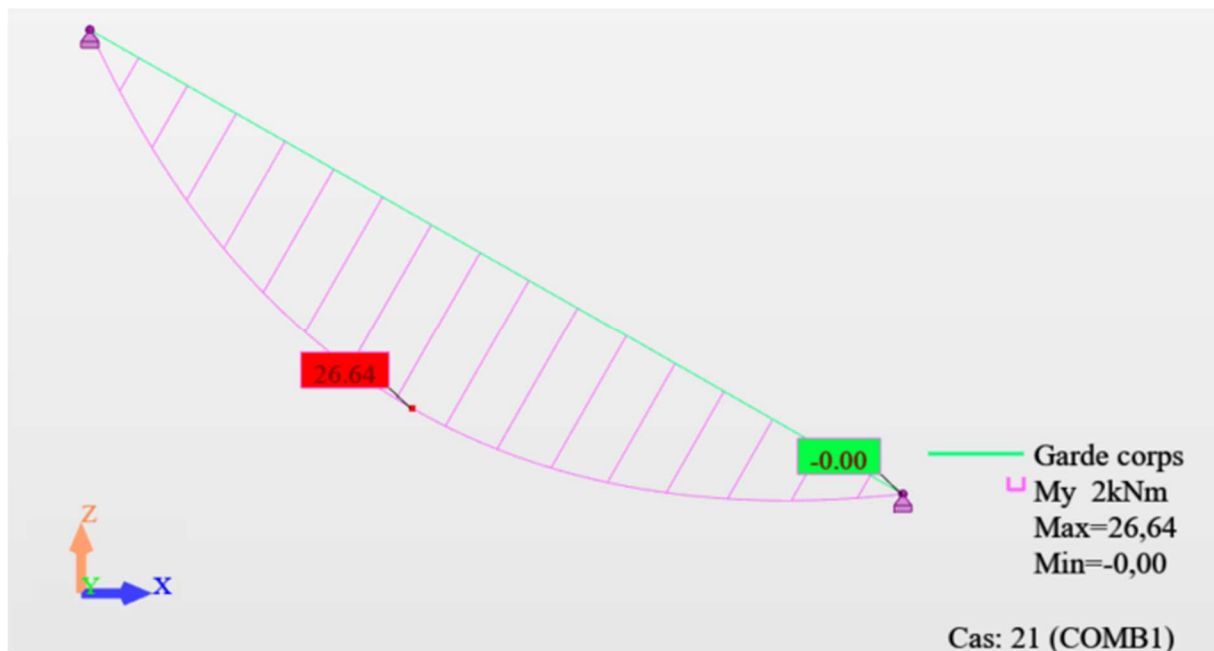
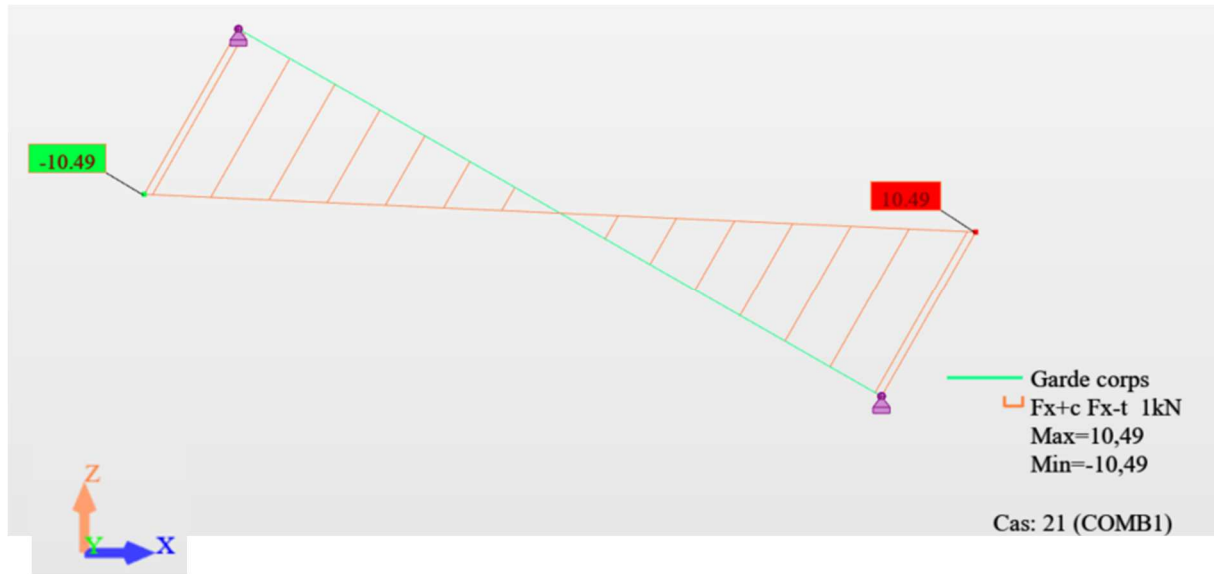
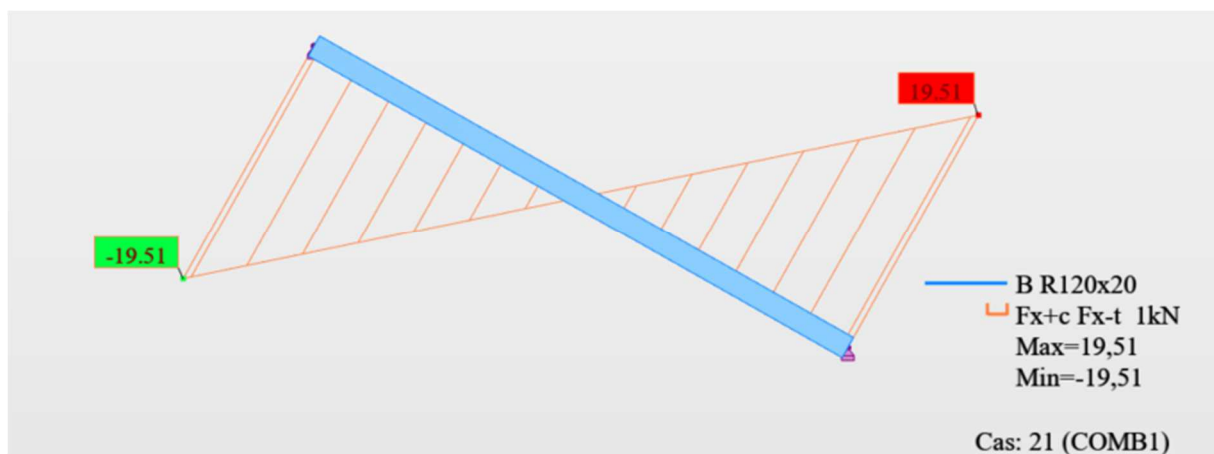


Figure 21 : Efforts internes (effort normal puis moment de flexion) sur le garde-corps escalier du R+1





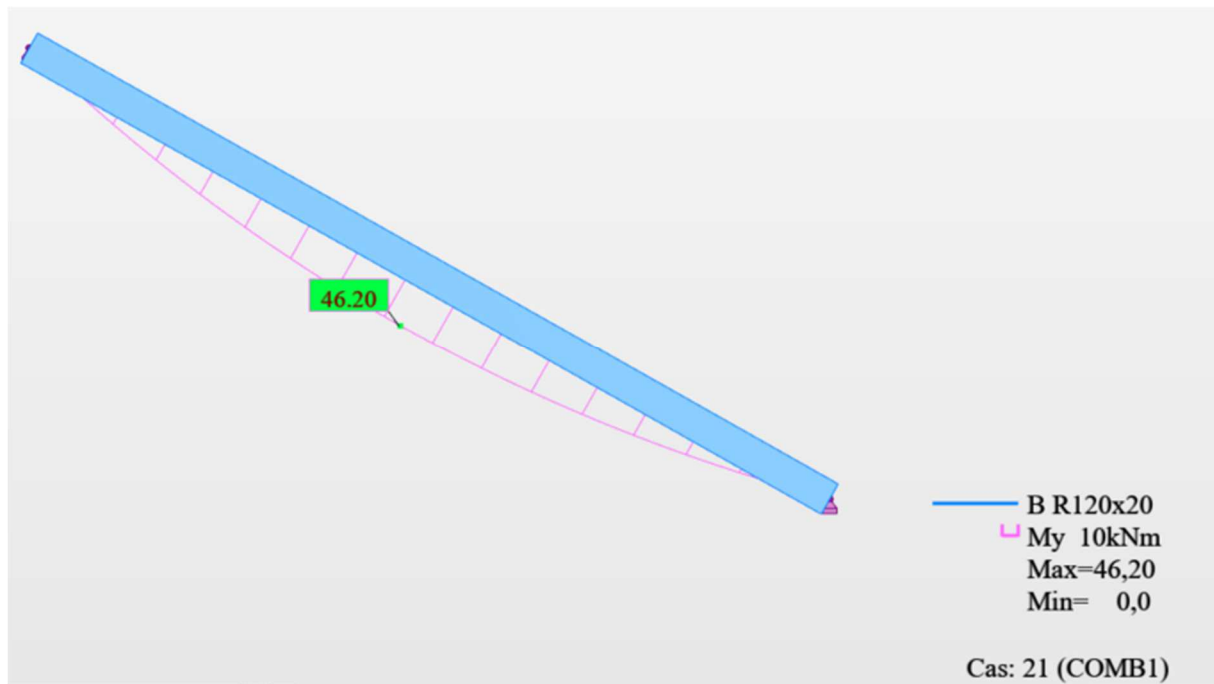
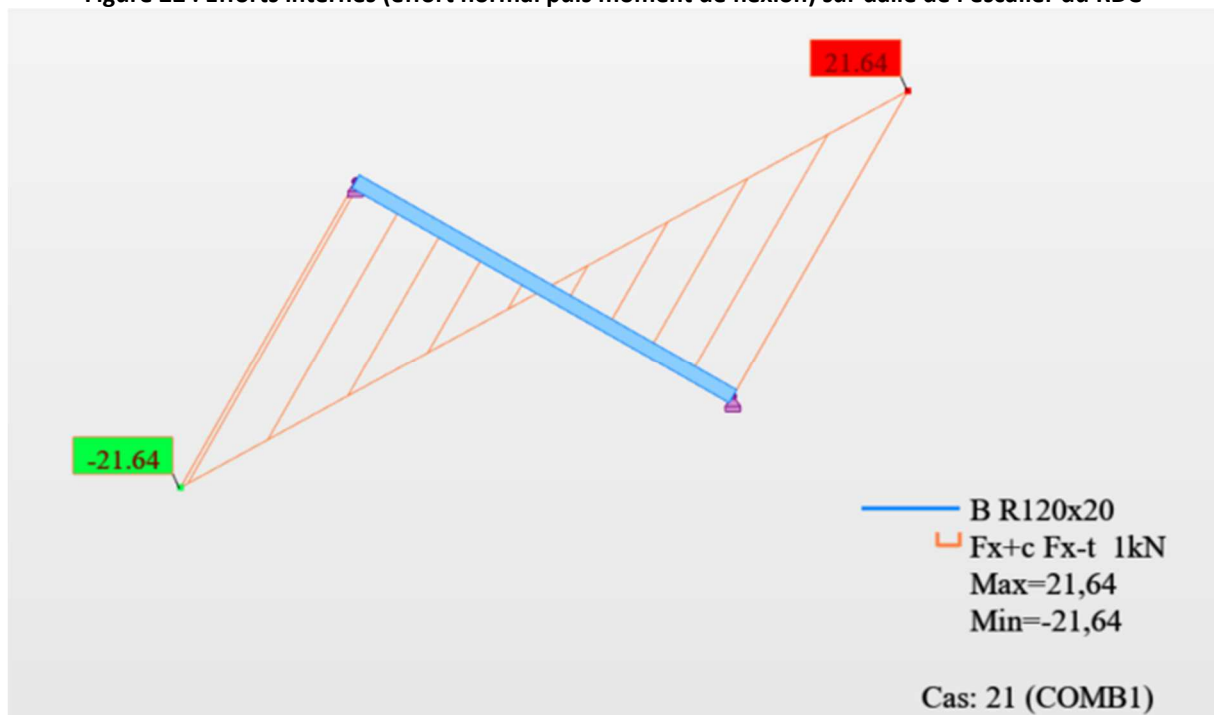


Figure 22 : Efforts internes (effort normal puis moment de flexion) sur dalle de l'escalier du RDC



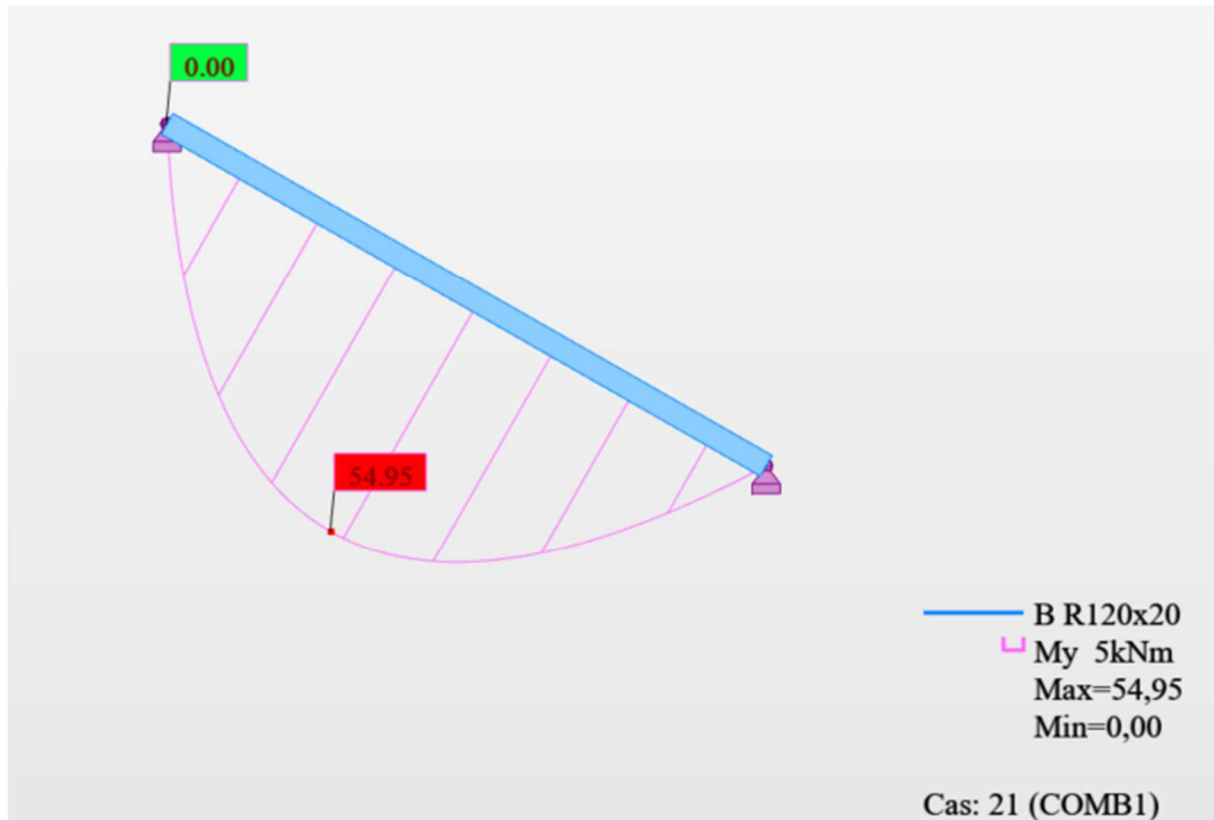


Figure 23 : Efforts internes (effort normal puis moment de flexion) sur dalle de l'escalier du R+1

### 8.3. CALCUL DU MOMENT DE FLEXION SUR ACROTERE

