

TABLE DES MATIERES

1.	OBJET	2
2.	CALCUL DES POTEAUX	4
2.1.	POTEAUX COURANTS EN SITUATION DURABLE.....	4
2.2.	POTEAUX COURANTS EN SITUATION TRANSITOIRE.....	8
2.3.	POTEAUX D'EXTREMITE EN SITUATION DURABLE	12
3.	CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE – ZONE COURANTE SANS SOUBASSEMENT.....	16
4.	CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE– ZONE D'EXTREMITE SANS SOUBASSEMENT	31
5.	CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE – ZONE AVEC SOUBASSEMENT SANS GBA.....	46
6.	CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE – ZONE AVEC SOUBASSEMENT – CHOC GBA	61
7.	SYNTHESE	76
8.	ANNEXE A : REPARTITION DES CHARGES PAR POTEAU	81

1. OBJET

Cette note a pour objet de prédimensionner l'écran acoustique 7-1 du site 10 sur l'A55.

Les hypothèses de calculs nécessaires au prédimensionnement des écrans acoustiques sur l'A55 à Martigues au niveau du site 10 sont présentées dans la note d'hypothèse.

On considère :

- Ecran hauteur 5m20 par rapport à la chaussée + déflecteur en tête (on se place à mi-hauteur du déflecteur pour les calculs),
- Ecran vertical
- Entraxe des poteaux et des massifs : 4m.
- Massif béton en pied de poteau.
- Pieux D700
- Pas de prise en compte du séisme conformément au guide du CEREMA

On différencie :

- Les zones d'extrémités correspondant aux 5 premiers poteaux à chaque extrémité,
- Les zones courantes sans soubassement lorsqu'aucun rôle de soutènement n'est joué par l'écran (même hauteur de terre à l'avant et à l'arrière du panneau)
- Les zones courantes avec soubassement lorsqu'un soubassement est nécessaire pour soutenir les terres. On considère alors une hauteur maximum de soubassement de 1.0m correspondant à au profil 14 avec une garde de 20cm (1.2m de poussée pour le plot)



Profil dessiné par AutoPISTE Abscisse : 78.67 m

Axe : 7.1
Profil n°: 14

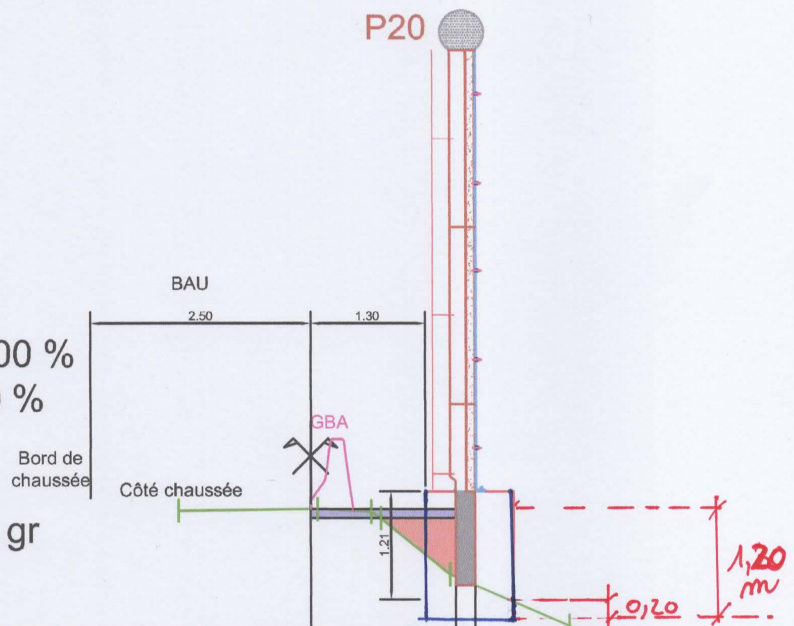
Echelle des longueurs : 1/100

Echelle des altitudes : 1/100

Remblai
Déblai
BB
BETON

Dévers Gauche 0.00 %
Dévers Droite 0.00 %
X= 1867151.33
Y= 3134753.80
Gisement : 190.87 gr

PC : 50.00 m



Altitudes TN	51.36	51.38	51.38	51.38	51.38	50.65	50.07	49.72
Distances à l'axe TN	-1.50	0.00	0.07	0.08	0.80	1.58	2.94	3.37
Altitudes Projet		51.38	51.38	51.38	51.38	50.65	50.07	49.72
Distances à l'axe Projet		-0.00	1.65	1.65	1.87			
Distances partielles Projet			1.65					
Distances à l'axe Arase		-0.00	1.65	1.65	1.87			
Altitude Arase		51.38	51.38	51.38	51.38	50.65	50.07	49.72

2. CALCUL DES POTEAUX

2.1. POTEAUX COURANTS EN SITUATION DURABLE

JUSTIFICATION ECRANS ACOUSTIQUES ROUTIERS

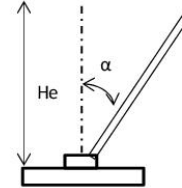
(Selon le guide Cerema : *Conception et calcul du génie civil des écrans de protection phonique routiers*)

1. Données écran

ECRANS H=5,2M - ZONE IIIa - ZONE COURANTE - ZE=19M - SITUATION DURABLE

1.1. Géométrie de l'écran

Entraxe des poteaux :	d =	4,00	m
Inclinaison écran :	α =	0,00	°
	α =	0,00	gr
Hauteur écran (y compris réhausse) :	He,droit =	5,20	m
	He,incl =	5,20	m
Poteau retenu :	Type :	HEA 240	
	Module élastique Wel =	675,1	cm ³
	Inertie élastique I =	7763,0	cm ⁴
	Poids linéaire G =	60,3	kg/ml
	Limite élastique fy =	23955	t/m ²
	Module de Young E =	21406728	t/m ²



1.2. Actions/charges sur écran

Poids écran :	pe	0,563	t/m ²	
Poids couverture en tête :	pc	0,000	t/ml	
Poids poteaux :	pt	0,314	t	
Action du vent :	qw =	0,115	t/m ²	
Action du souffle :	qs =	0,082	t/m ²	*le souffle et le vent ne sont pas cumulés selon le CCTP

2. Justification du poteau HEA

Deux critères sont à vérifier :

- Vérification du moment à l'ELU :	Med	<	Mel, rd = Wel*fy/γM ₀	NF EN 1993-1-1
- Vérification de la flèche à l'ELS :	f _{els}	<	f _{lim}	NF EN 1794-1

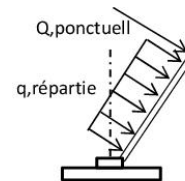
	Ecran	Poteau	Couverture	Vent	Souffle
F [t]	11,71	0,31	0,00	2,39	1,70
e [m]	0,00	0,00	0,00	2,60	2,60
M [t.m]	0,00	0,00	0,00	6,21	4,41
F _L [t/m ou t]	0,00	0,00	0,00	0,46	0,33
f [mm]	0,00	0,00	0,00	25,24	17,94

A l'ELU :	Med = 1,35*(Mpe+Mpc+Mpt) + 1,50*max(Mqw ; Mqs) =	9,308	t.m
A l'ELS :	Med = 1,00*(Mpe+Mpc+Mpt) + 1,00*max(Mqw ; Mqs) =	6,205	t.m

Coefficient de Sécurité :	γM ₀ =	1,00	[-]	
Moment de résistance élastique :	Mel,rd =	16,172	t.m	OK
La flèche en tête de l'écran :	f _{max} =	25,24	mm	
Valeur limite de la flèche :	f _{lim} =	34,67	mm	OK

NOTA : Les flèches en tête de l'écran sont calculées avec les composantes perpendiculaires des charges (par rapport à l'axe des poteaux (profilés HEA)).

Seule le poids de la couverture est considéré comme charge ponctuelle, les autres charges étant uniformément réparties.



3. Justification des tiges/platine

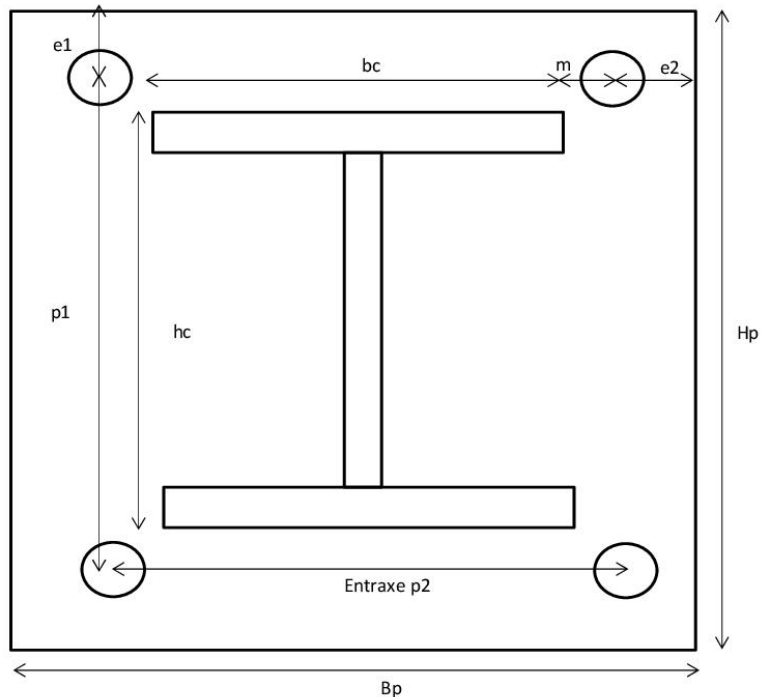
3.1. Caractéristiques tiges/platine & profilé HEA :

Tiges :

Nombre de tiges par file :	N = 2	[-]	
	Nfile = 2	[-]	
Diamètres d'une tige	$\phi = 36,00$	mm	
Classe de boulons :	8.8	[-]	* Une classe ≤ 5.6 ou 8.8 recommandée
Coefficient Sécurité :	$\gamma_{M2} = 1,25$	[-]	
Section résistante tige :	$A_s = 817,00$	mm ²	
	$A = 1017,88$	mm ²	
Limite élastique :	$f_{yb} = 400,00$	Mpa	*Valeurs limitées à $f_{yb} = 400\text{Mpa}$
Résistance à la traction	$f_{ub} = 500,00$	Mpa	et $f_{ub} = 500\text{ Mpa}$
	$\alpha_v = 0,60$	[-]	
	$k_2 = 0,90$	[-]	$k_2=0,63$ pour les boulons à tête fraisée, sinon 0,90

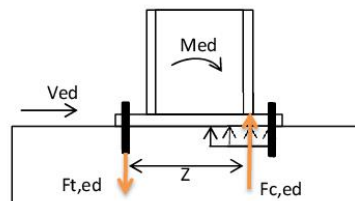
Platine & profilé HEA :

Base platine :	$B_p = 513,00$	mm	
Hauteur platine :	$H_p = 542,00$	mm	
Epaisseur platine :	$t_p = 38,00$	mm	
Limite élastique :	$f_{yp} = 235,00$	Mpa	
Distance axe tige / nu platine :	$e_2 = 136,50$	mm	($e_2 = e$)
	$e_1 = 58,50$	mm	($e_1 = e_x$)
Entraxe des tiges :	$p_2 = 240,00$	mm	
	$p_1 = 425,00$	mm	
Distance bord semelle HEA /axe tige :	$m = 0,00$	mm	
	$m_x = 97,50$	mm	
Type HEA :	HEA 240		
Largeur profilé HEA :	$b_c = 240,00$	mm	
Hauteur profilé HEA :	$h_c = 230,00$	mm	
Epaisseur semelle HEA :	$t_{fc} = 12,00$	mm	
Epaisseur âme HEA :	$t_{wc} = 7,50$	mm	



3.2. Justification des tiges d'ancrage (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Effort normal ELU :	Ned =	16,23	t
Effort tranchant ELU :	Ved =	3,58	t
Moment fléchissant ELU :	Med =	9,31	t.m
Effort tranchant par tige :	Fv,ed =	0,89	t
Bras de levier :	Z =	0,32	m
Effort de traction par tige :	Ft,ed =	14,48	t
Effort de compression :	Fc,ed =	28,95	t



Il faut vérifier que :

- $F_{t,ed} < F_{t,rd}$ en traction
- $F_{v,ed} < F_{v,rd}$ en cisaillement
- $F_{v,ed}/F_{v,rd} + F_{t,ed}/(1,40 \cdot F_{t,rd}) < 1$ pour l'effet combiné

Efforts résistants :

Résistance à la traction :	$F_{t,rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} =$	29,98	t	OK
Résistance au cisaillement :	$F_{v,rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} =$	24,90	t	OK
Efforts combinés :	$F_{v,ed}/F_{v,rd} + F_{t,ed}/(1,40 \cdot F_{t,rd}) =$	0,38	[-]	OK

3.3. Justification de la platine (NF EN 1993-1-8 sections 6.2.4 à 6.2.6)

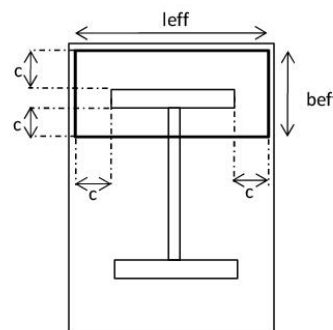
Zone comprimée :

Il s'agit de vérifier que : $F_{c,ed} < F_{c,rd}$
Avec $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$

$f_{cd} =$	30,00	Mpa
$\alpha_{bf} =$	1,00	[-]
$\beta_j =$	0,67	[-]
$f_{jd} = \alpha_{bf} \cdot \beta_j \cdot f_{cd} =$	20,00	Mpa
$c = t_p \cdot \sqrt{f_{yp} / (3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0})} :$	75,20	mm
$l_{eff} = \min(B_p ; b_c + 2 \cdot c) :$	390,41	mm
$b_{eff} = c + t_f + \min(c ; m_x + e_1) :$	162,41	mm

$F_{c,ed} =$	28,95	t
$F_{c,rd} =$	129,27	t

OK



Zone tendue :

Il s'agit de vérifier que : $F_{t,ed} < F_{t,rd}$

$l_{eff, cp} = \min(2 \pi \cdot m_x ; \pi \cdot m_x + p_2 ; \pi \cdot m_x + 2 \cdot e_2)$	
$l_{eff, cp} =$	546,31 mm

$l_{eff, np} = \min(4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_1 ; 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_1 + 0,5 \cdot p_2 ; 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_1 + e_2 ; 0,50 \cdot B_p)$	
---	--

$l_{eff, np} =$	256,50	mm
$L_b = 9 \cdot \phi_{tige} + t_p :$	362,00	mm
$l_{eff} = \min(l_{eff, cp} ; l_{eff, np}) =$	256,50	mm
$L_b^* = 8,8 \cdot m_x^3 \cdot A_s / (l_{eff} \cdot t_p^3) :$	473,46	mm

Effet levier à considérer si $L_b < L_b^*$:

effet de levier

Moment résistant :	$M_{pl,rd} = f_{yp} \cdot t_p^2 \cdot l_{eff} / (4 \cdot \gamma_{M0}) =$	2,22	t.m
--------------------	--	------	-----

Effort de traction résistant :

	Expression $F_{t,rd}$	Résultat	Unité
Mode 1	$4 \cdot M_{pl,rd} / m_x$	91,00	t
Mode 2	$(2 \cdot M_{pl,rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,anc}) / (m_x + n)$	50,92	
Mode 3	$\sum F_{t,rd}$	59,96	
Mode 1-2	$2 \cdot M_{pl,rd} / m_x$	45,50	
Résultat retenu		50,92	

Avec :

Coefficient $n = \min(e_1 ; 1,25 \cdot m_x) :$	58,50	mm
$F_{t,anc} =$	29,98	t
$F_{t,rd} =$	25,46	t
$F_{t,ed} =$	14,48	t
Mode de rupture :	2	OK, platine pas trop souple

*traction résistante d'une tige

OK

3.4. Résistance à la pression diamétrale (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Il s'agit de vérifier que l'effort de butée exercé par les tiges est bien repris par la platine,
On vérifie donc que : $F_{v,ed} < F_{b,rd} = k_1 \cdot a_b \cdot f_{up} \cdot \phi \cdot t_p / \gamma_{M2}$

Avec :

Diamètre tiges :	$\phi =$	36,00	mm
Diamètre trou de passage des tiges :	$d_0 =$	39,00	mm
Epaisseur de la platine :	$t_p =$	38,00	mm
Résistance à la traction de la platine :	$f_{up} =$	360,00	Mpa
Résistance à la traction d'une tige :	$f_{ub} =$	500,00	Mpa
	$\gamma_{M2} =$	1,25	[-]
	$a_b =$	0,50	[-]
$a_b = \min(1 ; f_{ub}/f_{up} ; e_1/(3 \cdot d_0)) :$			
$k_1 = \min(2,5 ; (2,8 \cdot e_2/d_0) - 1,7 ; (1,4 \cdot p_2/d_0) - 1,7) :$			
	$k_1 =$	2,50	[-]
La résistance à la pression diamétrale :	$F_{b,rd} =$	50,20	t
	$F_{v,ed} =$	0,89	t

OK

3.5. Résistance au poinçonnement (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Vérifier que : $F_{t,ed} < B_{p,rd} = 0,6 \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{up} / \gamma_{M2}$

Diamètre moyen de calcul (entre cercles inscrit et circonscrit de la tête de l'écrou) :

	$d_m =$	57,90	mm
Résistance au poinçonnement :	$B_{p,rd} =$	121,74	t
	$F_{t,ed} =$	14,48	t

OK

3.6. Vérification pieds de poteau vis-à-vis de la transmission de l'effort tranchant

(NF EN 1993-1-8 section 6.2.2)

Vérifier que : $F_{v,ed} < F_{vb,rd} = a_{bc} \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$

	$f_{yb} =$	400,00	Mpa
$a_{bc} = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb} =$		0,32	[-]
	$A_s =$	817,00	mm ²
	$F_{vb,rd} =$	10,66	t
	$F_{v,ed} =$	0,89	t

OK

3.7. Vérification soudure du profilé sur la platine

(page 79 - Guide Cerema)

Aucune justification de soudure n'est nécessaire si on reconstitue la matière du profilé assemblé) c'est-à-dire :

cordon de george : $a > \max(5 \text{ mm} ; 0,5 \cdot t)$
Avec : $t = \max(t_{fc} ; t_{wc})$

Epaisseurs HEA :	$t_{fc} =$	12,00	mm
	$t_{wc} =$	7,50	mm
=>	$a_{min} =$	6,00	mm
	$a_{projet} =$	6,00	mm

OK

2.2. POTEAUX COURANTS EN SITUATION TRANSITOIRE

JUSTIFICATION ECRANS ACOUSTIQUES ROUTIERS

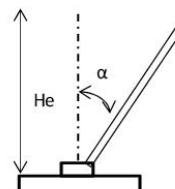
(Selon le guide Cerema : *Conception et calcul du génie civil des écrans de protection phonique routiers*)

1. Données écran

ECRANS H=5,2M - ZONE IIIa - ZONE COURANTE - ZE=19M - SITUATION TRANSITOIRE

1.1. Géométrie de l'écran

Entraxe des poteaux :	d =	4,00	m
Inclinaison écran :	α =	0,00	°
	α =	0,00	gr
Hauteur écran (y compris réhausse) :	He,droit =	5,20	m
	He,incl =	5,20	m
Poteau retenu :	Type :	HEA 240	
	Module élastique Wel =	675,1	cm ³
	Inertie élastique I =	7763,0	cm ⁴
	Poids linéaire G =	60,3	kg/ml
	Limite élastique fy =	23955	t/m ²
	Module de Young E =	21406728	t/m ²



1.2. Actions/charges sur écran

Poids écran :	pe	0,563	t/m ²	
Poids couverture en tête :	pc	0,000	t/ml	
Poids poteaux :	pt	0,314	t	
Action du vent :	qw	0,162	t/m ²	*le souffle et le vent ne sont pas cumulés selon le CCTP
Action du souffle :	qs	0,082	t/m ²	

2. Justification du poteau HEA

Deux critères sont à vérifier :

- Vérification du moment à l'ELU :	Med	<	MeI, rd = Wel*fy/γM ₀	NF EN 1993-1-1
- Vérification de la flèche à l'ELS :	f _{els}	<	f _{lim}	NF EN 1794-1

	Ecran	Poteau	Couverture	Vent	Souffle
F [t]	11,71	0,31	0,00	3,38	1,70
e [m]	0,00	0,00	0,00	2,60	2,60
M [t.m]	0,00	0,00	0,00	8,78	4,41
F _⊥ [t/m ou t]	0,00	0,00	0,00	0,65	0,33
f [mm]	0,00	0,00	0,00	35,71	17,94

A l'ELU :	Med = 1,35*(Mpe+Mpc+Mpt) + 1,50*max(Mqw ; Mqs) =	13,169	t.m
A l'ELS :	Med = 1,00*(Mpe+Mpc+Mpt) + 1,00*max(Mqw ; Mqs) =	8,780	t.m

Coefficient de Sécurité :	γM ₀ =	1,00	[-]
Moment de résistance élastique :	MeI, rd =	16,172	t.m
La flèche en tête de l'écran :	f _{max} =	35,71	mm
Valeur limite de la flèche :	f _{lim} =	34,67	mm

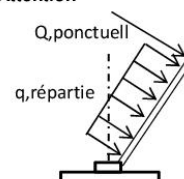
La flèche en tête n'est pas à vérifier en phase transitoire donc RAS.

NOTA : Les flèches en tête de l'écran sont calculées avec les composantes perpendiculaires des charges (par rapport à l'axe des poteaux (profilés HEA)).

Seule le poids de la couverture est considéré comme charge ponctuelle, les autres charges étant uniformément réparties.

OK

Attention



3. Justification des tiges/platine

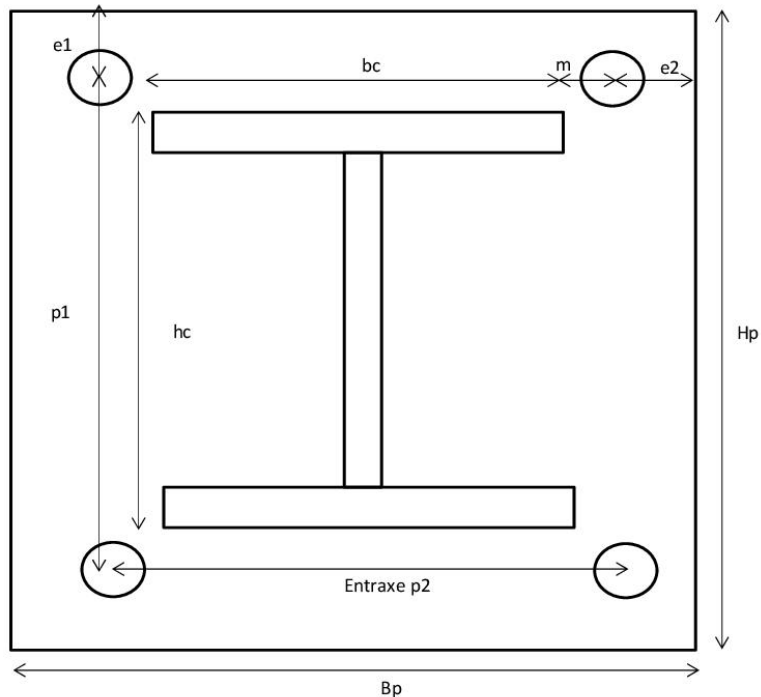
3.1. Caractéristiques tiges/platine & profilé HEA :

Tiges :

Nombre de tiges par file :	N = 2	[-]	
	Nfile = 2	[-]	
Diamètres d'une tige	$\phi = 36,00$	mm	
Classe de boulons :	8.8	[-]	* Une classe <= 5.6 ou 8.8 recommandée
Coefficient Sécurité :	$\gamma_{M2} = 1,25$	[-]	
Section résistante tige :	As = 817,00	mm ²	
	A = 1017,88	mm ²	
Limite élastique :	f _{yb} = 400,00	Mpa	*Valeurs limitées à f _{yb} = 400Mpa
Résistance à la traction	f _{ub} = 500,00	Mpa	et f _{ub} = 500 Mpa
	$\alpha_v = 0,60$	[-]	
	k ₂ = 0,90	[-]	k ₂ =0,63 pour les boulons à tête fraisée, sinon 0,90

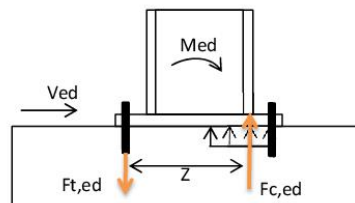
Platine & profilé HEA :

Base platine :	Bp = 513,00	mm	
Hauteur platine :	Hp = 542,00	mm	
Epaisseur platine :	tp = 38,00	mm	
Limite élastique :	f _{yp} = 235,00	Mpa	
Distance axe tige / nu platine :	e ₂ = 136,50	mm	(e ₂ = e)
	e ₁ = 58,50	mm	(e ₁ = ex)
Entraxe des tiges :	p ₂ = 240,00	mm	
	p ₁ = 425,00	mm	
Distance bord semelle HEA /axe tige :	m = 0,00	mm	
	m _x = 97,50	mm	
Type HEA :	HEA 240		
Largeur profilé HEA :	bc = 240,00	mm	
Hauteur profilé HEA :	hc = 230,00	mm	
Epaisseur semelle HEA :	t _{fc} = 12,00	mm	
Epaisseur âme HEA :	t _{wc} = 7,50	mm	



3.2. Justification des tiges d'ancrage (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Effort normal ELU :	Ned =	16,23	t
Effort tranchant ELU :	Ved =	5,07	t
Moment fléchissant ELU :	Med =	13,17	t.m
Effort tranchant par tige :	Fv,ed =	1,27	t
Bras de levier :	Z =	0,32	m
Effort de traction par tige :	Ft,ed =	20,48	t
Effort de compression :	Fc,ed =	40,96	t



Il faut vérifier que :

- $F_{t,ed} < F_{t,rd}$ en traction
- $F_{v,ed} < F_{v,rd}$ en cisaillement
- $F_{v,ed}/F_{v,rd} + F_{t,ed}/(1,40 \cdot F_{t,rd}) < 1$ pour l'effet combiné

Efforts résistants :

Résistance à la traction :	$F_{t,rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} =$	29,98	t	OK
Résistance au cisaillement :	$F_{v,rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} =$	24,90	t	OK
Efforts combinés :	$F_{v,ed}/F_{v,rd} + F_{t,ed}/(1,40 \cdot F_{t,rd}) =$	0,54	[-]	OK

3.3. Justification de la platine (NF EN 1993-1-8 sections 6.2.4 à 6.2.6)

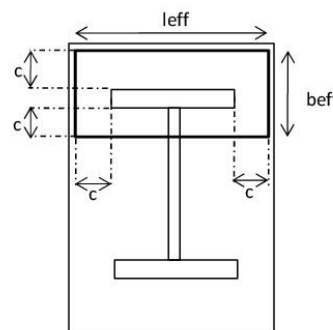
Zone comprimée :

Il s'agit de vérifier que : $F_{c,ed} < F_{c,rd}$
Avec $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$

$f_{cd} =$	30,00	Mpa
$\alpha_{bf} =$	1,00	[-]
$\beta_j =$	0,67	[-]
$f_{jd} = \alpha_{bf} \cdot \beta_j \cdot f_{cd} =$	20,00	Mpa
$c = t_p \cdot \sqrt{f_{yp} / (3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0})} :$	75,20	mm
$l_{eff} = \min(B_p ; b_c + 2 \cdot c) :$	390,41	mm
$b_{eff} = c + t_f + \min(c ; m_x + e_1) :$	162,41	mm

$F_{c,ed} =$	40,96	t
$F_{c,rd} =$	129,27	t

OK



Zone tendue :

Il s'agit de vérifier que : $F_{t,ed} < F_{t,rd}$

$$l_{eff, cp} = \min(2\pi \cdot m_x ; \pi \cdot m_x + p_2 ; \pi \cdot m_x + 2 \cdot e_2)$$

$$l_{eff, cp} = 546,31 \quad \text{mm}$$

$$l_{eff, np} = \min(4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_1 ; 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_1 + 0,5 \cdot p_2 ; 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_1 + e_2 ; 0,50 \cdot B_p)$$

$l_{eff, np} =$	256,50	mm
$L_b = 9 \cdot \phi_{tige} + t_p :$	362,00	mm
$l_{eff} = \min(l_{eff, cp} ; l_{eff, np}) =$	256,50	mm
$L_b^* = 8,8 \cdot m_x^3 \cdot A_s / (l_{eff} \cdot t_p^3) :$	473,46	mm

Effet levier à considérer si $L_b < L_b^*$:

effet de levier

$$\text{Moment résistant : } M_{pl,rd} = f_{yp} \cdot t_p^2 \cdot l_{eff} / (4 \cdot \gamma_{M0}) = 2,22 \quad \text{t.m}$$

Effort de traction résistant :

	Expression $F_{t,rd}$	Résultat	Unité
Mode 1	$4 \cdot M_{pl,rd} / m_x$	91,00	t
Mode 2	$(2 \cdot M_{pl,rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,anc}) / (m_x + n)$	50,92	
Mode 3	$\sum F_{t,rd}$	59,96	
Mode 1-2	$2 \cdot M_{pl,rd} / m_x$	45,50	
Résultat retenu		50,92	

Avec :

Coefficient $n = \min(e_1 ; 1,25 \cdot m_x) :$	58,50	mm
$F_{t,anc} =$	29,98	t
$F_{t,rd} =$	25,46	t
$F_{t,ed} =$	20,48	t
Mode de rupture :	2	

*traction résistante d'une tige

OK

OK, platine pas trop souple

3.4. Résistance à la pression diamétrale (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Il s'agit de vérifier que l'effort de butée exercé par les tiges est bien repris par la platine,
On vérifie donc que : $F_{v,ed} < F_{b,rd} = k_1 \cdot a_b \cdot f_{up} \cdot \phi \cdot t_p / \gamma_{M2}$

Avec :

Diamètre tiges :	$\phi =$	36,00	mm
Diamètre trou de passage des tiges :	$d_0 =$	39,00	mm
Epaisseur de la platine :	$t_p =$	38,00	mm
Résistance à la traction de la platine :	$f_{up} =$	360,00	Mpa
Résistance à la traction d'une tige :	$f_{ub} =$	500,00	Mpa
	$\gamma_{M2} =$	1,25	[-]
$a_b = \min(1 ; f_{ub}/f_{up} ; e_1/(3 \cdot d_0)) :$	$a_b =$	0,50	[-]
$k_1 = \min(2,5 ; (2,8 \cdot e_2/d_0) - 1,7 ; (1,4 \cdot p_2/d_0) - 1,7) :$	$k_1 =$	2,50	[-]
La résistance à la pression diamétrale :	$F_{b,rd} =$	50,20	t
	$F_{v,ed} =$	1,27	t

OK

3.5. Résistance au poinçonnement (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Vérifier que : $F_{t,ed} < B_{p,rd} = 0,6 \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{up} / \gamma_{M2}$

Diamètre moyen de calcul (entre cercles inscrit et circonscrit de la tête de l'écrou) :

	$d_m =$	57,90	mm
Résistance au poinçonnement :	$B_{p,rd} =$	121,74	t
	$F_{t,ed} =$	20,48	t

OK

3.6. Vérification pieds de poteau vis-à-vis de la transmission de l'effort tranchant

(NF EN 1993-1-8 section 6.2.2)

Vérifier que : $F_{v,ed} < F_{vb,rd} = a_{bc} \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$

	$f_{yb} =$	400,00	Mpa
$a_{bc} = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb} =$		0,32	[-]
	$A_s =$	817,00	mm ²
	$F_{vb,rd} =$	10,66	t
	$F_{v,ed} =$	1,27	t

OK

3.7. Vérification soudure du profilé sur la platine

(page 79 - Guide Cerema)

Aucune justification de soudure n'est nécessaire si on reconstitue la matière du profilé assemblé) c'est-à-dire :

cordon de george : $a > \max(5 \text{ mm} ; 0,5 \cdot t)$
Avec : $t = \max(t_{fc} ; t_{wc})$

Epaisseurs HEA :	$t_{fc} =$	12,00	mm
	$t_{wc} =$	7,50	mm
=>	$a_{min} =$	6,00	mm
	$a_{projet} =$	6,00	mm

OK

2.3. POTEAUX D'EXTREMITÉ EN SITUATION DURABLE

Cela concerne les 5 premiers poteaux à chaque extrémité.

JUSTIFICATION ECRANS ACOUSTIQUES ROUTIERS

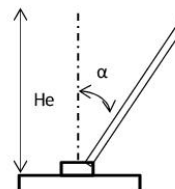
(Selon le guide Cerema : *Conception et calcul du génie civil des écrans de protection phonique routiers*)

1. Données écran

ECRANS H=5,2M - ZONE IIIa - ZONE EXTREMITÉ - ZE=19M - SITUATION DURABLE

1.1. Géométrie de l'écran

Entraxe des poteaux :	d =	4,00	m
Inclinaison écran :	α =	0,00	°
	α =	0,00	gr
Hauteur écran (y compris réhausse) :	He,droit =	5,20	m
	He,incl =	5,20	m
Poteau retenu :	Type :	HEA 260	
	Module élastique Wel =	836,4	cm ³
	Inertie élastique I =	10450,0	cm ⁴
	Poids linéaire G =	68,2	kg/ml
	Limite élastique fy =	23955	t/m ²
	Module de Young E =	21406728	t/m ²



1.2. Actions/charges sur écran

Poids écran :	pe	0,563	t/m ²	
Poids couvertine en tête :	pc	0,000	t/ml	
Poids poteaux :	pt	0,355	t	
Action du vent :	qw	0,210	t/m ²	
Action du souffle :	qs	0,082	t/m ²	*le souffle et le vent ne sont pas cumulés selon le CCTP

2. Justification du poteau HEA

Deux critères sont à vérifier :

- Vérification du moment à l'ELU :	Med	<	MeI, rd = Wel*fy/γM ₀	NF EN 1993-1-1
- Vérification de la flèche à l'ELS :	f _{els}	<	f _{lim}	NF EN 1794-1

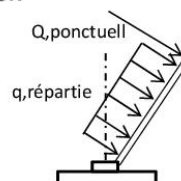
	Ecran	Poteau	Couvertine	Vent	Souffle
F [t]	11,71	0,35	0,00	4,36	1,70
e [m]	0,00	0,00	0,00	2,60	2,60
M [t.m]	0,00	0,00	0,00	11,34	4,41
F _⊥ [t/m ou t]	0,00	0,00	0,00	0,84	0,33
f [mm]	0,00	0,00	0,00	34,26	13,33

A l'ELU :	Med = 1,35*(Mpe+Mpc+Mpt) + 1,50*max(Mqw ; Mqs) =	17,006	t.m
A l'ELS :	Med = 1,00*(Mpe+Mpc+Mpt) + 1,00*max(Mqw ; Mqs) =	11,337	t.m

Coefficient de Sécurité :	γM ₀ =	1,00	[-]	
Moment de résistance élastique :	MeI, rd =	20,036	t.m	OK
La flèche en tête de l'écran :	f _{max} =	34,26	mm	
Valeur limite de la flèche :	f _{lim} =	34,67	mm	OK

NOTA : Les flèches en tête de l'écran sont calculées avec les composantes perpendiculaires des charges (par rapport à l'axe des poteaux (profilés HEA)).

Seule le poids de la couvertine est considéré comme charge ponctuelle, les autres charges étant uniformément réparties.



3. Justification des tiges/platine

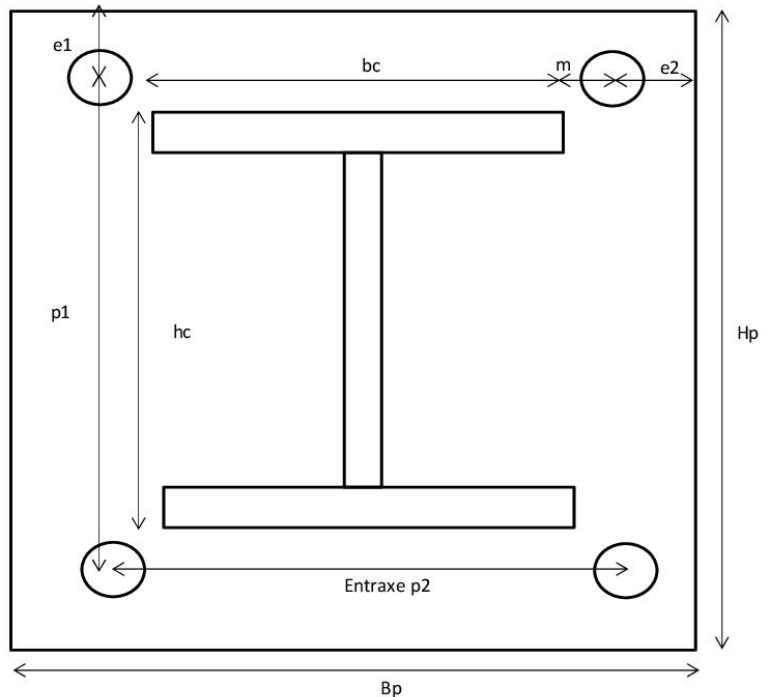
3.1. Caractéristiques tiges/platine & profilé HEA :

Tiges :

Nombre de tiges par file :	N = 2	[-]	
	Nfile = 2	[-]	
Diamètres d'une tige	$\phi = 36,00$	mm	
Classe de boulons :	8.8	[-]	* Une classe ≤ 5.6 ou 8.8 recommandée
Coefficient Sécurité :	$\gamma_{M2} = 1,25$	[-]	
Section résistante tige :	$A_s = 817,00$	mm ²	
	$A = 1017,88$	mm ²	
Limite élastique :	$f_{yb} = 400,00$	Mpa	*Valeurs limitées à $f_{yb} = 400\text{Mpa}$
Résistance à la traction	$f_{ub} = 500,00$	Mpa	et $f_{ub} = 500\text{ Mpa}$
	$\alpha_v = 0,60$	[-]	
	$k_2 = 0,90$	[-]	$k_2=0,63$ pour les boulons à tête fraisée, sinon 0,90

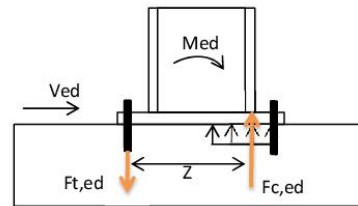
Platine & profilé HEA :

Base platine :	$B_p = 533,00$	mm	
Hauteur platine :	$H_p = 562,00$	mm	
Epaisseur platine :	$t_p = 44,00$	mm	
Limite élastique :	$f_{yp} = 235,00$	Mpa	
Distance axe tige / nu platine :	$e_2 = 136,50$	mm	($e_2 = e$)
	$e_1 = 58,50$	mm	($e_1 = e_x$)
Entraxe des tiges :	$p_2 = 260,00$	mm	
	$p_1 = 445,00$	mm	
Distance bord semelle HEA /axe tige :	$m = 0,00$	mm	
	$m_x = 97,50$	mm	
Type HEA :	HEA 260		
Largeur profilé HEA :	$b_c = 260,00$	mm	
Hauteur profilé HEA :	$h_c = 250,00$	mm	
Epaisseur semelle HEA :	$t_{fc} = 12,50$	mm	
Epaisseur âme HEA :	$t_{wc} = 7,50$	mm	



3.2. Justification des tiges d'ancrage (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Effort normal ELU :	Ned =	16,28	t
Effort tranchant ELU :	Ved =	6,54	t
Moment fléchissant ELU :	Med =	17,01	t.m
Effort tranchant par tige :	Fv,ed =	1,64	t
Bras de levier :	Z =	0,34	m
Effort de traction par tige :	Ft,ed =	24,92	t
Effort de compression :	Fc,ed =	49,83	t



Il faut vérifier que :

- $F_{t,ed} < F_{t,rd}$ en traction
- $F_{v,ed} < F_{v,rd}$ en cisaillement
- $F_{v,ed}/F_{v,rd} + F_{t,ed}/(1,40 \cdot F_{t,rd}) < 1$ pour l'effet combiné

Efforts résistants :

Résistance à la traction :	$F_{t,rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} =$	29,98	t	OK
Résistance au cisaillement :	$F_{v,rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} =$	24,90	t	OK
Efforts combinés :	$F_{v,ed}/F_{v,rd} + F_{t,ed}/(1,40 \cdot F_{t,rd}) =$	0,66	[-]	OK

3.3. Justification de la platine (NF EN 1993-1-8 sections 6.2.4 à 6.2.6)

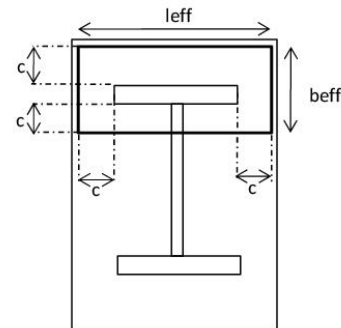
Zone comprimée :

Il s'agit de vérifier que : $F_{c,ed} < F_{c,rd}$
Avec $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$

$f_{cd} =$	30,00	Mpa
$\alpha_{bf} =$	1,00	[-]
$\beta_j =$	0,67	[-]
$f_{jd} = \alpha_{bf} \cdot \beta_j \cdot f_{cd} =$	20,00	Mpa
$c = t_p \cdot \sqrt{f_{yp} / (3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0})} :$	87,08	mm
$l_{eff} = \min(B_p ; b_c + 2 \cdot c) :$	434,16	mm
$b_{eff} = c + t_f + \min(c ; m_x + e_1) :$	186,66	mm

$F_{c,ed} =$	49,83	t
$F_{c,rd} =$	165,22	t

OK



Zone tendue :

Il s'agit de vérifier que : $F_{t,ed} < F_{t,rd}$

$$l_{eff, cp} = \min(2\pi \cdot m_x ; \pi \cdot m_x + p_2 ; \pi \cdot m_x + 2 \cdot e_2)$$

$$l_{eff, cp} = 566,31 \text{ mm}$$

$$l_{eff, np} = \min(4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_1 ; 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_1 + 0,5 \cdot p_2 ; 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_1 + e_2 ; 0,50 \cdot B_p)$$

$l_{eff, np} =$	266,50	mm
$L_b = 9 \cdot \phi_{tige} + t_p :$	368,00	mm
$l_{eff} = \min(l_{eff, cp} ; l_{eff, np}) =$	266,50	mm
$L_b^* = 8,8 \cdot m_x^3 \cdot A_s / (l_{eff} \cdot t_p^3) :$	293,54	mm

Effet levier à considérer si $L_b < L_b^* :$ Pas effet de levier

$$\text{Moment résistant : } M_{pl,rd} = f_{yp} \cdot t_p^2 \cdot l_{eff} / (4 \cdot \gamma_{M0}) = 3,09 \text{ t.m}$$

Effort de traction résistant :

	Expression $F_{t,rd}$	Résultat	Unité
Mode 1	$4 \cdot M_{pl,rd} / m_x$	126,76	t
Mode 2	$(2 \cdot M_{pl,rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,anc}) / (m_x + n)$	62,10	
Mode 3	$\Sigma F_{t,rd}$	59,96	
Mode 1-2	$2 \cdot M_{pl,rd} / m_x$	63,38	
Résultat retenu		59,96	

Avec : Coefficient $n = \min(e_1 ; 1,25 \cdot m_x) :$ 58,50 mm

$$F_{t,anc} = 29,98 \text{ t}$$

$$F_{t,rd} = 29,98 \text{ t}$$

$$F_{t,ed} = 24,92 \text{ t}$$

$$\text{Mode de rupture : } 3$$

*traction résistante d'une tige

OK

OK, platine pas trop souple

3.4. Résistance à la pression diamétrale (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Il s'agit de vérifier que l'effort de butée exercé par les tiges est bien repris par la platine,
On vérifie donc que : $F_{v,ed} < F_{b,rd} = k_1 \cdot a_b \cdot f_{up} \cdot \phi \cdot t_p / \gamma_{M2}$

Avec :

Diamètre tiges :	$\phi =$	36,00	mm
Diamètre trou de passage des tiges :	$d_0 =$	39,00	mm
Epaisseur de la platine :	$t_p =$	44,00	mm
Résistance à la traction de la platine :	$f_{up} =$	360,00	Mpa
Résistance à la traction d'une tige :	$f_{ub} =$	500,00	Mpa
	$\gamma_{M2} =$	1,25	[-]
	$a_b =$	0,50	[-]

$$a_b = \min(1 ; f_{ub}/f_{up} ; e_1/(3 \cdot d_0)) :$$

$$k_1 = \min(2,5 ; (2,8 \cdot e_2/d_0) - 1,7 ; (1,4 \cdot p_2/d_0) - 1,7) :$$

	$k_1 =$	2,50	[-]
La résistance à la pression diamétrale :	$F_{b,rd} =$	58,13	t
	$F_{v,ed} =$	1,64	t

OK

3.5. Résistance au poinçonnement (selon tableau 3.4 de NF EN 1993-1-8)

Vérifier que : $F_{t,ed} < B_{p,rd} = 0,6 \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{up} / \gamma_{M2}$

Diamètre moyen de calcul (entre cercles inscrit et circonscrit de la tête de l'écrou) :

	$d_m =$	57,90	mm
Résistance au poinçonnement :	$B_{p,rd} =$	140,97	t
	$F_{t,ed} =$	24,92	t

OK

3.6. Vérification pieds de poteau vis-à-vis de la transmission de l'effort tranchant

(NF EN 1993-1-8 section 6.2.2)

Vérifier que : $F_{v,ed} < F_{vb,rd} = a_{bc} \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$

	$f_{yb} =$	400,00	Mpa
	$a_{bc} = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb} =$	0,32	[-]
	$A_s =$	817,00	mm ²
	$F_{vb,rd} =$	10,66	t
	$F_{v,ed} =$	1,64	t

OK

3.7. Vérification soudure du profilé sur la platine

(page 79 - Guide Cerema)

Aucune justification de soudure n'est nécessaire si on reconstitue la matière du profilé assemblé) c'est-à-dire :

cordon de george : $a > \max(5 \text{ mm} ; 0,5 \cdot t)$
Avec : $t = \max(t_{fc} ; t_{wc})$

Epaisseurs HEA :	$t_{fc} =$	12,50	mm
	$t_{wc} =$	7,50	mm
=>	$a_{min} =$	6,25	mm
	$a_{projet} =$	7,00	mm

OK

3. CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE – ZONE COURANTE SANS SOUBASSEMENT

JUSTIFICATION DES PIEUX

Valeur ELS du vent :	$q_{wm} = 0,162$	t/m ²
Valeur ELU du vent :	$q_{we} = 0,244$	t/m ²
Valeur ELS du souffle :	$q_{ss} = 0,082$	t/m ²
Valeur ELU du souffle :	$q_{su} = 0,122$	t/m ²
Pression totale ELS :	$q_{els} = 0,162$	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} = 0,244$	t/m ²

Souffle et vent non cumulés conformément au CCTP

DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX :

Le profilé est centré sur le pieu et la face avant du panneau est plaquée sur la face intérieure de la semelle avant du profilé. En fonction du profilé, le panneau peut donc être excentré par rapport au profilé.	Entraxe des poteaux d =	4,00	m	
	Inclinaison écran =	0,00%		
	soit $\alpha =$	0,00	°	(vers l'arrière)
	(	0,00	gr)	
	Poids écran $p_e =$	0,563	t/m ²	
	Décalage cdg écran p.r cdg profilé e =	0,100	m	(par rapport à l'axe des pieux)
	Poids couverture en tête =	0,000	t/ml	
Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids couverture =		0,000	t/ml	
	Poids poteau =	0,314	t	
Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids poteau =		0,000	t	

Pression totale ELS :	$q_{els} = 0,162$	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} = 0,244$	t/m ²
Poids lin. couverture ELS :	$Q_{els} = 0,000$	t/ml
Poids lin. couverture ELU :	$Q_{elu} = 0,000$	t/ml

Valeurs perpendiculaires à l'inclinaison

Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	verticalement
Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	selon l'inclinaison
Mu vent+souffle :	$q_{el} \times h^2 / 2 \times d =$	13,169	t.m
Mu poids écran :	$1,35 \times ABS (p_e \times \sin \alpha \times h^2 / 2 - p_e \times h \times \cos \alpha \times e) \times d =$	1,580	t.m
Mu couverture (à peu près centrée):	$Q_{el} \times h \times d =$	0,000	t.m
Mu poteau :	$Q_{el} \times h / 2 =$	0,000	t.m
Mu total en pied de poteau :		14,750	t.m
Type de poteau retenu :	HEA 240	(I/v) = 675,1	cm ³

diamètre des pieux = 0,700 m
 espacement ressorts = 0,500 m

Les pieux sont étudiés à l'aide d'un modèle à barres ROBOT.

Descente de charge en tête de pieux :

Géométrie du plot :
 largeur = 1,000 m (selon axe écran)
 profondeur = 1,000 m
 hauteur = 0,800 m

Poussée des terres

Hauteur de poussée = 0,000 m (enveloppe)
 $K_a = 0,000$
 Masse volumique remblais = 2,000 t/m³

$H_i = 0,000$ t
 $M_i = 0,000$ t.m

Poussée des surcharges

Surcharge = 0,000 t/m²
 $H_Q = 0,000$ t
 $M_Q = 0,000$ t.m

Effort vertical

En pied de poteau : 12,02 t
 Longrine : 0,00 t
 Plot : 2,00 t
 TOTAL $V_{ELS} = 14,02$ t dont 14,02 t sous CP
 TOTAL $V_{ELU} = 18,93$ t dont 18,93 t sous CP

Effort horizontal

$H1_{ELS} + H_i + 0,75 \times H_Q = 3,38$ t dont 0,00 t sous CP
 $H1_{ELU} + 1,35 H_i + 1,35 \times 0,75 \times H_Q = 5,07$ t dont 0,00 t sous CP

Moment

excentricité additionnelle = 0,10 m

$M_{ELS} = \frac{9,95}{M1_{ELS}} + H_{ELS} \times \text{hauteur plot} + V_{ELS} \times e + M_i + 0,75 M_Q = 14,05$ t.m dont 2,57 t.m sous CP
 et 11,48 t.m sous Q
 $M_{ELU} = \frac{14,75}{M1_{ELU}} + H_{ELU} \times \text{hauteur plot} + V_{ELU} \times e + 1,35 M_i + 1,35 \times 0,75 \times M_Q = 20,69$ t.m dont 3,47 t.m sous CP
 et 17,22 t.m sous Q

CALCUL DES RESSORTS DES PIEUX

diamètre de pieux = 0,700 m
 niveau tête de pieux = 0,000 m
 niveau pied de pieux = -5,000 m
 longueur de pieux = 5,000 m
 nature couche 1 = frottant (frottant ou cohérent pour minoration Kf près de la surface du sol)
 zc= 2,8 m
 profondeur tête de pieux après travaux = 0,00 m
 espacement des ressorts = 0,50 m
 profondeur du premier ressort = 0,25 m

SOL

Couche n°1

$E_M = 0,43$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 263$ t/m² (valeur court terme)

Couche n°2

$E_M = 3,05$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 1868$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -0,90 (vide si couche inexistante)

Couche n°3

$E_M = 15$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 9187$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -2,50 (vide si couche inexistante)

Couche n°4

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°5

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°6

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Profondeur ressort / tête de pieux	$0,5x(1+z/z_c)$	Sol N	Sol N+1	ki t/m ²	kv=ki/2 t/m ²
0,25	$0,545 \times ($	$0,50 \times 263 +$	$0,00 \times 1868) =$	72	36
0,75	$0,634 \times ($	$0,40 \times 263 +$	$0,10 \times 1868) =$	185	93
1,25	$0,723 \times ($	$0,50 \times 1868 +$	$0,00 \times 9187) =$	675	338
1,75	$0,813 \times ($	$0,50 \times 1868 +$	$0,00 \times 9187) =$	759	379
2,25	$0,902 \times ($	$0,50 \times 1868 +$	$0,00 \times 9187) =$	842	421
2,75	$0,991 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4552	2276
3,25	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297
3,75	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297
4,25	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297
4,75	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297

CALCUL DES PALIERS PLASTIQUES

Niveau tête de pieu 0,00 m
 Diamètre pieux 700 mm = 0,7 m
 Plateforme à l'avant du pieux 3,00 m

Pente du talus 3 / 2
 Niveau du point fictif = 2,23 p.r tête pieu
 5.B = 3,5 m
 Cote à partir de laquelle l'épaisseur de sol mis en butée est supérieur à 5.B = -0,3333333 p.r tête pieu

(les paramètres tiennent déjà compte de la crête de talus)

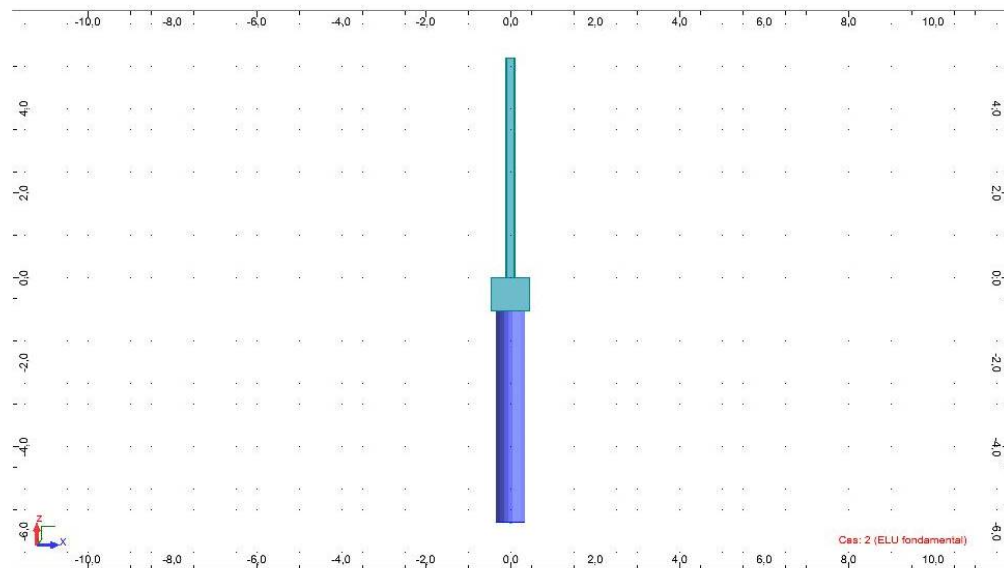
pf sol 1 = 0,013 MPa
 pf sol 2 = 0,096 MPa
 pf sol 3 = 0,55 MPa
 pf sol 4 = MPa
 pf sol 5 = MPa

Distance à tête de pieux (m)	Cote	pf (MPa)	coefficient crête de talus	Coefficient surface	Palier plastique (t)
0,25	-0,25	0,013	0,968	0,545	0,244
0,75	-0,75	0,0296	1,000	0,634	0,669
1,25	-1,25	0,096	1,000	0,723	2,477
1,75	-1,75	0,096	1,000	0,813	2,783
2,25	-2,25	0,096	1,000	0,902	3,089
2,75	-2,75	0,55	1,000	0,991	19,448
3,25	-3,25	0,55	1,000	1,000	19,623
3,75	-3,75	0,55	1,000	1,000	19,623
4,25	-4,25	0,55	1,000	1,000	19,623
4,75	-4,75	0,55	1,000	1,000	19,623

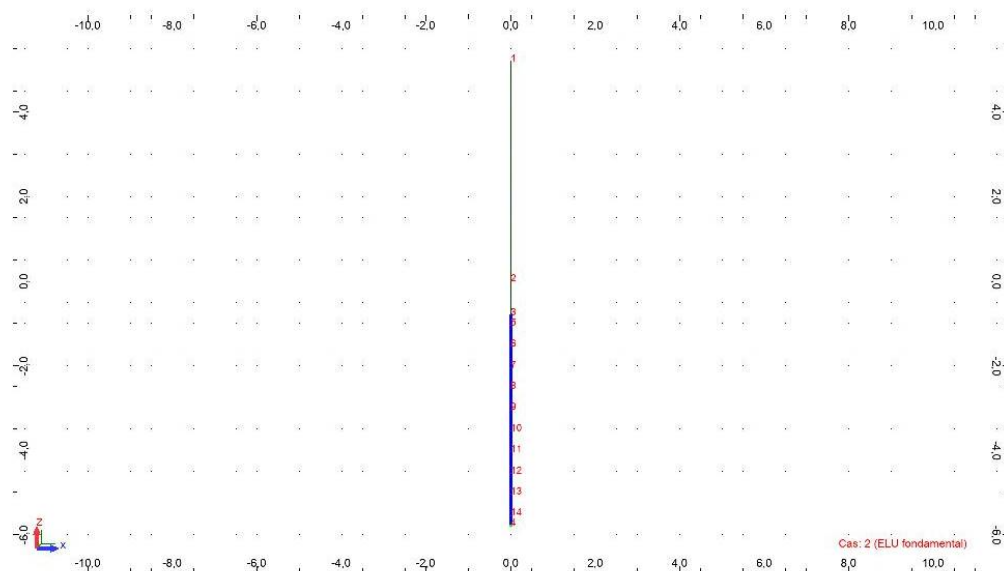
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental)



Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 1



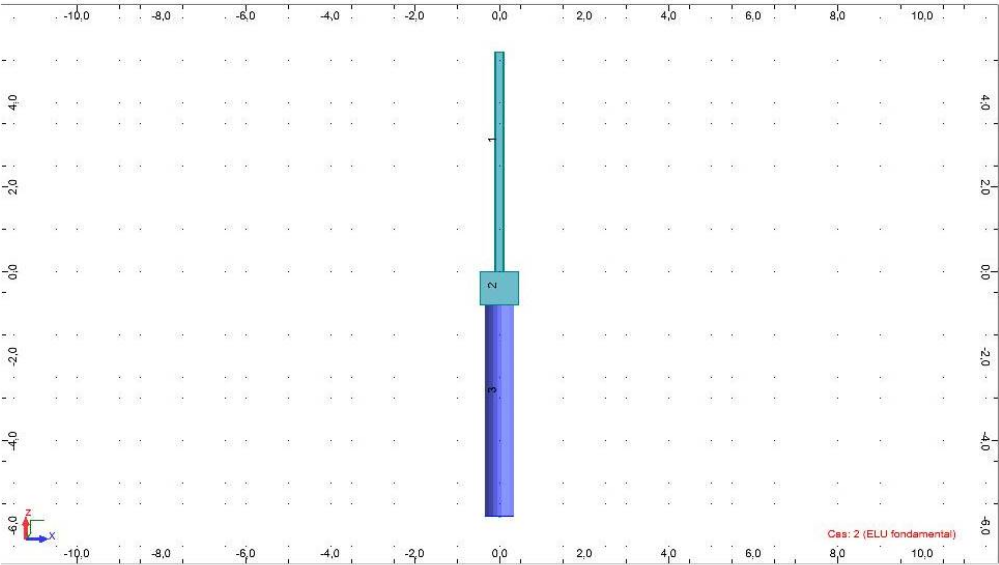
Date : 10/01/25

Page : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 2



Noeuds: Valeurs: 1

Noeud	X [m]	Z [m]	Code de l'appui	Appui
1	0,0	5,20		
2	0,0	0,0		
3	0,0	-0,80		
4	0,0	-5,80	lbl	Appui_1
5	0,0	-1,05	nll	Appui_2
6	0,0	-1,55	nll	Appui_3
7	0,0	-2,05	nll	Appui_4
8	0,0	-2,55	ell	Appui_5
9	0,0	-3,05	ell	Appui_6
10	0,0	-3,55	ell	Appui_7
11	0,0	-4,05	ell	Appui_8
12	0,0	-4,55	ell	Appui_9
13	0,0	-5,05	ell	Appui_10
14	0,0	-5,55	ell	Appui_11

Barres: Valeurs: 1

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Longueur [m]	Gamma [Deg]
1	1	2	HEA 240	ACIER	5,20	0,0
2	2	3	plot 90x90	BETON30EC	0,80	0,0
3	3	4	pieu 700	BETON20.8 EC	5,00	0,0

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

Adresse :

Fichier : **Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd**

Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Barre	Type de barre	Élément de construction
1	Aucun	Barre
2	Aucun	Barre
3	Aucun	Barre

Caractéristiques Barres: 1

	Nom de la section	Liste des barres	AX [cm2]	AY [cm2]	AZ [cm2]	IX [cm4]	IY [cm4]
	HEA 240	1	76,84	59,74	25,18	41,74	7763,18
	pieu 700	3	3848,45	3247,13	3247,13	2357176,24	1178588,12
	plot 90x90	2	8100,00	0,0	0,0	9223656,39	5467500,00

	IZ [cm4]
	2768,81
	1178588,12
	5467500,00

Appuis: Valeurs: 1

	Nom de l'appui	Liste de noeuds	Conditions d'appui
	Appui_1	4	UZ
	Appui_2	5	UX(Appui1)
	Appui_3	6	UX(Appui2)
	Appui_4	7	UX(Appui3)
	Appui_5	8	KX=7,410e+02 [T/m]
	Appui_6	9	KX=8,300e+02 [T/m]
	Appui_7	10	KX=4,210e+03 [T/m]
	Appui_8	11	KX=4,210e+03 [T/m]
	Appui_9	12	KX=4,210e+03 [T/m]
	Appui_10	13	KX=4,210e+03 [T/m]
	Appui_11	14	KX=4,210e+03 [T/m]

Date : 10/01/25

Page : 3

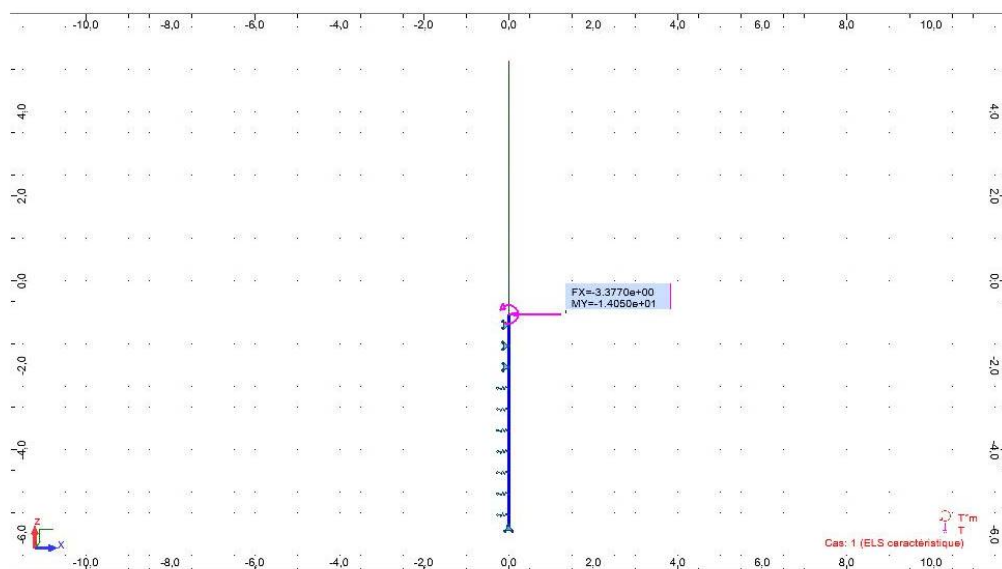
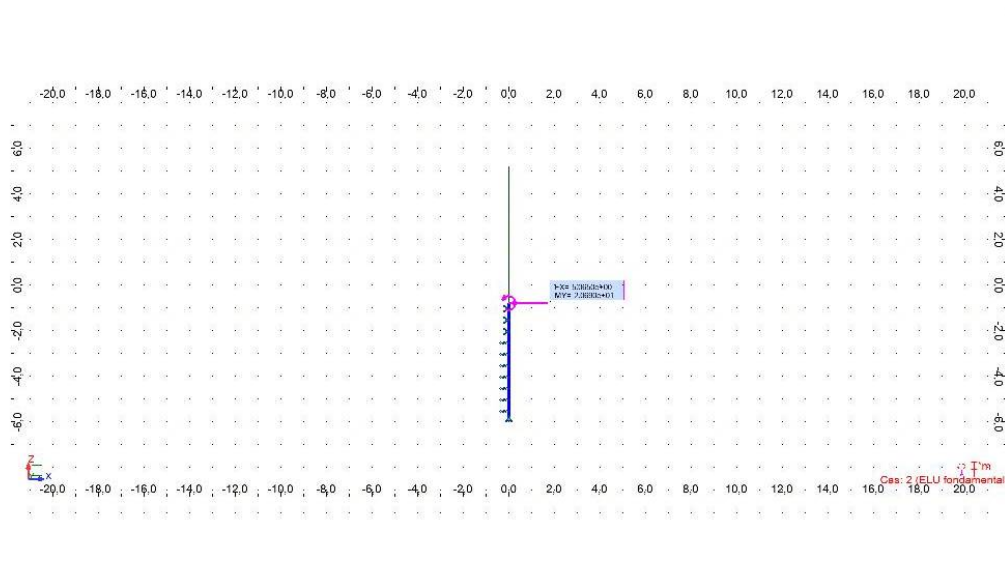
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd

Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Vue - Cas : 1 (ELS caractéristique)**Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 3**

Date : 10/01/25

Page : 4

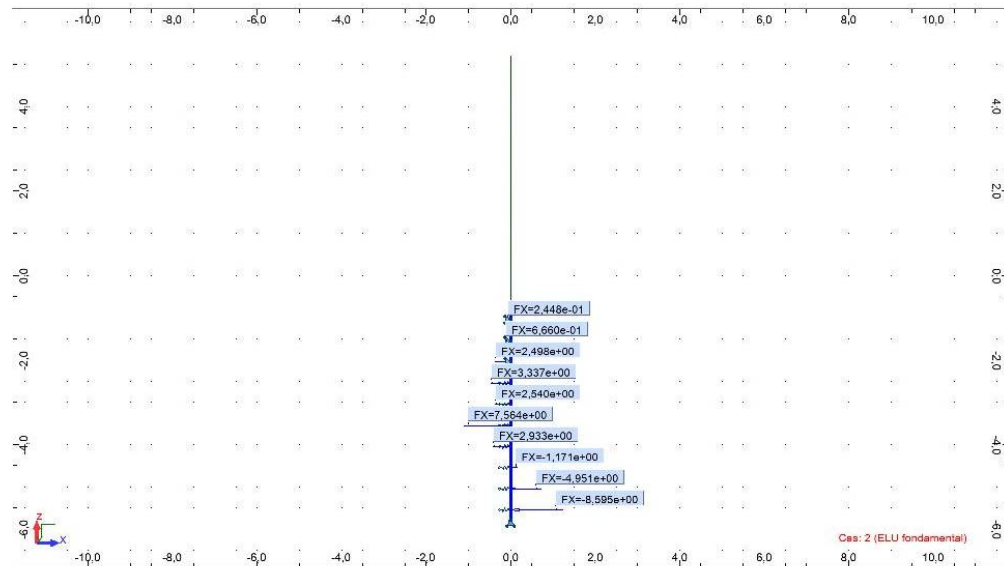
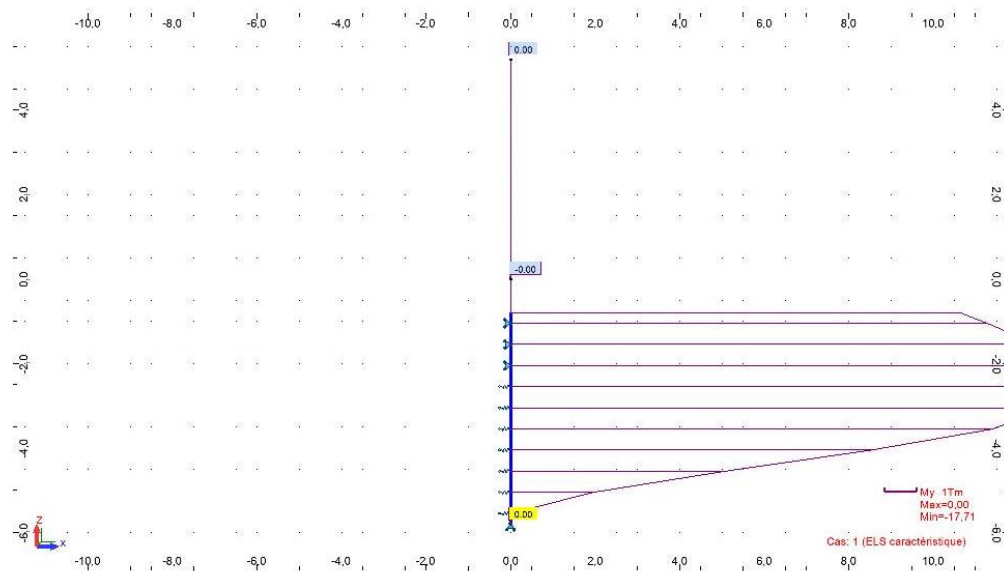
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd

Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Vue - Forces de réaction(T); Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - MY; Cas : 1 (ELS caractéristique)**

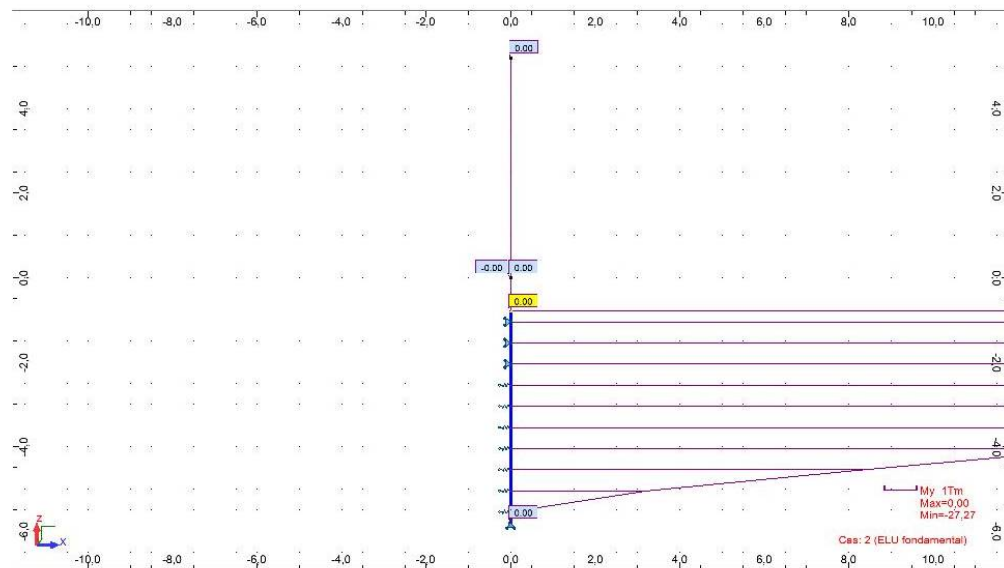
Date : 10/01/25

Page : 5

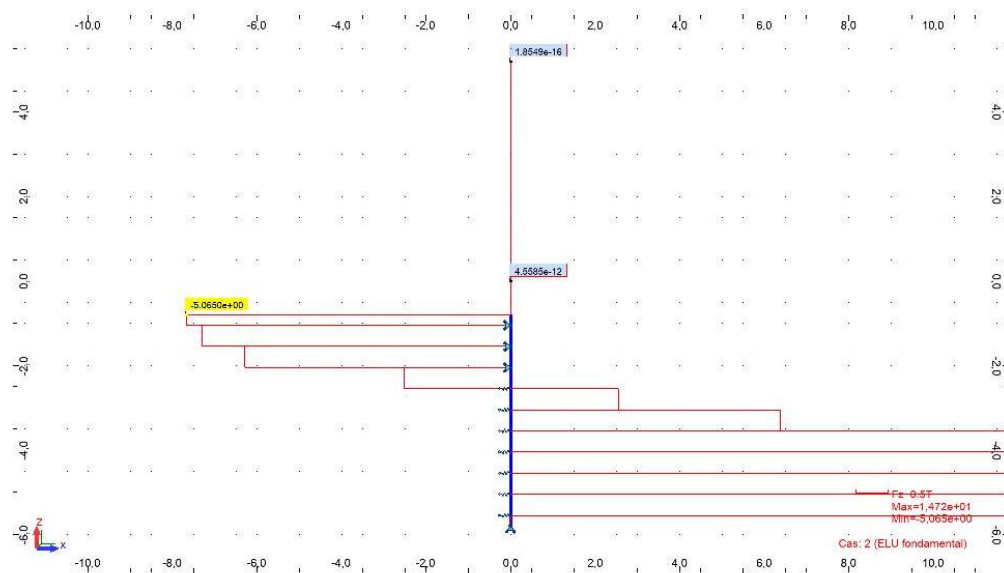
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Vue - MY; Cas : 2 (ELU fondamental)



Vue - FZ; Cas : 2 (ELU fondamental)



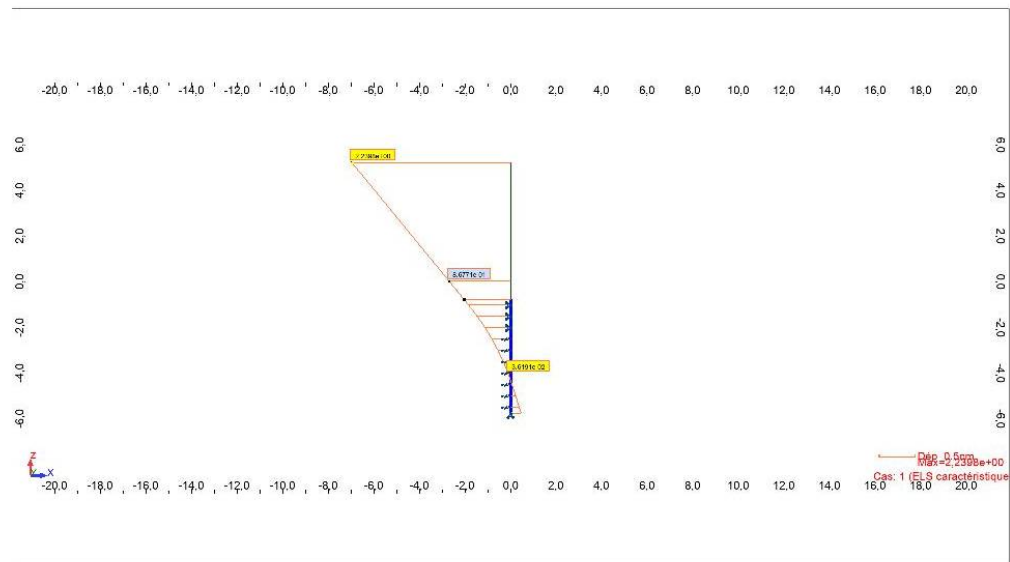
Date : 10/01/25

Page : 6

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
 Auteur :
 Adresse :

Fichier : **Ecrans 5.2m zone courante v2.rtd**
 Projet : Ecrans 5.2m zone courante v2

Vue - Déformée exacte; Cas : 1 (ELS caractéristique)



Date : 10/01/25

Page : 7

Résultats

Les résultats ROBOT sont donnés en annexe

Portance

Rmax_{ELS} = 14,02 t < 23,6 t OK
 Rmax_{ELU} = 18,93 t < 41,8 t OK

Armatures

(contrainte moyenne dans le béton à l'ELS = 0,36 MPa < 0,3 f_c = 6,66 MPa)

On a : Mmax_{ELS} = 17,7 t.m Nmax_{ELS} = 14,02 t
 Mmax_{ELU} = 24,3 t.m Nmax_{ELU} = 18,93 t
 Nmini_{ELS} = 12,8 t ((poids panneaux + poteaux) x 0,90 (enveloppe))
 Nmini_{ELU} = 12,8 t

On réalise un calcul enveloppe en considérant les moments maxi et les efforts normaux mini en flexion composée

On trouve As = 25 cm² ELS ELU On dispose 12 HA20 par exemple (cf page suivante)

Portance pieux selon NF P 94-262 - méthode du modèle de terrain												
longueur = 5 m			type pieu: FS									
φ = 0,7 m			classe: 1									
Ab = 0,385 m²			catégorie : 1									
Ps = 2,199 m												
Terme de pointe												
ple* = 1 MPa		qb = 1000 kPa										
kp = 1		Rb = 385 kN										
q0 = 0 MPa		Rb,k = 304 kN										
Frottement latéral												
d [m]	pl* [MPa]	type de sol	α _{pieu-sol} [-]	minoration α _{pieu-sol} [-]	courbe f _{sol} [-]	a [-]	b [-]	c [-]	f _{sol} [kPa]	q _{si} [kPa]	q _{si,max} [kPa]	Rs,i [kN]
0,90	0,00		0	0	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
1,60	0,176		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	12	7	50	25
2,50	1,00		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	49	29	50	161
0,00	0,00		1	1	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
5,00												
Rs = 186 kN		kN										
Rs,k = 147 kN		kN		en compression								
Rs,k = 121 kN		kN		en traction								
Calcul de la portance												
R _{c,k} = 451 kN		kN		valeur caractéristique de la portance en compression		R _{c,cr,k} = 255 kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en compression				
R _{t,k} = 121 kN		kN		valeur caractéristique de la portance en traction		R _{t,cr,k} = 85 kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en traction				
ELS-QP	compression	R _{c,cr,d} = 232	kN	ELU-F	compression	R _{t,cr,d} = 56 kN						
ELS-C	compression	R _{c,cr,d} = 283	kN	ELU-A	compression	R _{t,cr,d} = 77 kN						
ELU-F	compression	R _{c,d} = 410	kN	ELU-F	traction	R _{t,d} = 105 kN						
ELU-A	compression	R _{c,d} = 451	kN	ELU-A	traction	R _{t,d} = 115 kN						
ELU-S	compression	R _{c,d} = 410	kN	ELU-S	traction	R _{t,d} = 105 kN						

EFFORT TRANCHANT PIEUX

$\phi = 0,70 \text{ m}$
 diamètre mini aciers principaux : HA 20
 diamètre aciers cerces : HA 10
 enrobage = 7,0 cm
 $d = 0,606 \text{ m}$
 $f_{ck} = 22,2 \text{ MPa}$

 $f_{cd} = 14,8 \text{ MPa}$ ELU fondamentale
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$ ELU fondamentale

ELU fondamentale $V_{Ed} = 1 \times 14,70 = 14,70 \text{ t}$

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times v_1 \times f_{cd}$ (pour $\theta=45^\circ$ et $\alpha=90^\circ$)

$V_{Rd,max}$ pour une section circulaire

$V_{Rd,max} = 2,2 \times R^2 \times \alpha_{cw} \times n_1 \times f_{cd}$

$v_1 = 0,6$ (pour $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$ ou $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$)
 ELU $\alpha_{cw} = 1,00$

Soit $V_{Rd,max} = 2,41 \text{ MN}$ à l'ELU fondamentale
 $2,781 \text{ MN}$ à l'ELU sismique

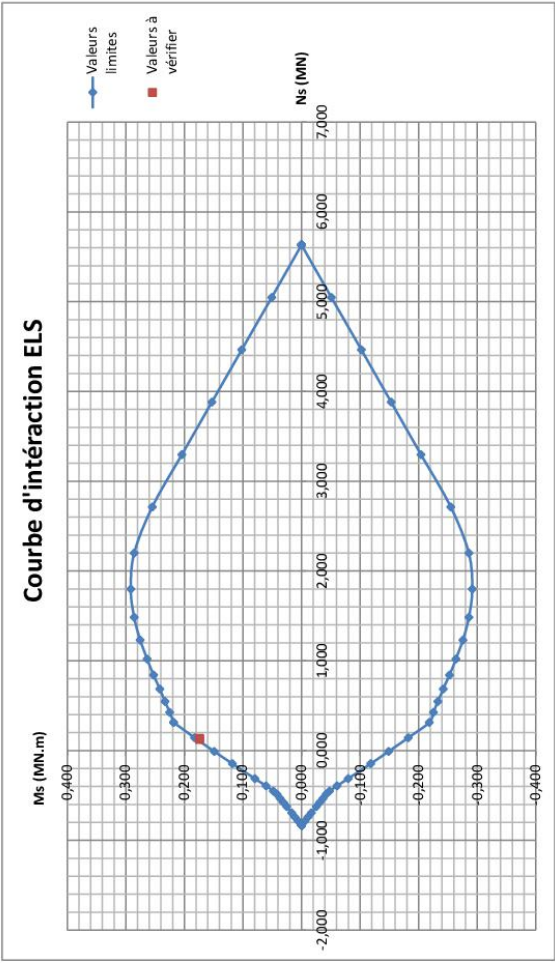
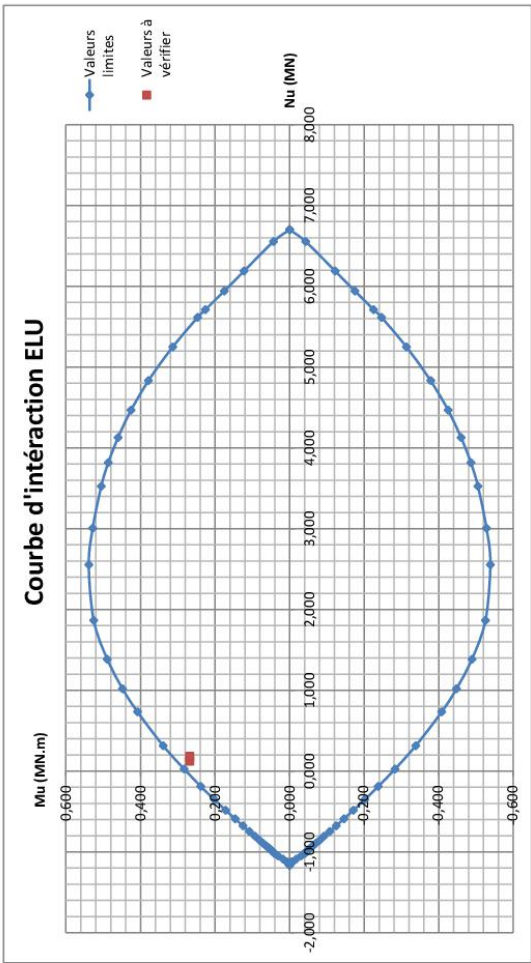
à l'ELU fondamentale $V_{Ed} = 14,70 \text{ t} < 245,7 \text{ t}$ OK

Calcul des aciers avec $\alpha = 90^\circ$ et $\theta = 45^\circ$

avec $Z = 1,57$ $R = 0,55 \text{ m}$
 et $b_w = 1,41$ $R = 0,49 \text{ m}$

A_{sw}/s	6,03 cm ² /m	$= V_{Ed} / (z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha))$
$A_{sw}/s \text{ max}$	50,45 cm ² /m	ne s'applique pas à l'ELA - $A_{sw}/s < b_w / f_{ywd} \cdot 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} / \sin(\alpha)$
$A_{sw}/s \text{ min}$	3,72 cm ² /m	$= b_w \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yk}$

On dispose des cerces HA 10 $e = 20$ (ou spires)
 (soit 7,85 cm²/ml)



Données :		V2.1	
Type de section :		Cercle (Cas C)	
(R) Largeur (m) :		0,7	
(R) Hauteur (m) :		0,6	
(C) Diamètre (m) :		22,22	
(R) d (m) :		500	
(R) d' (m) :		B	
(C) d (m) :		333	
f _{ex} (MPa) :		13,33	
f _{yk} (MPa) :		15	
Classe des aciers :		1,50	
σ _{s,lim} (MPa) :		1,15	
σ _{bc,lim} (MPa) :		25,00	
n :		0,65%	
γ _c :		OK	
γ _s :		OK	
(R) A _s bas (cm ²) :		OK	
(R) A _s haut (cm ²) :		OK	
(C) A _s totale (cm ²) :		OK	
Sollicitations ELU à vérifier :		Sollicitations ELS à vérifier :	
Mu (MN.m)	Nu (MN)	Ms (MN.m)	Ns (MN)
0,268	0,13	0,174	0,13
0,268	0,19	0,174	0,14

4. CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE- ZONE D'EXTREMITÉ SANS SOUBASSEMENT

JUSTIFICATION DES PIEUX

Valeur ELS du vent :	$q_{wm} = 0,210$	t/m ²
Valeur ELU du vent :	$q_{we} = 0,314$	t/m ²
Valeur ELS du souffle :	$q_{ss} = 0,082$	t/m ²
Valeur ELU du souffle :	$q_{su} = 0,122$	t/m ²
Pression totale ELS :	$q_{els} = 0,210$	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} = 0,314$	t/m ²

Souffle et vent non cumulés conformément au CCTP

DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX :

Le profilé est centré sur le pieu et la face avant du panneau est plaquée sur la face intérieure de la semelle avant du profilé. En fonction du profilé, le panneau peut donc être excentré par rapport au profilé.	Entraxe des poteaux d =	4,00	m
	Inclinaison écran =	0,00%	
	soit $\alpha =$	0,00	°
	(	0,00	gr)
			(vers l'arrière)
	Poids écran $p_e =$	0,563	t/m ²
	Décalage cdg écran p.r cdg profilé e =	0,100	m
	Poids couverture en tête =	0,000	t/ml
Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids couverture =		0,000	t/ml
	Poids poteau =	0,354	t
Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids poteau =		0,000	t

(par rapport à l'axe des pieux)

Pression totale ELS :	$q_{els} = 0,210$	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} = 0,314$	t/m ²
Poids lin. couverture ELS :	$Q_{els} = 0,000$	t/ml
Poids lin. couverture ELU :	$Q_{elu} = 0,000$	t/ml

Valeurs perpendiculaires à l'inclinaison

Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	verticalement
Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	selon l'inclinaison
Mu vent+souffle :	$q_{el} \times h^2 / 2 \times d =$	17,006	t.m
Mu poids écran :	$1,35 \times ABS (p_e \times \sin \alpha \times h^2 / 2 - p_e \times h \times \cos \alpha \times e) \times d =$	1,580	t.m
Mu couverture (à peu près centrée):	$Q_{el} \times h \times d =$	0,000	t.m
Mu poteau :	$Q_{el} \times h / 2 =$	0,000	t.m
Mu total en pied de poteau :		18,586	t.m
Type de poteau retenu :	HEA 260	(l/v) = 836,4	cm ³

diamètre des pieux = 0,700 m
 espacement ressorts = 0,500 m

Les pieux sont étudiés à l'aide d'un modèle à barres ROBOT.

Descente de charge en tête de pieux :

Géométrie du plot :
 largeur = 1,000 m (selon axe écran)
 profondeur = 1,000 m
 hauteur = 0,800 m

Poussée des terres

Hauteur de poussée = 0,000 m (enveloppe)
 $K_a = 0,000$
 Masse volumique remblais = 2,000 t/m³

$H_i = 0,000$ t
 $M_i = 0,000$ t.m

Poussée des surcharges

Surcharge = 0,000 t/m²
 $H_Q = 0,000$ t
 $M_Q = 0,000$ t.m

Effort vertical

En pied de poteau : 12,06 t
 Longrine : 0,00 t
 Plot : 2,00 t
 TOTAL $V_{ELS} = 14,06$ t dont 14,06 t sous CP
 TOTAL $V_{ELU} = 18,98$ t dont 18,98 t sous CP

Effort horizontal

$H1_{ELS} + H_i + 0,75 \times H_Q = 4,36$ t dont 0,00 t sous CP
 $H1_{ELU} + 1,35 H_i + 1,35 \times 0,75 \times H_Q = 6,54$ t dont 0,00 t sous CP

Moment

excentricité additionnelle = 0,10 m

$M_{ELS} = \frac{12,51}{M1_{ELS}} + H_{ELS} \times \text{hauteur plot} + V_{ELS} \times e + M_i + 0,75 M_Q = 17,40$ t.m dont 2,58 t.m sous CP
 et 14,83 t.m sous Q
 $M_{ELU} = \frac{18,59}{M1_{ELU}} + H_{ELU} \times \text{hauteur plot} + V_{ELU} \times e + 1,35 M_i + 1,35 \times 0,75 \times M_Q = 25,72$ t.m dont 3,48 t.m sous CP
 et 22,24 t.m sous Q

CALCUL DES RESSORTS DES PIEUX

diamètre de pieux = 0,700 m
 niveau tête de pieux = 0,000 m
 niveau pied de pieux = -5,000 m
 longueur de pieux = 5,000 m
 nature couche 1 = **frottant** (frottant ou cohérent pour minoration Kf près de la surface du sol)
 zc= 2,8 m
 profondeur tête de pieux après travaux = 0,00 m
 espacement des ressorts = 0,50 m
 profondeur du premier ressort = 0,25 m

SOL

Couche n°1

$E_M = 0,43$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 263$ t/m² (valeur court terme)

Couche n°2

$E_M = 3,05$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 1868$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -0,90 (vide si couche inexistante)

Couche n°3

$E_M = 15$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 9187$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -2,50 (vide si couche inexistante)

Couche n°4

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°5

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°6

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Profondeur ressort / tête de pieux	$0,5x(1+z/z_c)$	Sol N	Sol N+1	ki t/m ²	kv=ki/2 t/m ²
0,25	$0,545 \times ($	$0,50 \times 263 +$	$0,00 \times 1868) =$	72	36
0,75	$0,634 \times ($	$0,40 \times 263 +$	$0,10 \times 1868) =$	185	93
1,25	$0,723 \times ($	$0,50 \times 1868 +$	$0,00 \times 9187) =$	675	338
1,75	$0,813 \times ($	$0,50 \times 1868 +$	$0,00 \times 9187) =$	759	379
2,25	$0,902 \times ($	$0,50 \times 1868 +$	$0,00 \times 9187) =$	842	421
2,75	$0,991 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4552	2276
3,25	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297
3,75	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297
4,25	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297
4,75	$1,000 \times ($	$0,50 \times 9187 +$	$0,00 \times 0) =$	4593	2297

CALCUL DES PALIERS PLASTIQUES

Niveau tête de pieu 0,00 m
 Diamètre pieux 700 mm = 0,7 m
 Plateforme à l'avant du pieux 3,00 m

Pente du talus 3 / 2
 Niveau du point fictif = 2,23 p.r tête pieu
 5.B = 3,5 m
 Cote à partir de laquelle l'épaisseur de sol mis en butée est supérieur à 5.B
 = -0,3333333 p.r tête pieu

(les paramètres tiennent déjà compte de la crête de talus)

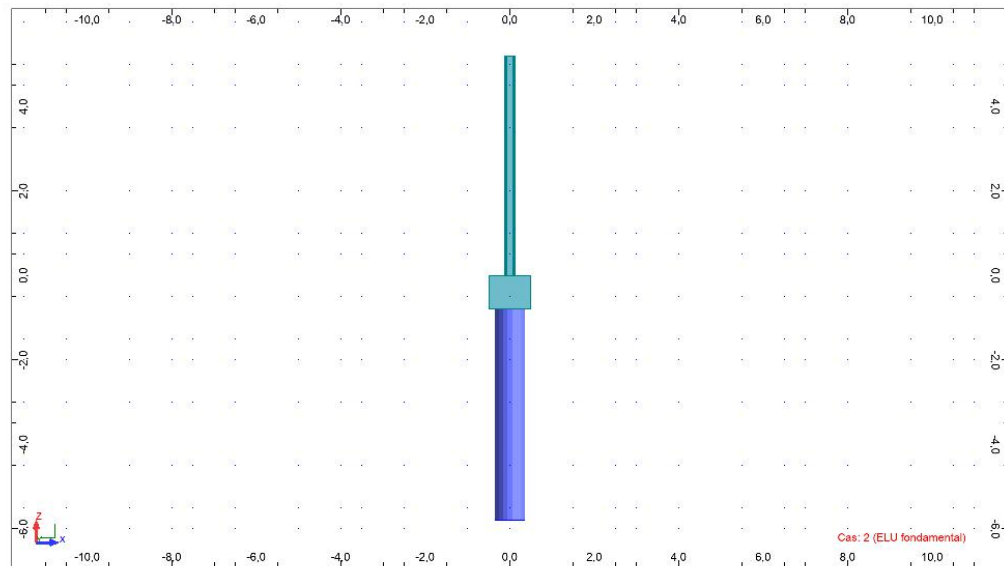
pf sol 1 = 0,013 MPa
 pf sol 2 = 0,096 MPa
 pf sol 3 = 0,55 MPa
 pf sol 4 = MPa
 pf sol 5 = MPa

Distance à tête de pieux (m)	Cote	pf (MPa)	coefficient crête de talus	Coefficient surface	Palier plastique (t)
0,25	-0,25	0,013	0,968	0,545	0,244
0,75	-0,75	0,0296	1,000	0,634	0,669
1,25	-1,25	0,096	1,000	0,723	2,477
1,75	-1,75	0,096	1,000	0,813	2,783
2,25	-2,25	0,096	1,000	0,902	3,089
2,75	-2,75	0,55	1,000	0,991	19,448
3,25	-3,25	0,55	1,000	1,000	19,623
3,75	-3,75	0,55	1,000	1,000	19,623
4,25	-4,25	0,55	1,000	1,000	19,623
4,75	-4,75	0,55	1,000	1,000	19,623

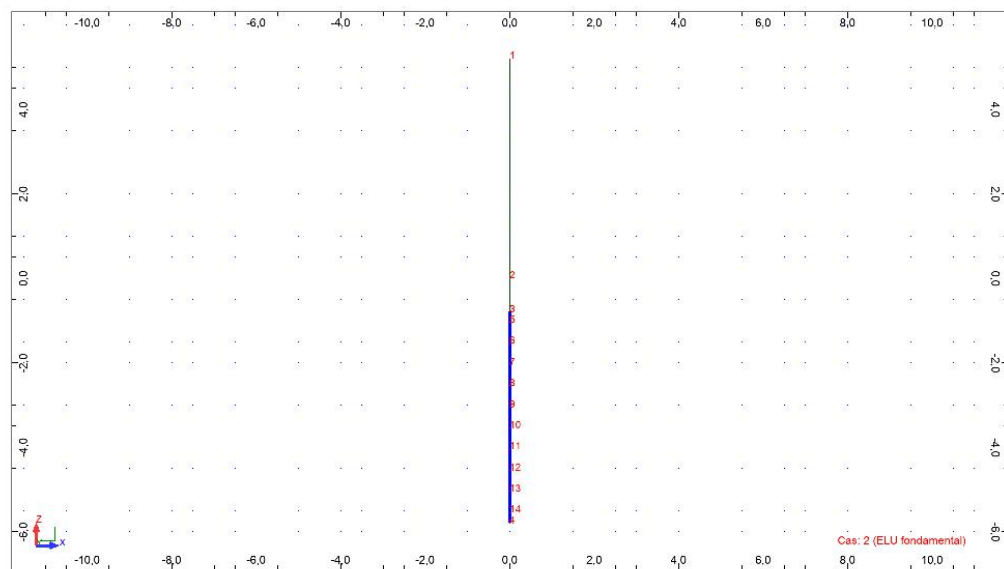
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental)



Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 1



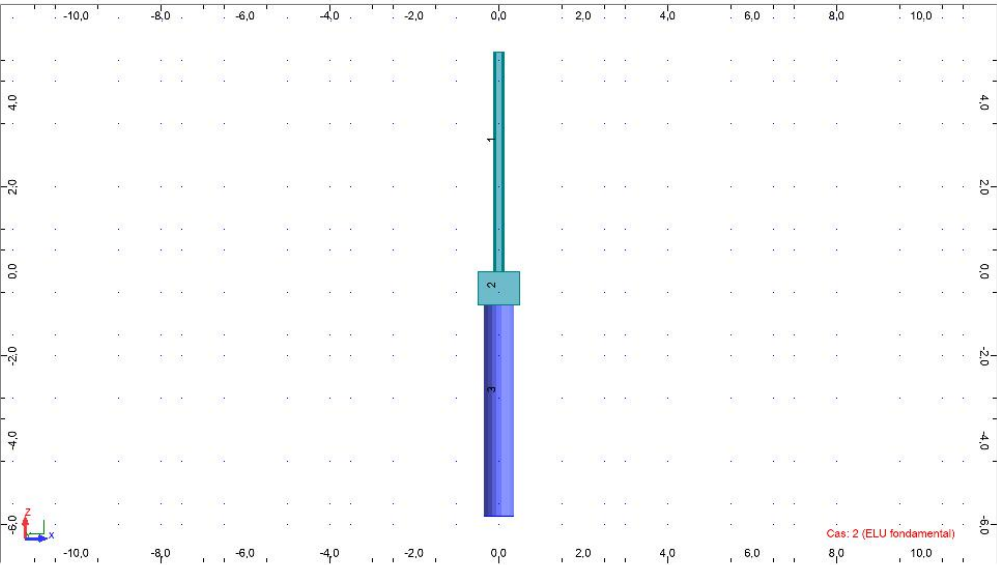
Date : 13/12/24

Page : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 2



Noeuds: Valeurs: 1

Noeud	X [m]	Z [m]	Code de l'appui	Appui
1	0,0	5,20		
2	0,0	0,0		
3	0,0	-0,80		
4	0,0	-5,80	lbi	Appui_1
5	0,0	-1,05	nll	Appui_2
6	0,0	-1,55	nll	Appui_3
7	0,0	-2,05	nll	Appui_4
8	0,0	-2,55	nll	Appui_5
9	0,0	-3,05	nll	Appui_6
10	0,0	-3,55	ell	Appui_7
11	0,0	-4,05	ell	Appui_8
12	0,0	-4,55	ell	Appui_9
13	0,0	-5,05	ell	Appui_10
14	0,0	-5,55	ell	Appui_11

Barres: Valeurs: 1

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Longueur [m]	Gamma [Deg]
1	1	2	HEA 240	ACIER	5,20	0,0
2	2	3	plot 100x100	BETON30EC	0,80	0,0
3	3	4	pieu 700	BETON20.8 EC	5,00	0,0

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
 Auteur :
 Adresse :

Fichier : **Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd**
 Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Barre	Type de barre	Élément de construction
1	Aucun	Barre
2	Aucun	Barre
3	Aucun	Barre

Caractéristiques: Barres: 1

	Nom de la section	Liste des barres	AX [cm2]	AY [cm2]	AZ [cm2]	IX [cm4]	IY [cm4]
	HEA 240	1	76,84	59,74	25,18	41,74	7763,18
	pieu 700	3	3848,45	3247,13	3247,13	2357176,24	1178588,12
	plot 100x100	2	10000,00	8333,33	8333,33	14058308,78	8333333,33

	IZ [cm4]
	2768,81
	1178588,12
	8333333,33

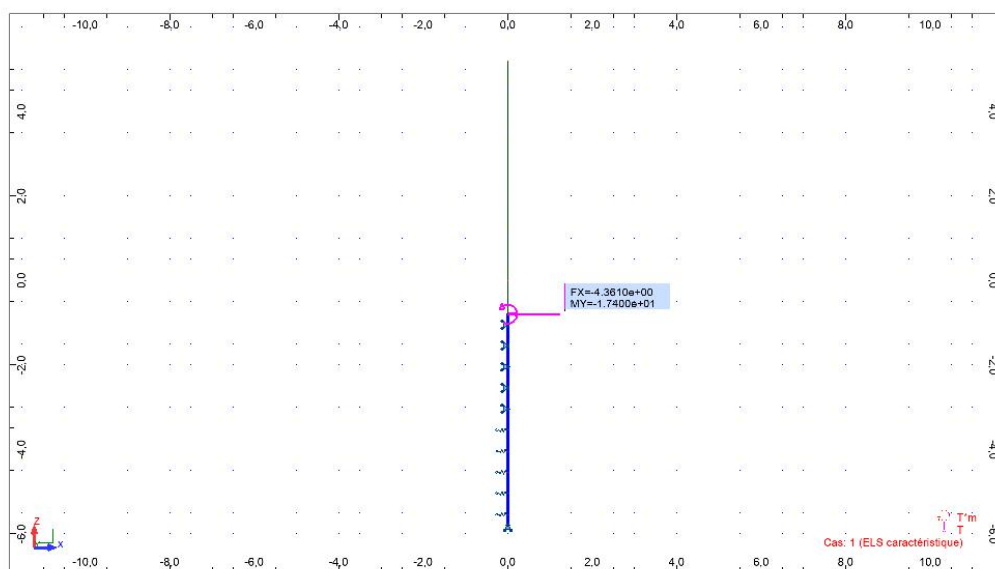
Appuis: Valeurs: 1

	Nom de l'appui	Liste de noeuds	Conditions d'appui
	Appui_1	4	UZ
	Appui_2	5	UX(Appui1)
	Appui_3	6	UX(Appui2)
	Appui_4	7	UX(Appui3)
	Appui_5	8	UX(Appui4)
	Appui_6	9	UX(Appui5)
	Appui_7	10	KX=4,552e+03 [T/m]
	Appui_8	11	KX=4,593e+03 [T/m]
	Appui_9	12	KX=4,593e+03 [T/m]
	Appui_10	13	KX=4,593e+03 [T/m]
	Appui_11	14	KX=4,593e+03 [T/m]

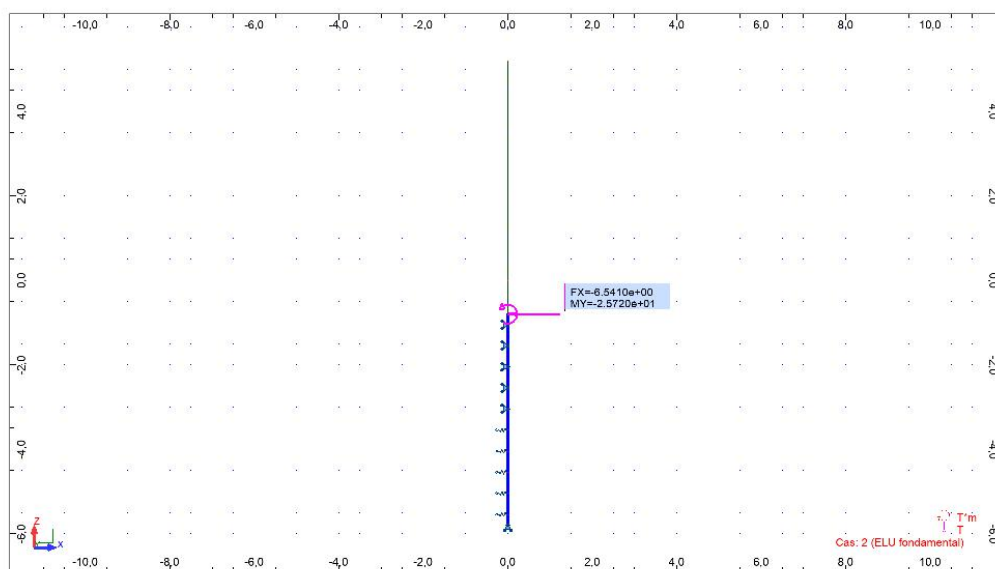
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Vue - Cas : 1 (ELS caractéristique)



Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 3



Date : 13/12/24

Page : 4

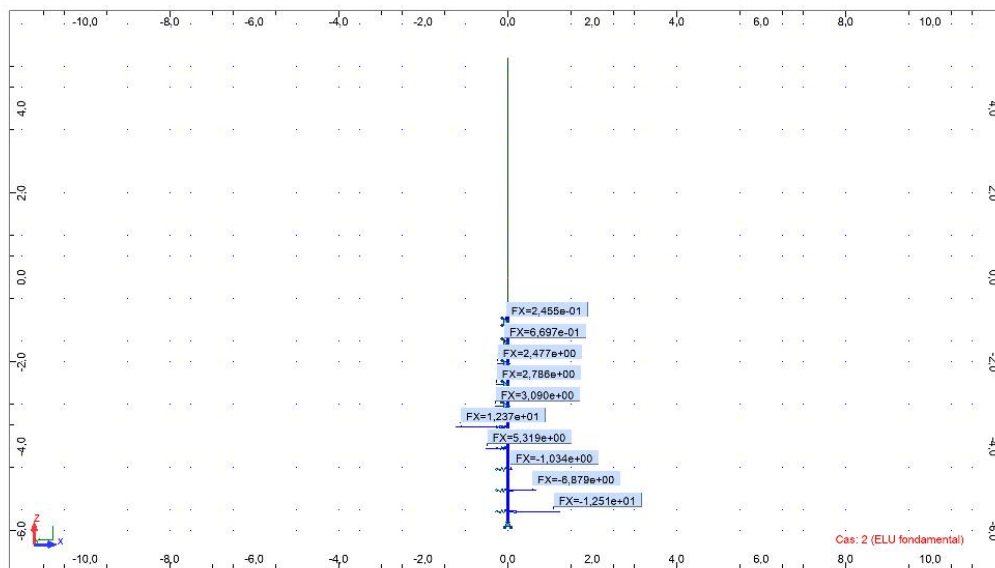
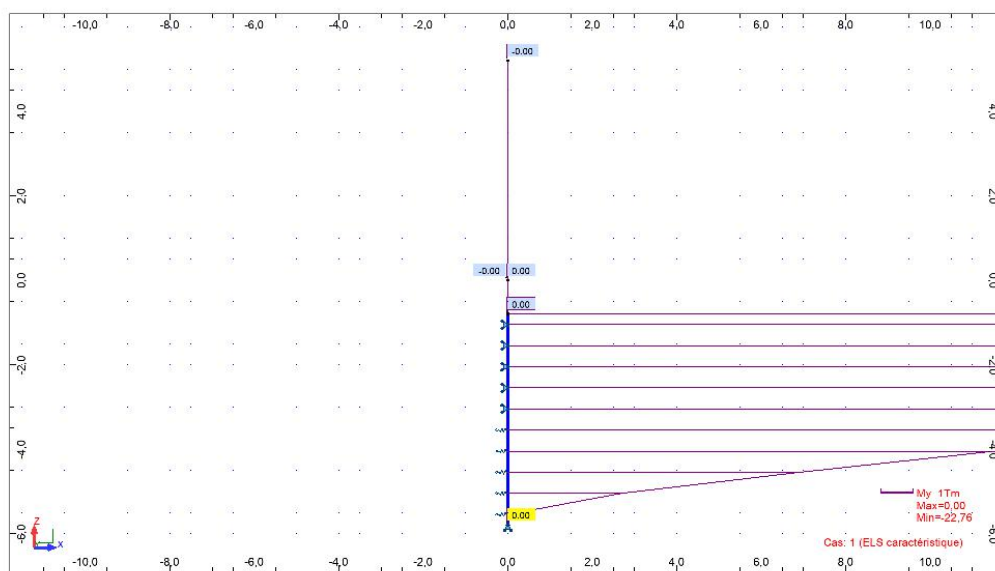
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd

Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Vue - Forces de réaction(T); Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - MY; Cas : 1 (ELS caractéristique)**

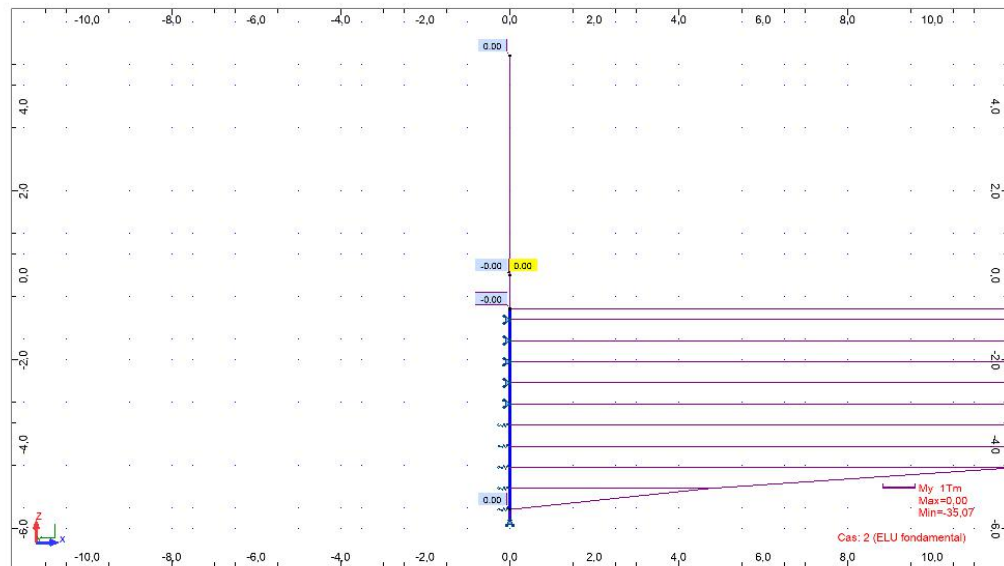
Date : 13/12/24

Page : 5

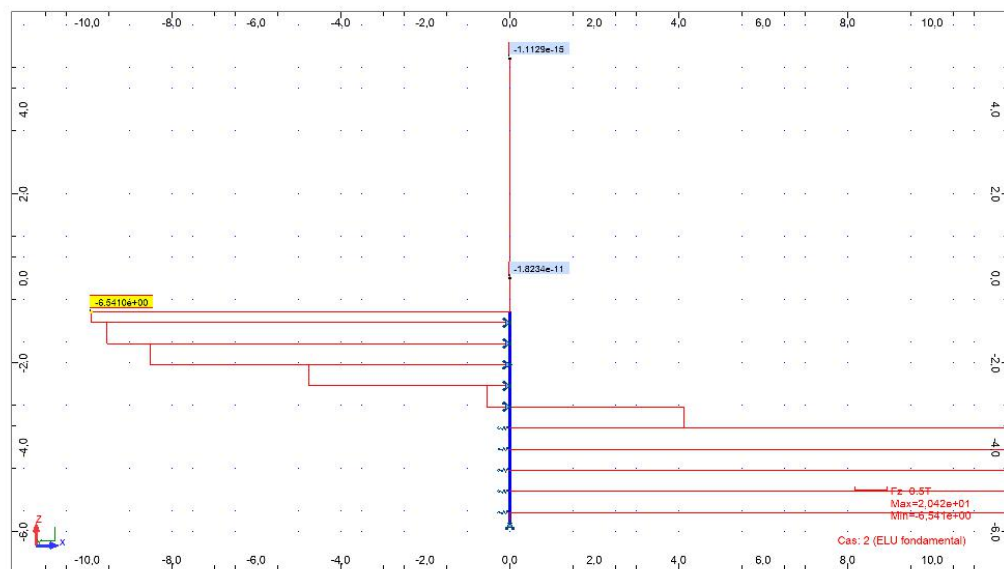
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Vue - MY; Cas : 2 (ELU fondamental)



Vue - FZ; Cas : 2 (ELU fondamental)



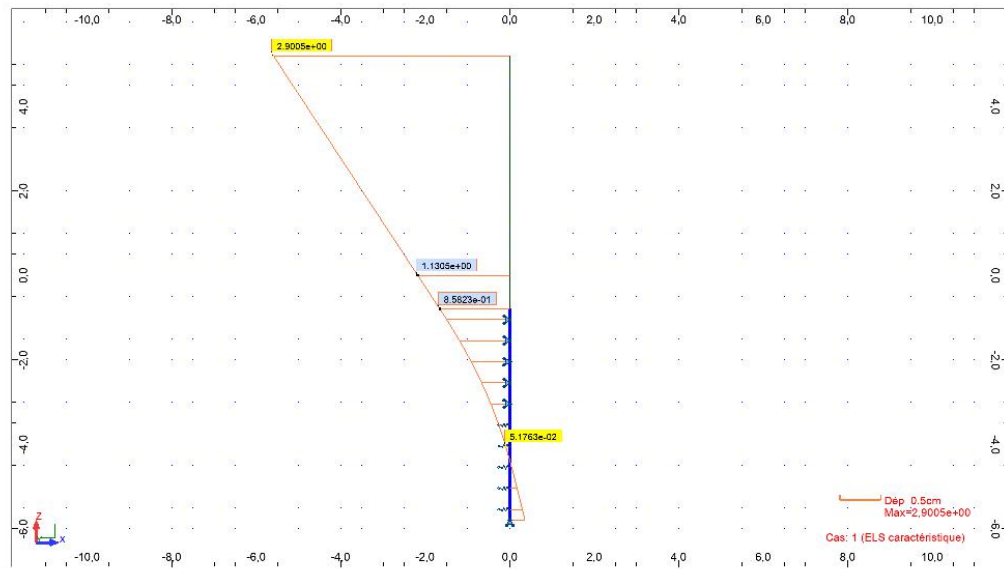
Date : 13/12/24

Page : 6

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone extrémité.rtd
Projet : Ecrans 5.2m zone extrémité

Vue - Déformée exacte; Cas : 1 (ELS caractéristique)



Résultats

Les résultats ROBOT sont donnés en annexe

Portance

Rmax_{ELS} = 14,06 t < 23,6 t OK
 Rmax_{ELU} = 18,98 t < 41,8 t OK

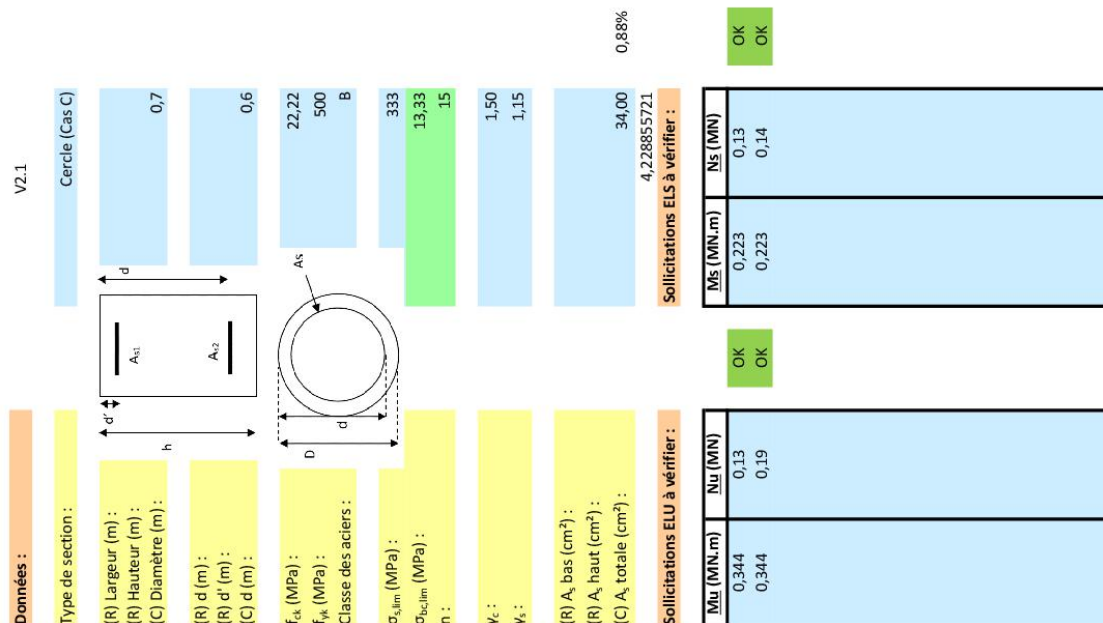
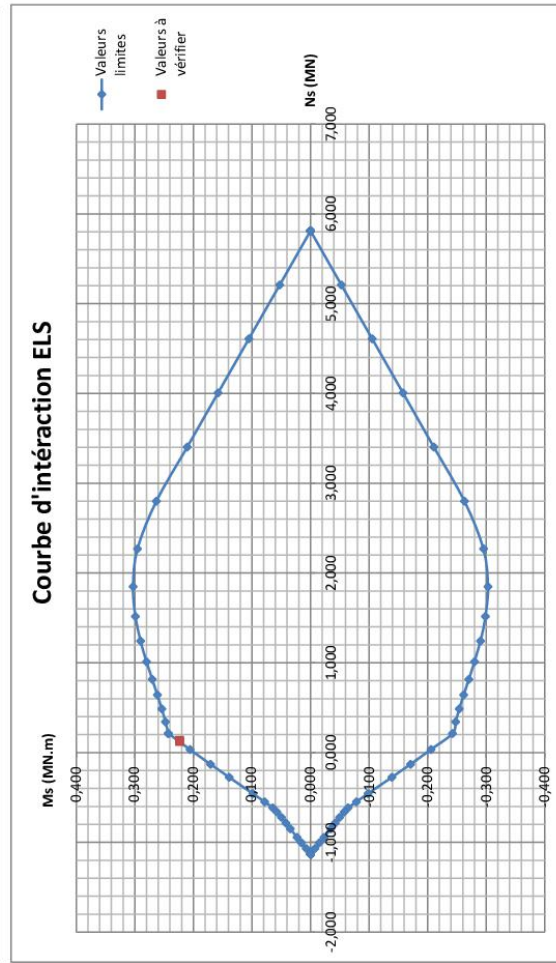
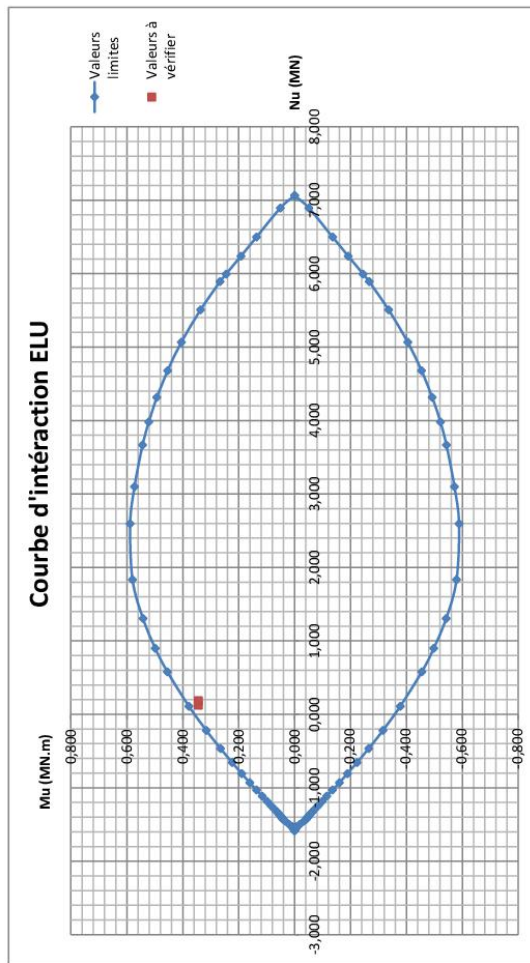
Armatures

(contrainte moyenne dans le béton à l'ELS = 0,36 MPa < 0,3 f_c = 6,66 MPa)

On a : Mmax_{ELS} = 22,8 t.m Nmax_{ELS} = 14,06 t
 Mmax_{ELU} = 35,1 t.m Nmax_{ELU} = 18,98 t
 Nmini_{ELS} = 12,9 t ((poids panneaux + poteaux) x 0,90 (enveloppe))
 Nmini_{ELU} = 12,9 t

On réalise un calcul enveloppe en considérant les moments maxi et les efforts normaux mini en flexion composée

On trouve As = 34 cm² ELS ELU On dispose 12 HA20 par exemple (cf page suivante)



Portance pieux selon NF P 94-262 - méthode du modèle de terrain												
longueur = 5 m			type pieu: FS									
φ = 0,7 m			classe: 1									
Ab = 0,385 m²			catégorie : 1									
Ps = 2,199 m												
Terme de pointe												
ple* = 1 MPa		qb = 1000 kPa										
kp = 1		Rb = 385 kN										
q0 = 0 MPa		Rb,k = 304 kN										
Frottement latéral												
d	pl*	type de sol	α _{pieu-sol}	minoration α _{pieu-sol}	courbe f _{sol}	a	b	c	f _{sol}	q _{si}	q _{si,max}	R _{s,i}
[m]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kN]
0,90	0,00		0	0	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
1,60	0,176		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	12	7	50	25
2,50	1,00		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	49	29	50	161
0,00	0,00		1	1	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
5,00												
Rs = 186		kN										
Rs,k = 147		kN		en compression								
Rs,k = 121		kN		en traction								
Calcul de la portance												
R _{c,k} = 451		kN		valeur caractéristique de la portance en compression		R _{c,cr,k} = 255		kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en compression		
R _{t,k} = 121		kN		valeur caractéristique de la portance en traction		R _{t,cr,k} = 85		kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en traction		
ELS-QP	compression	R _{c,cr,d} = 232	kN	ELU-F	compression	R _{t,cr,d} = 56	kN					
ELS-C	compression	R _{c,cr,d} = 283	kN	ELU-A	compression	R _{t,cr,d} = 77	kN					
ELU-F	compression	R _{c,d} = 410	kN	ELU-F	traction	R _{t,d} = 105	kN					
ELU-A	compression	R _{c,d} = 451	kN	ELU-A	traction	R _{t,d} = 115	kN					
ELU-S	compression	R _{c,d} = 410	kN	ELU-S	traction	R _{t,d} = 105	kN					

EFFORT TRANCHANT PIEUX

$\phi = 0,70 \text{ m}$
 diamètre mini aciers principaux : HA 20
 diamètre aciers cerces : HA 10
 enrobage = 7,0 cm
 $d = 0,606 \text{ m}$
 $f_{ck} = 22,2 \text{ MPa}$

 $f_{cd} = 14,8 \text{ MPa}$ ELU fondamentale
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$ ELU fondamentale

ELU fondamental $V_{Ed} = 1 \times 20,60 = 20,60 \text{ t}$

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times v_1 \times f_{cd}$ (pour $\theta=45^\circ$ et $\alpha=90^\circ$)

$V_{Rd,max}$ pour une section circulaire

$V_{Rd,max} = 2,2 \times R^2 \times \alpha_{cw} \times n_1 \times f_{cd}$

$v_1 = 0,6$ (pour $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$ ou $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$)
 ELU $\alpha_{cw} = 1,00$

Soit $V_{Rd,max} = 2,41 \text{ MN}$ à l'ELU fondamentale
 $2,781 \text{ MN}$ à l'ELU sismique

à l'ELU fondamentale $V_{Ed} = 20,60 \text{ t} < 245,7 \text{ t}$ OK

Calcul des aciers avec $\alpha = 90^\circ$ et $\theta = 45^\circ$

avec $Z = 1,57$ R = 0,55 m
 et $b_w = 1,41$ R = 0,49 m

A_{sw}/s	8,45 cm ² /m	$= V_{Ed} / (z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha))$
$A_{sw}/s \text{ max}$	50,45 cm ² /m	ne s'applique pas à l'ELA - $A_{sw}/s < b_w / f_{ywd} \cdot 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} / \sin(\alpha)$
$A_{sw}/s \text{ min}$	3,72 cm ² /m	$= b_w \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yk}$

On dispose des cerces HA 10 e = 15 (ou spires)
 (soit 10,47 cm²/ml)

5. CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE – ZONE AVEC SOUBASSEMENT SANS GBA

On réalise un premier calcul sans choc de GBA. Des pieux D700 l=5m serait suffisant. Au chapitre suivant, on constate néanmoins que des pieux D800 l=6.5m sont nécessaire pour reprendre le choc sur GBA.

JUSTIFICATION DES PIEUX

Valeur ELS du vent :	$q_{wm} = 0,115$	t/m ²
Valeur ELU du vent :	$q_{we} = 0,172$	t/m ²
Valeur ELS du souffle :	$q_{ss} = 0,082$	t/m ²
Valeur ELU du souffle :	$q_{se} = 0,122$	t/m ²
Pression totale ELS :	$q_{als} = 0,115$	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} = 0,172$	t/m ²

Souffle et vent non cumulés conformément au CCTP

DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX :

Le profilé est centré sur le pieu et la face avant du panneau est plaquée sur la face intérieure de la semelle avant du profilé.

En fonction du profilé, le panneau peut donc être excentré par rapport au profilé.

Entraxe des poteaux d = 4,00 m

Inclinaison écran = 0,00%

soit $\alpha = 0,00^\circ$

(0,00 gr)

(vers l'arrière)

Poids écran $p_e = 0,563$ t/m²

Décalage cdg écran p.r cdg profilé e = 0,100 m

Poids couverture en tête = 0,000 t/ml

Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids couverture = 0,000 t/ml

Poids poteau = 0,314 t

Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids poteau = 0,000 t

(par rapport à l'axe des pieux)

Pression totale ELS :	$q_{els} = 0,115$	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} = 0,172$	t/m ²

Poids lin. couverture ELS :	$Q_{els} = 0,000$	t/ml
Poids lin. couverture ELU :	$Q_{elu} = 0,000$	t/ml

Valeurs perpendiculaires à l'inclinaison

Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	verticalement
Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	selon l'inclinaison
Mu vent+souffle :	$q_{elu} \times h^2 / 2 \times d =$	9,308	t.m
Mu poids écran :	$1,35 \times ABS (p_e \times \sin \alpha \times h^2 / 2 - p_e \times h \times \cos \alpha \times e) \times d =$	1,580	t.m
Mu couverture (à peu près centrée):	$Q_{elu} \times h \times d =$	0,000	t.m
Mu poteau :	$Q_{elu} \times h / 2 =$	0,000	t.m
Mu total en pied de poteau :	10,888	t.m	
Type de poteau retenu :	HEA 240	(l/v) = 675,1	cm ³

diamètre des pieux = 0,700 m
 espacement ressorts = 0,500 m

Les pieux sont étudiés à l'aide d'un modèle à barres ROBOT.

Descente de charge en tête de pieux :

Géométrie du plot :
 largeur = 1,000 m (selon axe écran)
 profondeur = 1,000 m
 hauteur = 1,600 m

Poussée des terres

Hauteur de poussée = 1,600 m (enveloppe)
 $K_a = 0,333$
 Masse volumique remblais = 2,000 t/m³

$H_i = 3,410$ t
 $M_i = 1,819$ t.m

Poussée des surcharges

Surcharge = 1,000 t/m²
 $H_Q = 2,131$ t
 $M_Q = 1,705$ t.m

Effort vertical

En pied de poteau : 12,02 t
 Longrine : 0,00 t
 Plot : 4,00 t
 TOTAL $V_{ELS} = 16,02$ t dont 16,02 t sous CP
 TOTAL $V_{ELU} = 21,63$ t dont 21,63 t sous CP

Effort horizontal

$H1_{ELS} + H_i + 0,75 \times H_Q = 7,39$ t dont 3,41 t sous CP
 $H1_{ELU} + 1,35 H_i + 1,35 \times 0,75 \times H_Q = 10,34$ t dont 4,60 t sous CP

Moment

excentricité additionnelle = 0,10 m

$M_{ELS} = \frac{7,39}{M1_{ELS}} + H_{ELS} \times \text{hauteur plot} + V_{ELS} \times e + M_i + 0,75 M_Q = 15,89$ t.m dont 4,59 t.m sous CP
 et 11,30 t.m sous Q
 $M_{ELU} = \frac{10,34}{M1_{ELU}} + H_{ELU} \times \text{hauteur plot} + V_{ELU} \times e + 1,35 M_i + 1,35 \times 0,75 \times M_Q = 22,96$ t.m dont 6,20 t.m sous CP
 et 16,76 t.m sous Q

CALCUL DES RESSORTS DES PIEUX

diamètre de pieux = 0,700 m
 niveau tête de pieux = 0,000 m
 niveau pied de pieux = -5,000 m
 longueur de pieux = 5,000 m
 nature couche 1 = **frottant** (frottant ou cohérent pour minoration K_f près de la surface du sol)
 $z_c =$ 2,8 m
 profondeur tête de pieux après travaux = 0,00 m
 espacement des ressorts = 0,50 m
 profondeur du premier ressort = 0,25 m

SOL

Couche n°1

$E_M =$ 0,43 MPa
 $\alpha =$ 0,333
 $K_f =$ 263 t/m² (valeur court terme)

Couche n°2

$E_M =$ 3,05 MPa
 $\alpha =$ 0,333
 $K_f =$ 1868 t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -0,90 (vide si couche inexistante)

Couche n°3

$E_M =$ 15 MPa
 $\alpha =$ 0,333
 $K_f =$ 9187 t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -2,50 (vide si couche inexistante)

Couche n°4

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f =$ 0 t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°5

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f =$ 0 t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°6

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f =$ 0 t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Profondeur ressort / tête de pieux	0,5x(1+z/zc)	Sol N	Sol N+1	ki t/m²	kv=ki/2 t/m²
0,25	0,545 x (	0,50 x	263 + 0,00 x	1868) =	72 36
0,75	0,634 x (	0,40 x	263 + 0,10 x	1868) =	185 93
1,25	0,723 x (	0,50 x	1868 + 0,00 x	9187) =	675 338
1,75	0,813 x (	0,50 x	1868 + 0,00 x	9187) =	759 379
2,25	0,902 x (	0,50 x	1868 + 0,00 x	9187) =	842 421
2,75	0,991 x (	0,50 x	9187 + 0,00 x	0) =	4552 2276
3,25	1,000 x (	0,50 x	9187 + 0,00 x	0) =	4593 2297
3,75	1,000 x (	0,50 x	9187 + 0,00 x	0) =	4593 2297
4,25	1,000 x (	0,50 x	9187 + 0,00 x	0) =	4593 2297
4,75	1,000 x (	0,50 x	9187 + 0,00 x	0) =	4593 2297
-	-	x (##### x	#VALEUR! + ##### x	#VALEUR!) =	#####
-	-	x (##### x	#VALEUR! + ##### x	#VALEUR!) =	#####

CALCUL DES PALIERS PLASTIQUES

Niveau tête de pieu 0,00 m
 Diamètre pieux 700 mm = 0,7 m
 Plateforme à l'avant du pieux 3,00 m

Pente du talus 3 / 2
 Niveau du point fictif = 2,23 p.r tête pieu
 5.B = 3,5 m
 Cote à partir de laquelle l'épaisseur de sol mis en butée est supérieur à 5.B = -0,3333333 p.r tête pieu

(les paramètres tiennent déjà compte de la crête de talus)

pf sol 1 = 0,013 MPa
 pf sol 2 = 0,096 MPa
 pf sol 3 = 0,55 MPa
 pf sol 4 = MPa
 pf sol 5 = MPa

Distance à tête de pieux (m)	Cote	pf (MPa)	coefficient crête de talus	Coefficient surface	Palier plastique (t)
0,25	-0,25	0,013	0,968	0,545	0,244
0,75	-0,75	0,0296	1,000	0,634	0,669
1,25	-1,25	0,096	1,000	0,723	2,477
1,75	-1,75	0,096	1,000	0,813	2,783
2,25	-2,25	0,096	1,000	0,902	3,089
2,75	-2,75	0,55	1,000	0,991	19,448
3,25	-3,25	0,55	1,000	1,000	19,623
3,75	-3,75	0,55	1,000	1,000	19,623
4,25	-4,25	0,55	1,000	1,000	19,623
4,75	-4,75	0,55	1,000	1,000	19,623

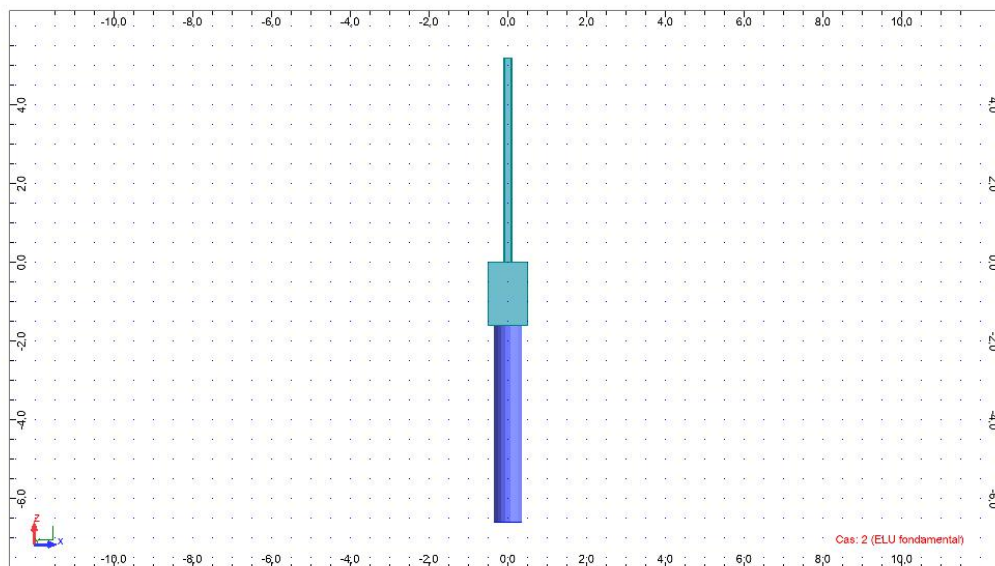
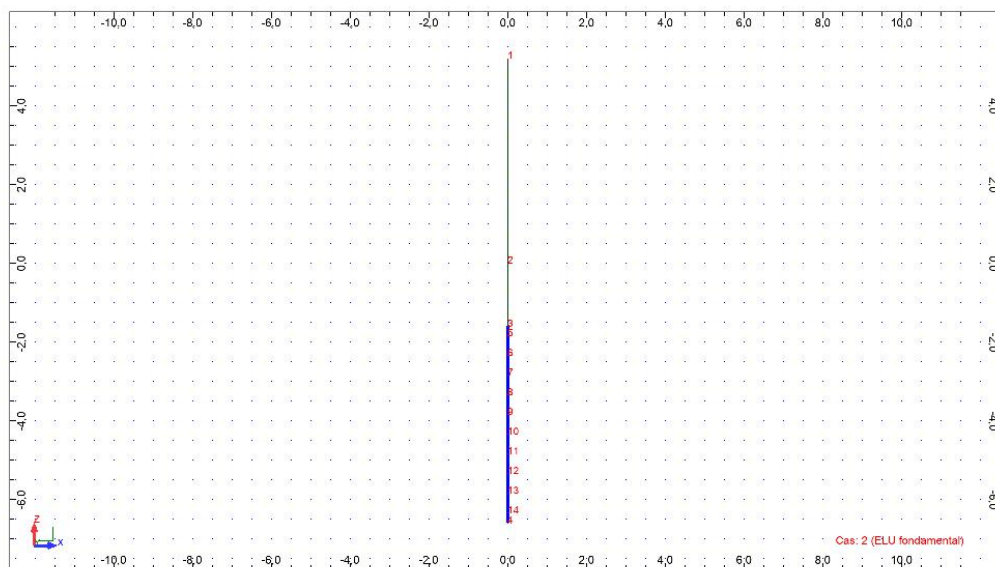
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :
soubassement.rtd

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 1**

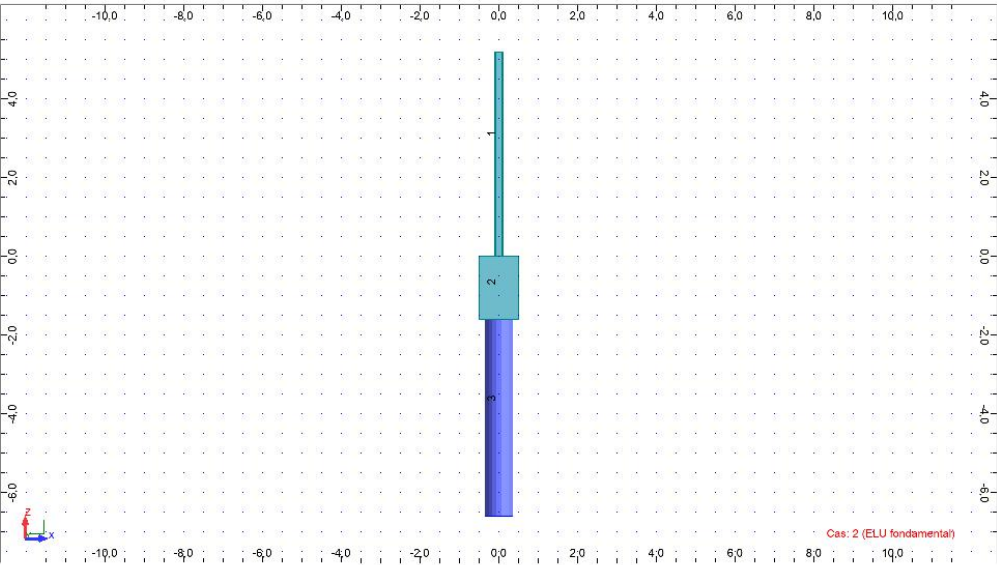
Date : 13/12/24

Page : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
soubassement.rtd
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante
Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 2



Noeuds: Valeurs: 1

Noeud	X [m]	Z [m]	Code de l'appui	Appui
1	0,0	5,20		
2	0,0	0,0		
3	0,0	-1,60		
4	0,0	-6,60	lbi	Appui_1
5	0,0	-1,85	nli	Appui_2
6	0,0	-2,35	nli	Appui_3
7	0,0	-2,85	nli	Appui_4
8	0,0	-3,35	nli	Appui_5
9	0,0	-3,85	nli	Appui_6
10	0,0	-4,35	nli	Appui_7
11	0,0	-4,85	eli	Appui_8
12	0,0	-5,35	eli	Appui_9
13	0,0	-5,85	eli	Appui_10
14	0,0	-6,35	eli	Appui_11

Barres: Valeurs: 1

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Longueur [m]	Gamma [Deg]
1	1	2	HEA 240	ACIER	5,20	0,0
2	2	3	plot 100x100	BETON30EC	1,60	0,0
3	3	4	pieu 700	BETON20.8 EC	5,00	0,0

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

soubassement.rtd

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Barre	Type de barre	Élément de construction
1	Aucun	Barre
2	Aucun	Barre
3	Aucun	Barre

Caractéristiques: Barres: 1

	Nom de la section	Liste des barres	AX [cm2]	AY [cm2]	AZ [cm2]	IX [cm4]	IY [cm4]
	HEA 240	1	76,84	59,74	25,18	41,74	7763,18
	pieu 700	3	3848,45	3247,13	3247,13	2357176,24	1178588,12
	plot 100x100	2	10000,00	8333,33	8333,33	14058308,78	8333333,33

	IZ [cm4]
	2768,81
	1178588,12
	8333333,33

Appuis: Valeurs: 1

	Nom de l'appui	Liste de noeuds	Conditions d'appui
	Appui_1	4	UZ
	Appui_2	5	UX(Appui1)
	Appui_3	6	UX(Appui2)
	Appui_4	7	UX(Appui3)
	Appui_5	8	UX(Appui4)
	Appui_6	9	UX(Appui5)
	Appui_7	10	UX(Appui6)
	Appui_8	11	KX=4,593e+03 [T/m]
	Appui_9	12	KX=4,593e+03 [T/m]
	Appui_10	13	KX=4,593e+03 [T/m]
	Appui_11	14	KX=4,593e+03 [T/m]

Date : 13/12/24

Page : 3

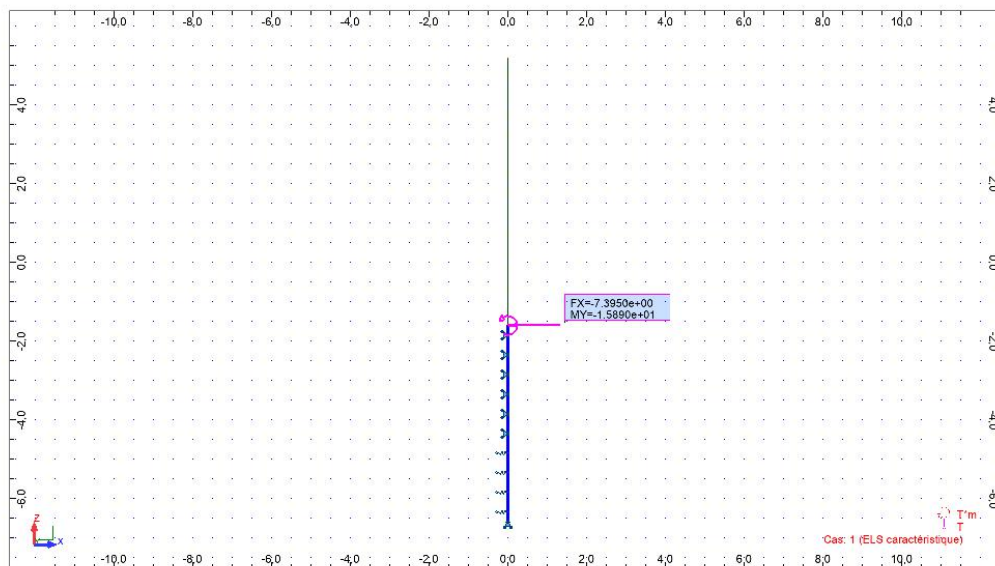
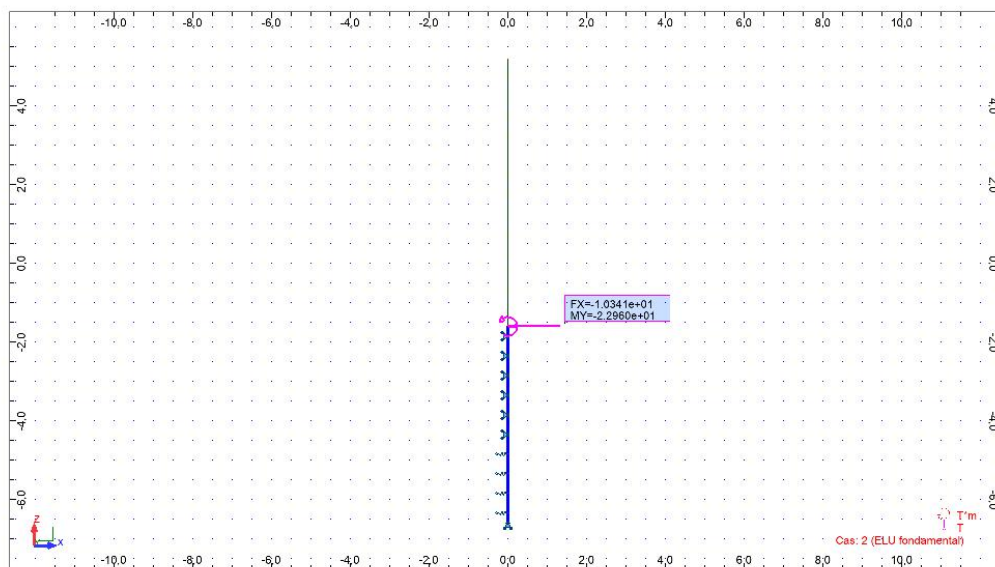
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :
soubassement.rtd

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Cas : 1 (ELS caractéristique)**Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 3**

Date : 13/12/24

Page : 4

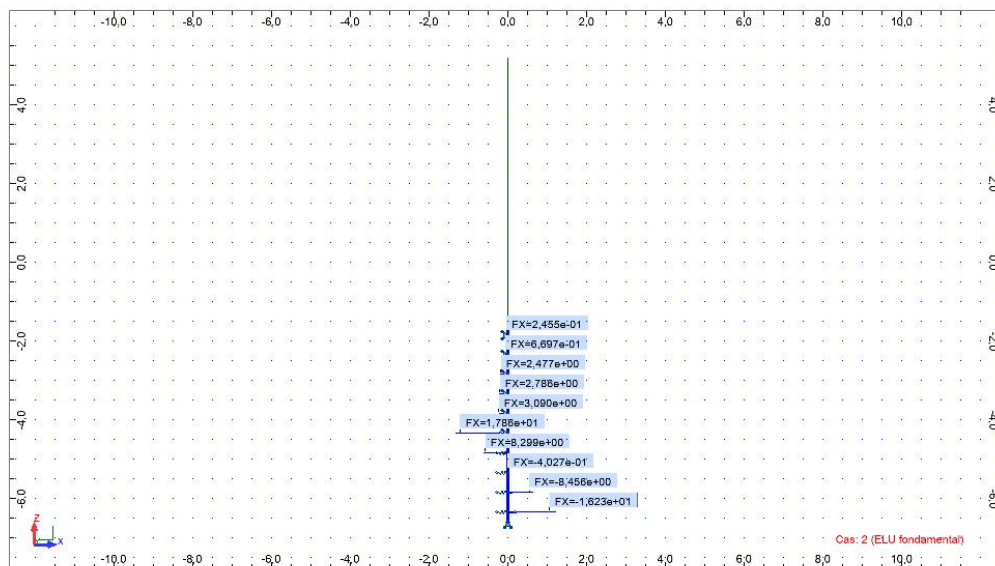
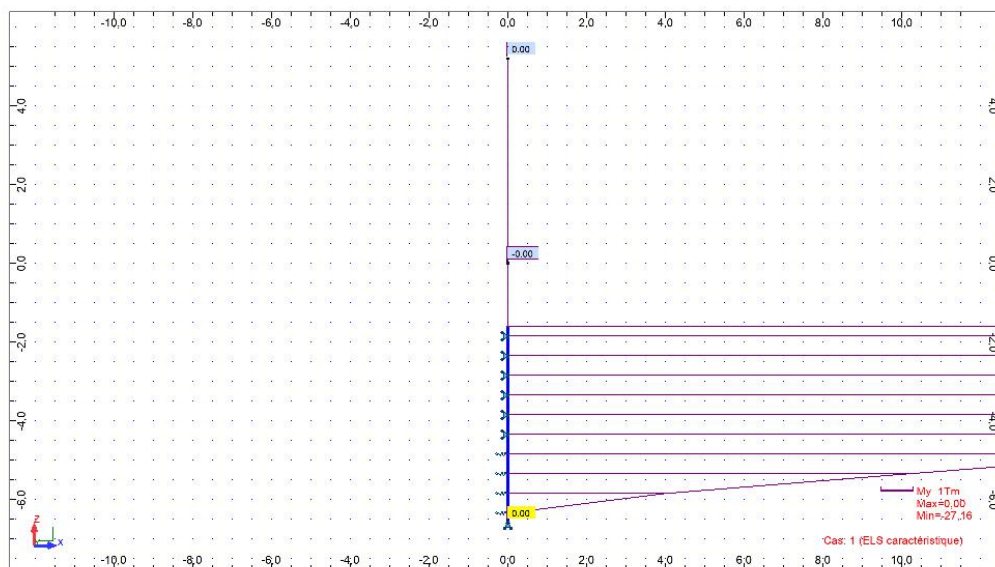
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :
soubassement.rtd

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Forces de réaction(T); Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - MY; Cas : 1 (ELS caractéristique)**

Date : 13/12/24

Page : 5

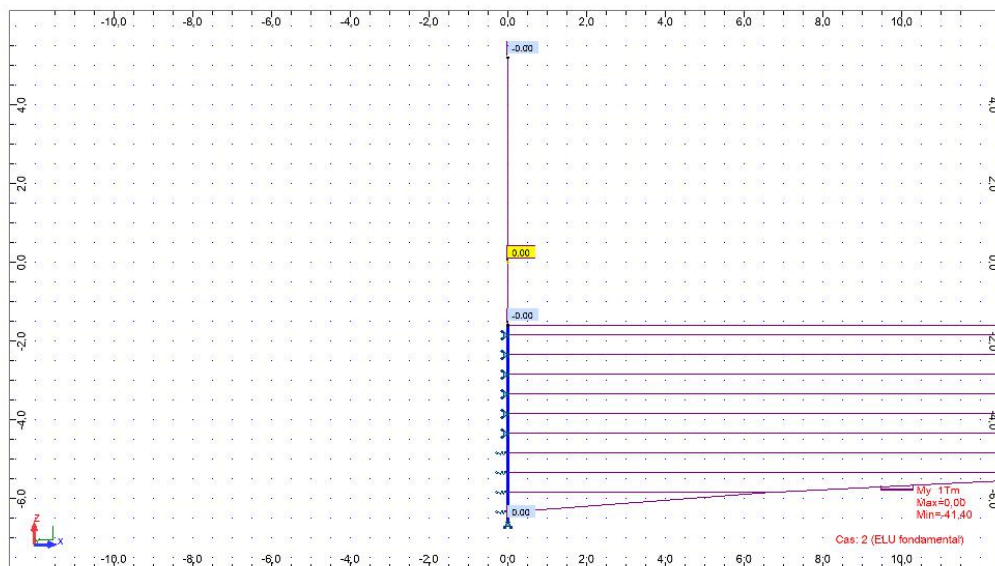
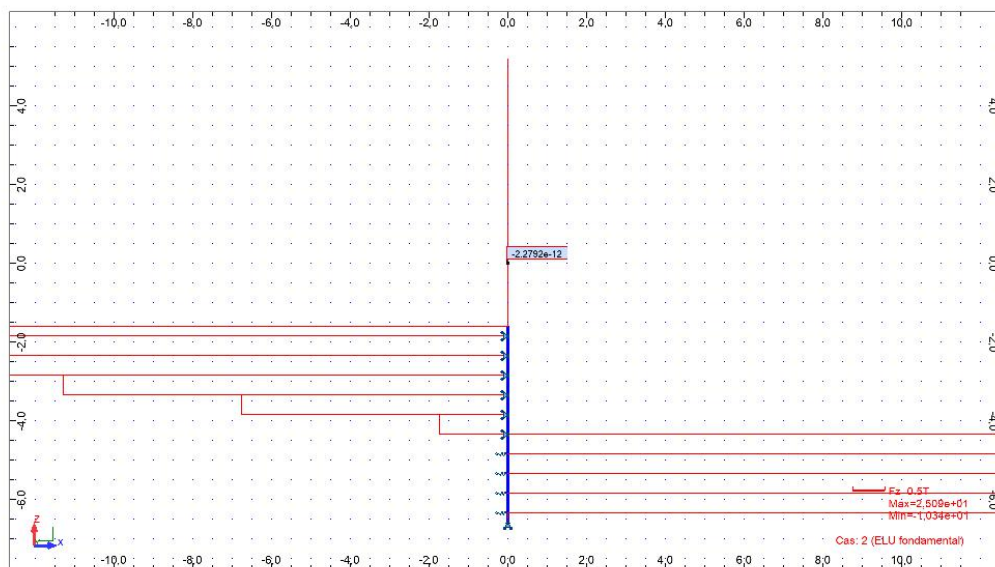
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :
soubassement.rtd

Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - MY; Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - FZ; Cas : 2 (ELU fondamental)**

Date : 13/12/24

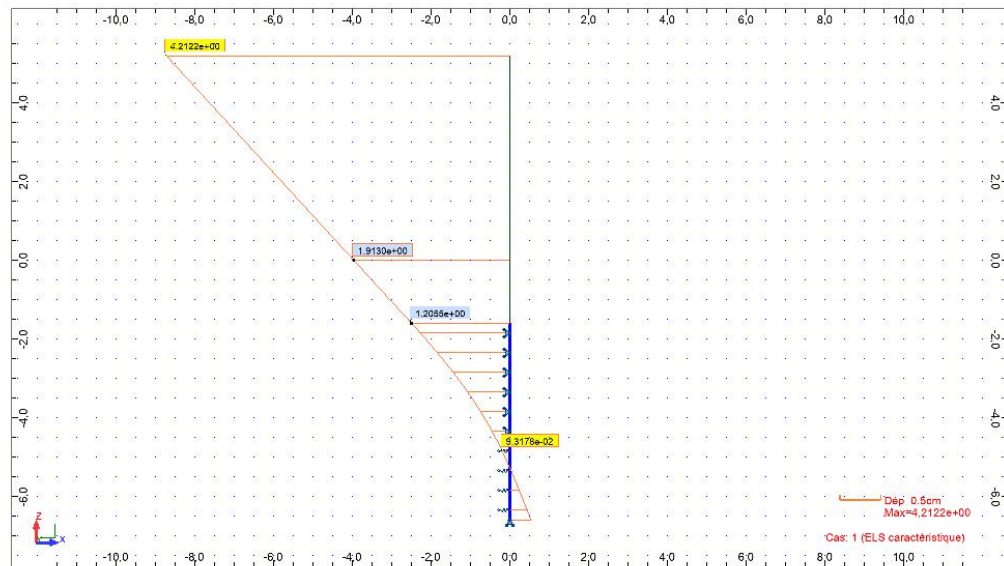
Page : 6

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :
soubassement.rtd
Adresse :

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Déformée exacte; Cas : 1 (ELS caractéristique)

Date : 13/12/24

Page : 7

Résultats

Les résultats ROBOT sont donnés en annexe

Portance

Rmax_{ELS} = 16,02 t < 23,6 t OK
 Rmax_{ELU} = 21,63 t < 41,8 t OK

Armatures

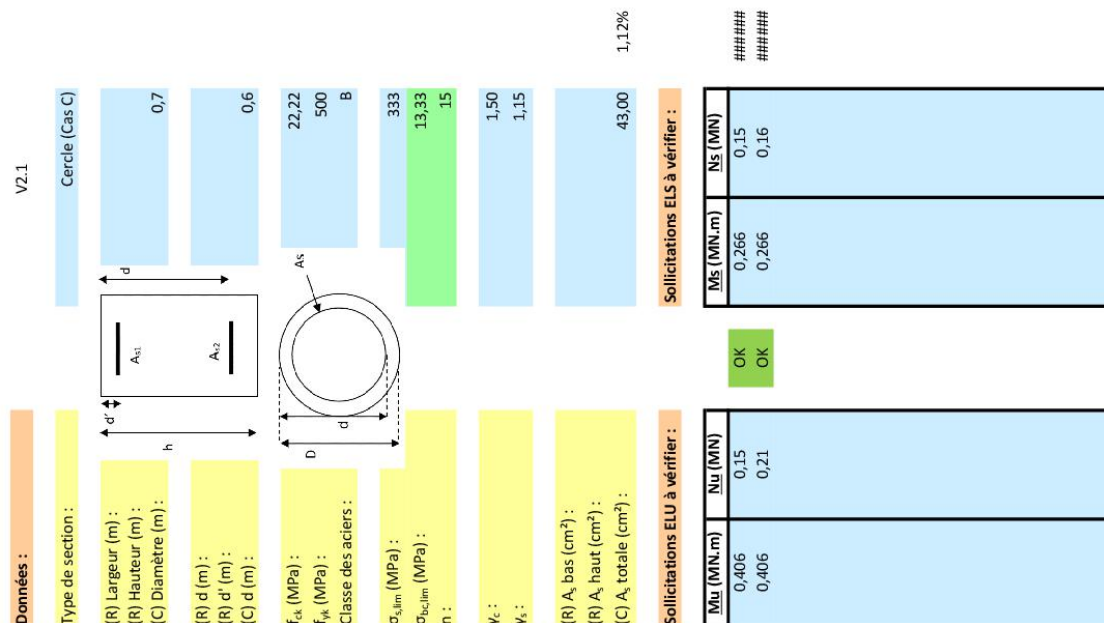
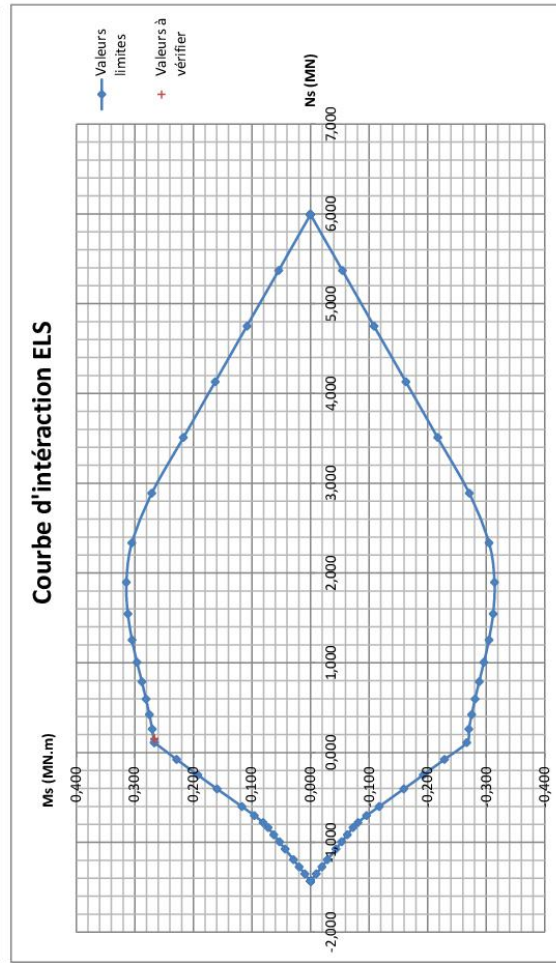
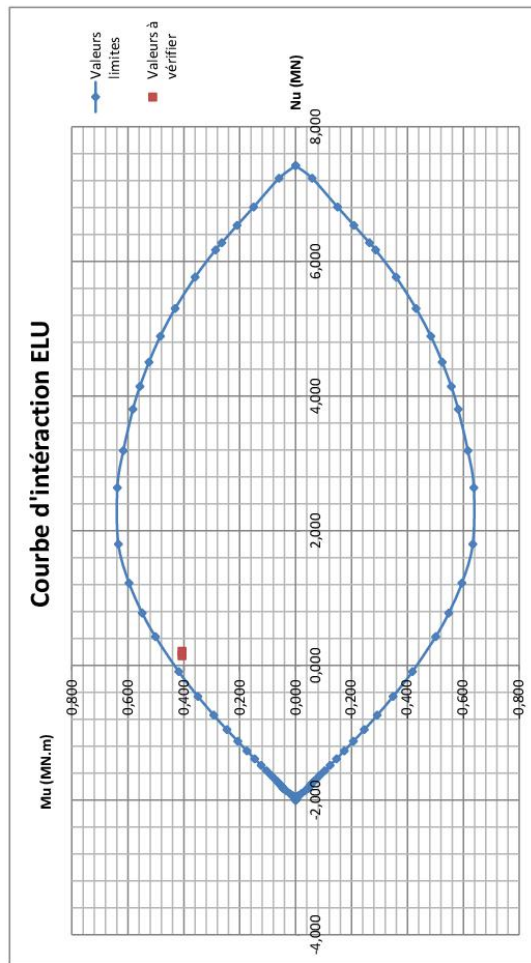
(contrainte moyenne dans le béton à l'ELS = 0,41 MPa < 0,3 fc = 6,66 MPa)

On a : Mmax_{ELS} = 17,9 t.m Nmax_{ELS} = 16,02 t
 Mmax_{ELU} = 27,5 t.m Nmax_{ELU} = 21,63 t
 Nmini_{ELS} = 14,8 t ((poids panneaux + poteaux) x 0,90 (enveloppe))
 Nmini_{ELU} = 14,8 t

On réalise un calcul enveloppe en considérant les moments maxi et les efforts normaux mini en flexion composée

On trouve As = 43 cm² ELS ELU On dispose 10 HA25 par exemple (cf page suivante)

Portance pieux selon NF P 94-262 - méthode du modèle de terrain												
longueur = 5 m			type pieu: FS									
φ = 0,7 m			classe: 1									
Ab = 0,385 m²			catégorie : 1									
Ps = 2,199 m												
Terme de pointe												
ple* = 1 MPa			qb = 1000 kPa									
kp = 1 -			Rb = 385 kN									
q0 = 0 MPa			Rb,k = 304 kN									
Frottement latéral												
d	pl*	type de sol	α _{pieu-sol}	minoration α _{pieu-sol}	courbe f _{sol}	a	b	c	f _{sol}	q _{si}	q _{si,max}	R _{s,j}
[m]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kN]
0,90	0,00		0	0	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
1,60	0,176		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	12	7	50	25
2,50	1,00		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	49	29	50	161
0,00	0,00		1	1	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
5,00												
Rs = 186 kN												
Rs,k = 147 kN en compression												
Rs,k = 121 kN en traction												
Calcul de la portance												
R _{c,k} = 451 kN		R _{c,cr,d} = 255 kN		R _{c,cr,k} = 255 kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en compression						
R _{t,k} = 121 kN		R _{t,cr,d} = 85 kN		R _{t,cr,k} = 85 kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en traction						
ELS-QP	compression	R _{c,cr,d} = 232 kN	ELU-F	compression	R _{t,cr,d} = 56 kN							
ELS-C	compression	R _{c,cr,d} = 283 kN	ELU-A	compression	R _{t,cr,d} = 77 kN							
ELU-F	compression	R _{c,d} = 410 kN	ELU-F	traction	R _{t,d} = 105 kN							
ELU-A	compression	R _{c,d} = 451 kN	ELU-A	traction	R _{t,d} = 115 kN							
ELU-S	compression	R _{c,d} = 410 kN	ELU-S	traction	R _{t,d} = 105 kN							



EFFORT TRANCHANT PIEUX

$\phi = 0,70 \text{ m}$
 diamètre mini aciers principaux : HA 20
 diamètre aciers cerces : HA 10
 enrobage = 7,0 cm
 $d = 0,606 \text{ m}$
 $f_{ck} = 22,2 \text{ MPa}$

 $f_{cd} = 14,8 \text{ MPa}$ ELU fondamentale
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$ ELU fondamentale

ELU fondamental $V_{Ed} = 1 \times 25,10 = 25,10 \text{ t}$

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times v_1 \times f_{cd}$ (pour $\theta=45^\circ$ et $\alpha=90^\circ$)

$V_{Rd,max}$ pour une section circulaire

$V_{Rd,max} = 2,2 \times R^2 \times \alpha_{cw} \times n_1 \times f_{cd}$

$v_1 = 0,6$ (pour $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$ ou $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$)
 ELU $\alpha_{cw} = 1,00$

Soit $V_{Rd,max} = 2,41 \text{ MN}$ à l'ELU fondamentale
 $2,781 \text{ MN}$ à l'ELU sismique

à l'ELU fondamentale $V_{Ed} = 25,10 \text{ t} < 245,7 \text{ t}$ OK

Calcul des aciers avec $\alpha = 90^\circ$ et $\theta = 45^\circ$

avec $Z = 1,57$ $R = 0,55 \text{ m}$
 et $b_w = 1,41$ $R = 0,49 \text{ m}$

A_{sw}/s	10,30 cm^2/m	$= V_{Ed} / (z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha))$
$A_{sw}/s \text{ max}$	50,45 cm^2/m	ne s'applique pas à l'ELA - $A_{sw}/s < b_w / f_{ywd} \cdot 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} / \sin(\alpha)$
$A_{sw}/s \text{ min}$	3,72 cm^2/m	$= b_w \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yk}$

On dispose des cerces HA 10 $e = 15$ (ou spires)
 (soit 10,47 cm^2/ml)

6. CALCUL DES MASSIFS ET FONDATIONS EN SERVICE – ZONE AVEC SOUBASSEMENT – CHOC GBA

La structure est vérifiée sous CHOC GBA à l'ELU accidentel uniquement.

JUSTIFICATION DES PIEUX

Sous choc de GBA, on ne considère aucune charges concomitantes (ni vent, ni souffle, ni surcharge sur remblais). Le choc sur GBA n'est pris en compte qu'à l'ELU accidentel (pondération du choc par 1,25)

Valeur ELS du vent :	$q_{wn} =$	-	t/m ²
Valeur ELU du vent :	$q_{we} =$	0,000	t/m ²
Valeur ELS du souffle :	$q_{ss} =$	0,000	t/m ²
Valeur ELU du souffle :	$q_{se} =$	0,000	t/m ²
Pression totale ELS :	$q_{als} =$	0,000	t/m ²
Pression totale ELU :	$q_{elu} =$	0,000	t/m ²

Souffle et vent non cumulés conformément au CCTP

DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX :

Le profilé est centré sur le pieu et la face avant du panneau est plaquée sur la face intérieure de la semelle avant du profilé. En fonction du profilé, le panneau peut donc être excentré par rapport au profilé.	Entraxe des poteaux d =	4,00	m	
	Inclinaison écran =	0,00%		
	soit $\alpha =$	0,00	°	(vers l'arrière)
	(	0,00	gr)	
	Poids écran $p_e =$	0,563	t/m ²	
	Décalage cdg écran p.r cdg profilé e =	0,100	m	(par rapport à l'axe des pieux)
	Poids couverture en tête =	0,000	t/ml	
	Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids couverture =	0,000	t/ml	
	Poids poteau =	0,314	t	
	Résultante perpendiculaire à l'axe du profilé poids poteau =	0,000	t	
	Pression totale ELS :	$q_{als} =$	0,000	t/m ²
	Pression totale ELU :	$q_{elu} =$	0,000	t/m ²
	Poids lin. couverture ELS :	$Q_{als} =$	0,000	t/ml
	Poids lin. couverture ELU :	$Q_{elu} =$	0,000	t/ml
	Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	verticalement
	Hauteur écran (y compris réhausse) =	5,20	m	selon l'inclinaison
	Mu vent+souffle :	$q_{el} \times h^2 / 2 \times d =$	0,000	t.m
	Mu poids écran :	$1,35 \times ABS (p_e \times \sin \alpha \times h^2 / 2 - p_e \times h \times \cos \alpha \times e) \times d =$	1,580	t.m
	Mu couverture (à peu près centrée):	$Q_{el} \times h \times d =$	0,000	t.m
	Mu poteau :	$Q_{el} \times h / 2 =$	0,000	t.m
	Mu total en pied de poteau :		1,580	t.m
	Type de poteau retenu : HEA 240	(l/v) =	675,1	cm3

Valeurs perpendiculaires à l'inclinaison

diamètre des pieux = 0,700 m
 espacement ressorts = 0,500 m

Les pieux sont étudiés à l'aide d'un modèle à barres ROBOT.

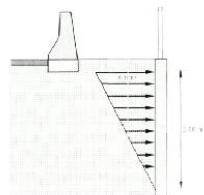
Descente de charge en tête de pieux :

Géométrie du plot : largeur = 1,000 m (selon axe écran)
 profondeur = 1,000 m
 hauteur = 1,500 m

Poussée des terres

Hauteur de poussée = 1,200 m sur le plot et 1,000 m sur la longrine
 $K_a = 0,333$
 Masse volumique remblais = 2,000 t/m³
 $H_t = 1,918$ t
 $M_t = 0,767$ t.m

Choc GBA



(a) : Cas d'une GBA située à un mètre du pavement

Diagramme de poussée	sur la longrine		sur le plot	
en tête	6,000 t/m ²		en tête	6,000 t/m ²
en pied de soubassement	3,000 t/m ²		en pied de soubassement	2,400 t/m ²
$H_{CHOC} =$	13,500 t		$H_{CHOC} =$	5,040 t
$M_{CHOC} =$	10,200 t.m		$M_{CHOC} =$	3,456 t.m

Effort vertical

En pied de poteau :	12,02 t		
Longrine :	0,90 t		
Plot :	3,75 t		
TOTAL $V_{ELS} =$	16,67 t dont	16,67 t sous CP	
TOTAL $V_{ELU} =$	16,67 t dont	16,67 t sous CP	

Effort horizontal

$H1_{ELS} + H_t + H_{choc} =$	1,92 t dont	1,92 t sous CP
$H1_{ELU} + H_t + 1,25 \times H_{choc} =$	25,09 t dont	2,59 t sous CP

Moment

excentricité additionnelle = 0,10 m

$M_{ELS} = \frac{1,17}{M1_{ELS}}$	+ $H_{t,ELS} \times \text{hauteur plot} + V_{t,ELS} \times e + M_t + M_{choc} =$	3,60 t.m dont	3,60 t.m sous CP
		et	0,00 t.m sous Q
$M_{ELU} = \frac{1,17}{M1_{ELU}}$	+ $H_{t,ELU} \times \text{hauteur plot} + V_{t,ELU} \times e + M_t + 1,25 \times M_{choc} =$	20,67 t.m dont	4,28 t.m sous CP
		et	16,39 t.m sous Q

CALCUL DES RESSORTS DES PIEUX

diamètre de pieux = 0,700 m
 niveau tête de pieux = 0,000 m
 niveau pied de pieux = -6,500 m
 longueur de pieux = 6,500 m
 nature couche 1 = **frottant** (frottant ou cohérent pour minoration Kf près de la surface du sol)
 zc= 2,8 m
 profondeur tête de pieux après travaux = 0,00 m
 espacement des ressorts = 0,50 m
 profondeur du premier ressort = 0,25 m

SOL

Couche n°1

$E_M = 0,43$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 263$ t/m² (valeur court terme)

Couche n°2

$E_M = 3,05$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 1868$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -0,90 (vide si couche inexistante)

Couche n°3

$E_M = 15$ MPa
 $\alpha = 0,333$
 $K_f = 9187$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = -2,50 (vide si couche inexistante)

Couche n°4

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°5

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

Couche n°6

$E_M =$ MPa
 $\alpha =$
 $K_f = 0$ t/m² (valeur court terme)
 niveau toit de la couche = (vide si couche inexistante)

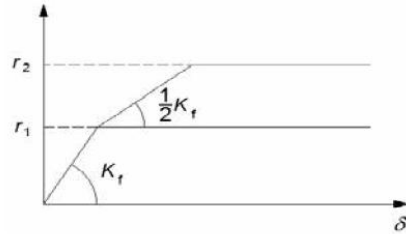
Profondeur ressort / tête de pieux	$0,5x(1+z/z_c)$	Sol N	Sol N+1	ki t/m ²	kv=ki/2 t/m ²
0,25	$0,545 \times (0,50 \times 263 + 0,00 \times 1868) =$			72	36
0,75	$0,634 \times (0,40 \times 263 + 0,10 \times 1868) =$			185	93
1,25	$0,723 \times (0,50 \times 1868 + 0,00 \times 9187) =$			675	338
1,75	$0,813 \times (0,50 \times 1868 + 0,00 \times 9187) =$			759	379
2,25	$0,902 \times (0,50 \times 1868 + 0,00 \times 9187) =$			842	421
2,75	$0,991 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4552	2276
3,25	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297
3,75	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297
4,25	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297
4,75	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297
5,25	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297
5,75	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297
6,25	$1,000 \times (0,50 \times 9187 + 0,00 \times 0) =$			4593	2297

CALCUL DES PALIERS PLASTIQUES

Cas des sollicitations accidentelles très brèves (efforts de choc par exemple)

$$r_1 = B p_i^*$$

$$r_2 = B p_i^*$$



Niveau tête de pieu 0,00 m
 Diamètre pieux 700 mm = 0,7 m
 Plateforme à l'avant du pieux 5,00 m

Pente du talus 3 / 2
 Niveau du point fictif = 3,57 p.r tête pieu
 5.B = 3,5 m

Cote à partir de laquelle l'épaisseur de sol mis en butée est supérieur à 5.B = 1 p.r tête pieu
 (les paramètres tiennent déjà compte de la crête de talus)

pf sol 1 = 0,013 MPa	pl sol 1 = 0,021 MPa
pf sol 2 = 0,096 MPa	pl sol 2 = 0,176 MPa
pf sol 3 = 0,55 MPa	pl sol 3 = 1 MPa
pf sol 4 = MPa	pl sol 4 = MPa
pf sol 5 = MPa	pl sol 5 = MPa

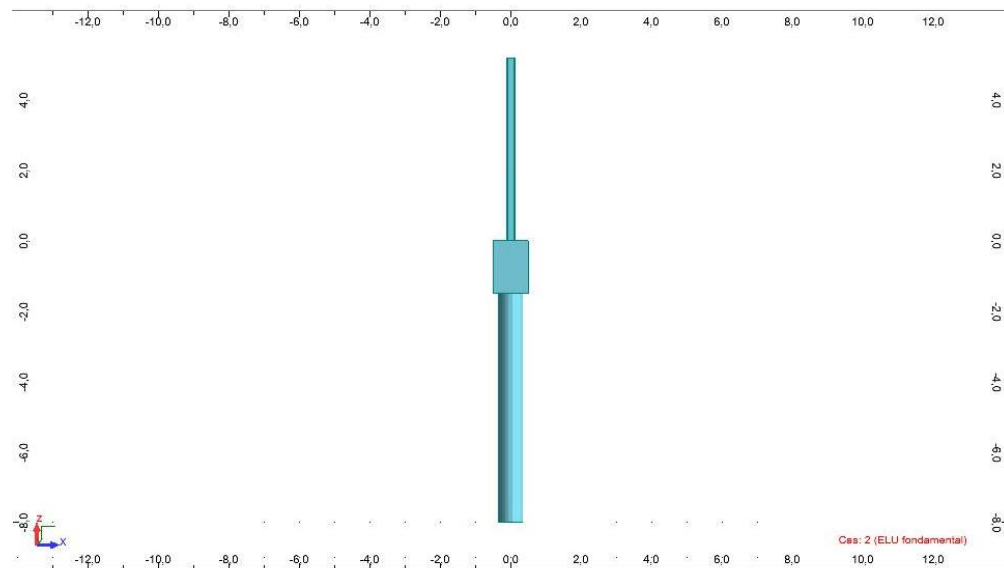
Distance à tête de pieux (m)	Cote	pf (MPa)	pl (MPa)	coefficient crête de talus	Coefficient surface	Palier r1 (t)	Palier r2 (t)
0,25	-0,25	0,013	0,021	1,000	0,545	0,253	0,408
0,75	-0,75	0,0296	0,052	1,000	0,634	0,669	1,176
1,25	-1,25	0,096	0,176	1,000	0,723	2,477	4,541
1,75	-1,75	0,096	0,176	1,000	0,813	2,783	5,102
2,25	-2,25	0,096	0,176	1,000	0,902	3,089	5,663
2,75	-2,75	0,55	1	1,000	0,991	19,448	35,359
3,25	-3,25	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678
3,75	-3,75	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678
4,25	-4,25	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678
4,75	-4,75	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678
5,25	-5,25	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678
5,75	-5,75	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678
6,25	-6,25	0,55	1	1,000	1,000	19,623	35,678

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
soubassement CHOC GBv3.rtd
Adresse :
CHOC GBv3

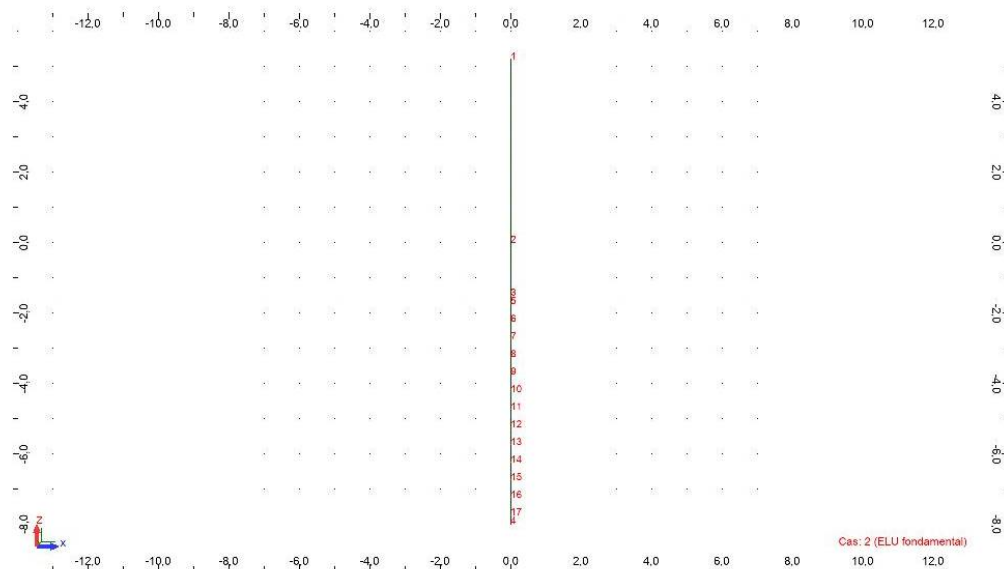
Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental)



Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 1



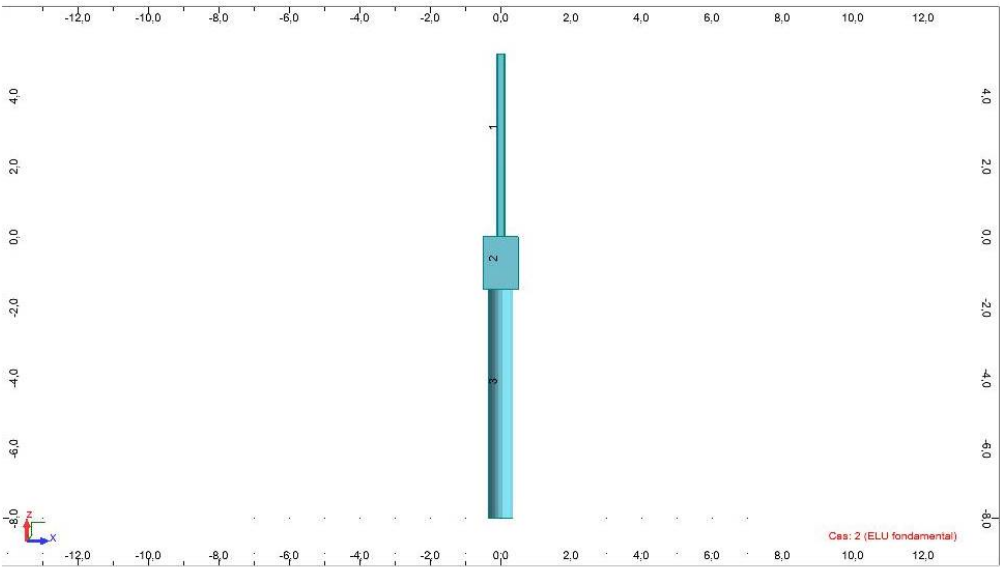
Date : 10/01/25

Page : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Auteur :
soubassement CHOC GBAv3.rtd
Adresse :
CHOC GBAv3

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante
Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 2



Noeuds: Valeurs: 1

Noeud	X [m]	Z [m]	Code de l'appui	Appui
1	0,0	5,20		
2	0,0	0,0		
3	0,0	-1,50		
4	0,0	-8,00	lbl	Appui_1
5	0,0	-1,75	nll	Appui_2
6	0,0	-2,25	nll	Appui_3
7	0,0	-2,75	nll	Appui_4
8	0,0	-3,25	nll	Appui_5
9	0,0	-3,75	nll	Appui_6
10	0,0	-4,25	nll	Appui_7
11	0,0	-4,75	nll	Appui_8
12	0,0	-5,25	ell	Appui_9
13	0,0	-5,75	ell	Appui_10
14	0,0	-6,25	ell	Appui_11
15	0,0	-6,75	ell	Appui_12
16	0,0	-7,25	ell	Appui_13
17	0,0	-7,75	ell	Appui_14

Barres: Valeurs: 1

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Longueur [m]	Gamma [Deg]
1	1	2	HEA 240	ACIER	5,20	0,0

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

soubassement CHOC GBV3.rtd

Adresse :

CHOC GBV3

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Longueur [m]	Gamma [Deg]
2	2	3	plot 100x100	BETON30EC	1,50	0,0
3	3	4	pieu 700	BETON20.8 EC	6,50	0,0

Barre	Type de barre	Élément de construction
1	Aucun	Barre
2	Aucun	Barre
3	Aucun	Barre

Caractéristiques: Barres: 1

	Nom de la section	Liste des barres	AX [cm2]	AY [cm2]	AZ [cm2]	IX [cm4]	IY [cm4]
	HEA 240	1	76,84	59,74	25,18	41,74	7763,18
	pieu 700	3	3848,45	3247,13	3247,13	2357176,24	1178588,12
	plot 100x100	2	10000,00	8333,33	8333,33	14058308,7	8333333,33

	IZ [cm4]
	2768,81
	1178588,12
	8333333,33

Appuis: Valeurs: 1

	Nom de l'appui	Liste de noeuds	Conditions d'appui
	Appui_1	4	UZ
	Appui_2	5	UX(Appui1)
	Appui_3	6	UX(Appui2)
	Appui_4	7	UX(Appui3)
	Appui_5	8	UX(Appui4)
	Appui_6	9	UX(Appui5)
	Appui_7	10	UX(Appui6)
	Appui_8	11	UX(Appui7)
	Appui_9	12	KX=4,940e+03 [T/m]
	Appui_10	13	KX=4,940e+03 [T/m]
	Appui_11	14	KX=4,940e+03 [T/m]
	Appui_12	15	KX=4,940e+03 [T/m]
	Appui_13	16	KX=4,940e+03 [T/m]
	Appui_14	17	KX=4,940e+03 [T/m]

Date : 10/01/25

Page : 3

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

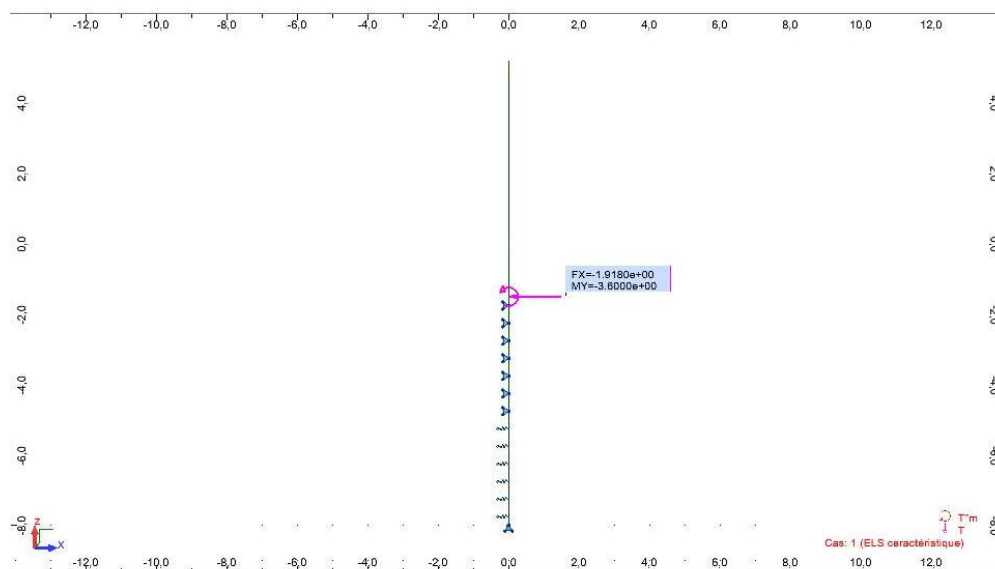
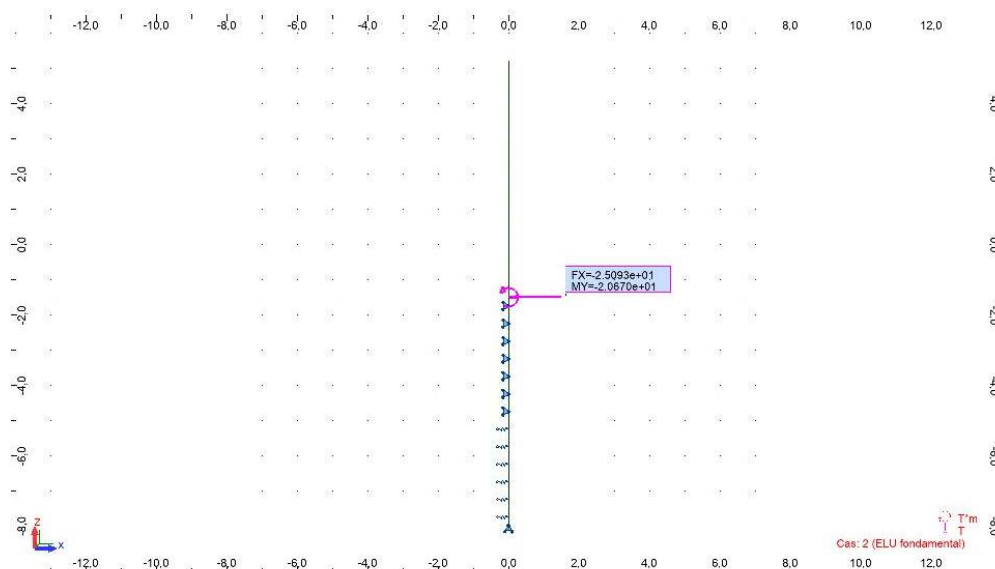
soubassement CHOC GBV3.rtd

Adresse :

CHOC GBV3

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Cas : 1 (ELS caractéristique)**Vue - Cas : 2 (ELU fondamental) 3**

Date : 10/01/25

Page : 4

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

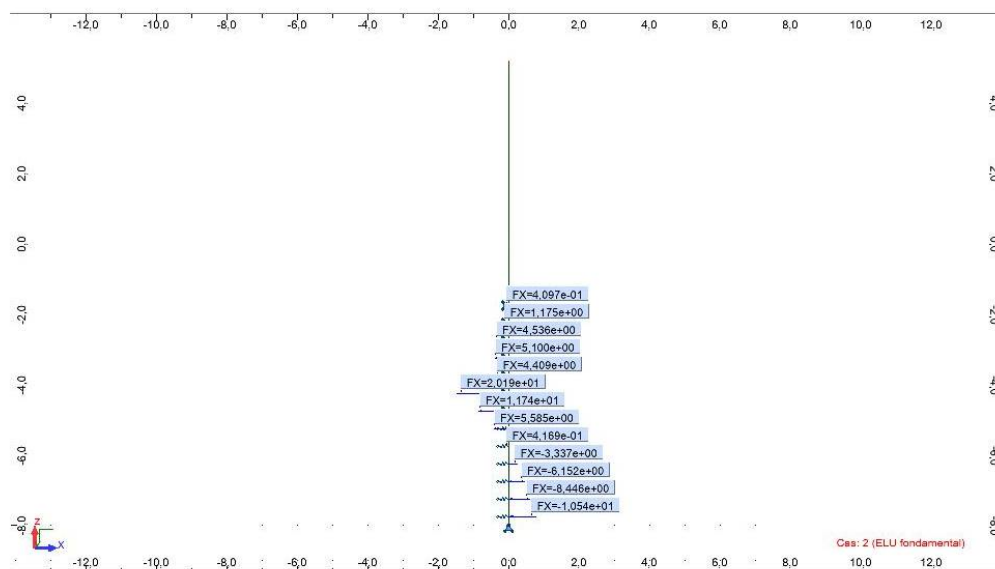
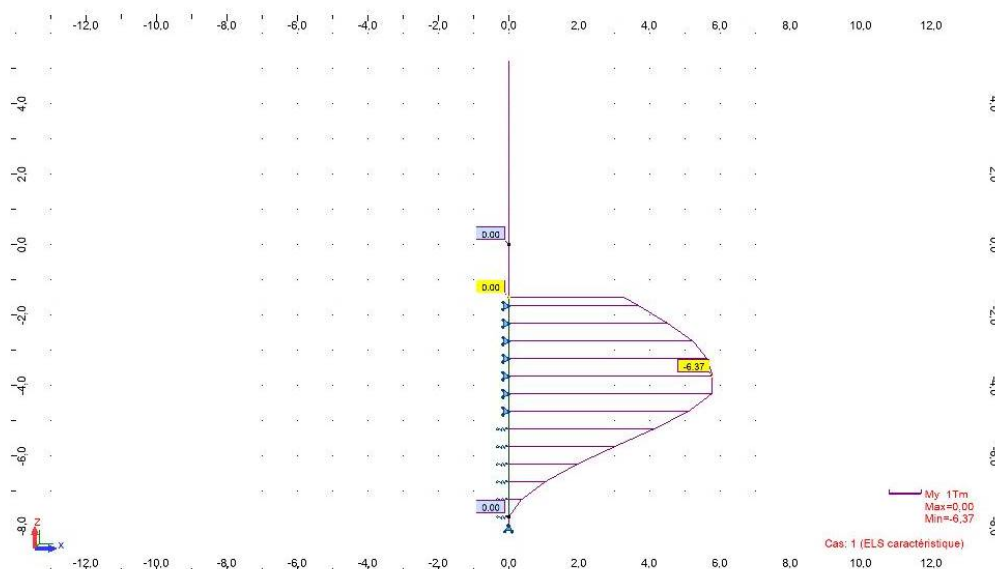
soubassement CHOC GBAv3.rtd

Adresse :

CHOC GBAv3

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Forces de réaction(T); Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - MY; Cas : 1 (ELS caractéristique)**

Date : 10/01/25

Page : 5

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

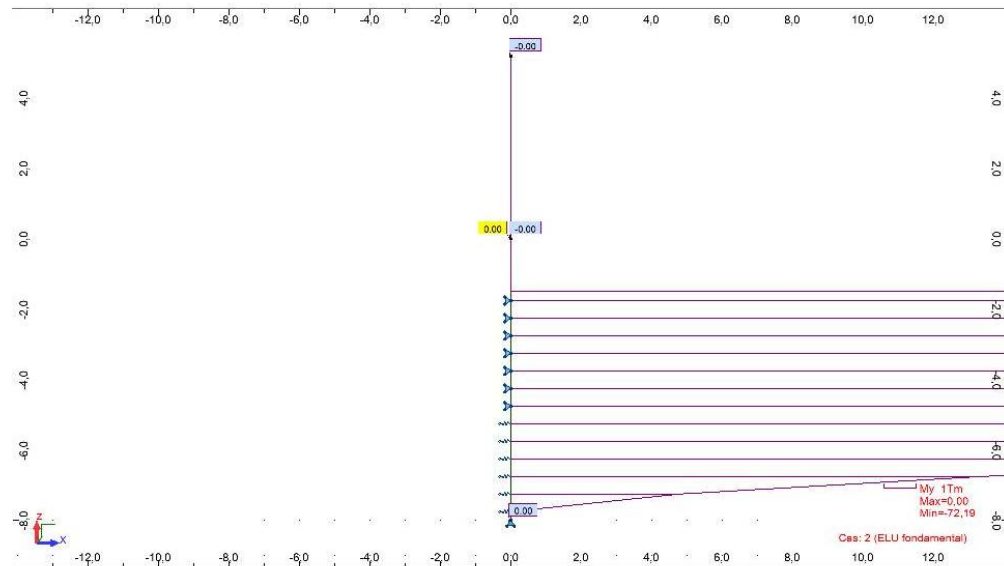
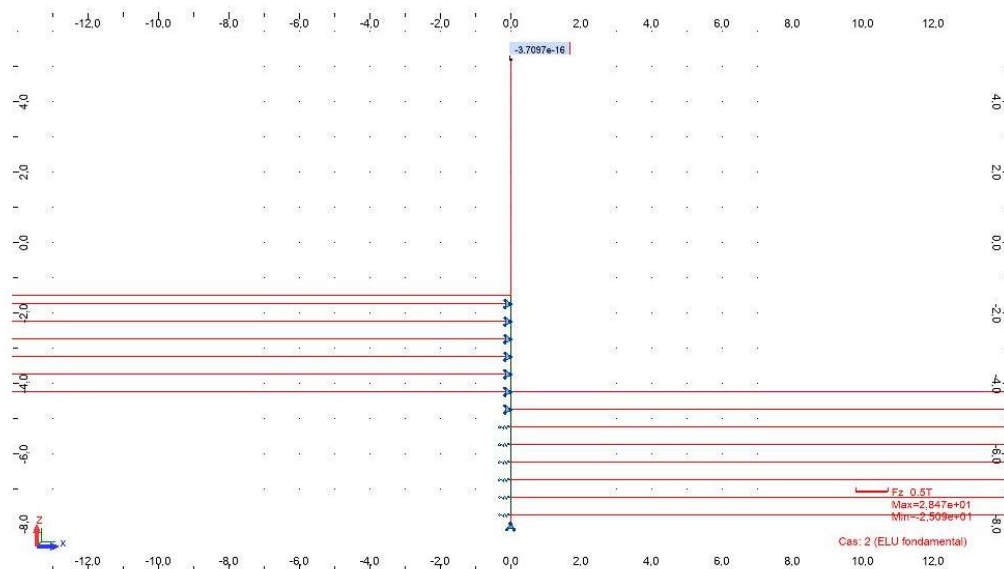
soubassement CHOC GBAv3.rtd

Adresse :

CHOC GBAv3

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - MY; Cas : 2 (ELU fondamental)**Vue - FZ; Cas : 2 (ELU fondamental)**

Date : 10/01/25

Page : 6

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Auteur :

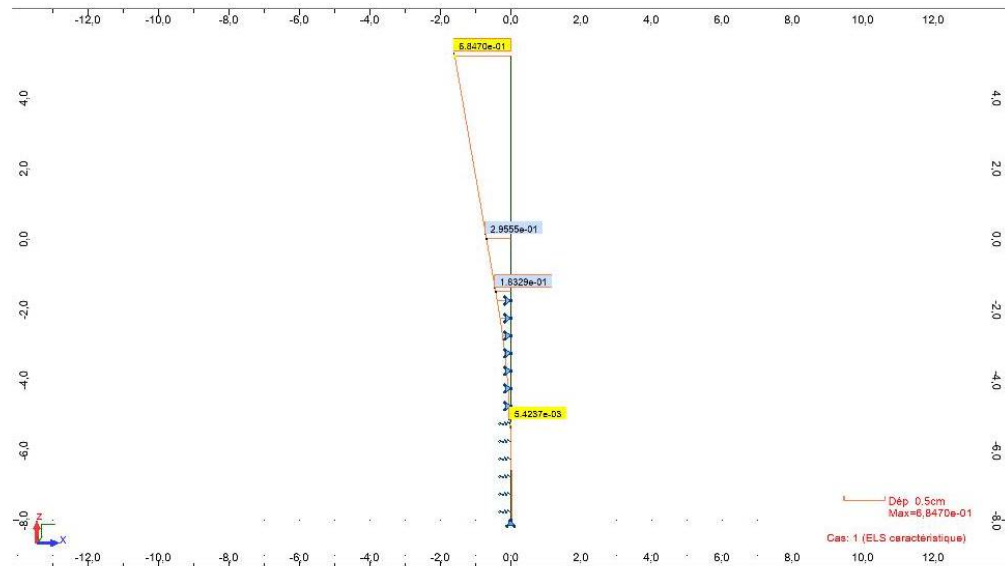
soubassement CHOC GBAv3.rtd

Adresse :

CHOC GBAv3

Fichier : Ecrans 5.2m zone courante

Projet : Ecrans 5.2m zone courante soubassement

Vue - Déformée exacte; Cas : 1 (ELS caractéristique)

Date : 10/01/25

Page : 7

Résultats

Les résultats ROBOT sont donnés en annexe

Portance

Rmax_{ELS} = 16,67 t < 28,6 t OK
 Rmax_{ELU} = 16,67 t < 48,9 t OK

Armatures

(contrainte moyenne dans le béton à l'ELS = 0,42 MPa < 0,3 fc = 6,66 MPa)

On a : Mmax_{ELS} = - t.m Nmax_{ELS} = 16,67 t
 Mmax_{ELU} = 63,3 t.m Nmax_{ELU} = 16,67 t
 Nmini_{ELS} = 15,5 t ((poids panneaux + poteaux) x 0,90 (enveloppe))
 Nmini_{ELU} = 15,5 t

On réalise un calcul enveloppe en considérant les moments maxi et les efforts normaux mini en flexion composée

On trouve As = 64 cm² ELS ELU On dispose 8 HA32 par exemple (cf page suivante)



Portance pieux selon NF P 94-262 - méthode du modèle de terrain												
longueur = 6,5 m			type pieu: FS									
φ = 0,7 m			classe: 1									
Ab = 0,385 m²			catégorie : 1									
Ps = 2,199 m												
Terme de pointe												
ple* = 1 MPa			qb = 1000 kPa									
kp = 1 -			Rb = 385 kN									
q0 = 0 MPa			Rb,k = 304 kN									
Frottement latéral												
d	pl*	type de sol	α _{pieu-sol}	minoration α _{pieu-sol}	courbe f _{sol}	a	b	c	f _{sol}	q _{si}	q _{si,max}	R _{s,i}
[m]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kN]
0,90	0,00		0	0	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
1,60	0,176		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	12	7	50	25
4,00	1,00		0,6	1	Q2	0,01	0,06	1,2	49	29	50	258
0,00	0,00		1	1	Q1	0,003	0,04	3,5	0	0	0	0
6,50												
Rs = 283 kN												
Rs,k = 224 kN			en compression									
Rs,k = 184 kN			en traction									
Calcul de la portance												
R _{c,k} = 528 kN		R _{c,cr,d} = 309 kN		R _{c,cr,k} = 129 kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en compression						
R _{t,k} = 184 kN		R _{t,cr,d} = 129 kN		R _{t,cr,k} = 129 kN		valeur caractéristique de la charge de fluage en traction						
ELS-QP	compression	R _{c,cr,d} = 281 kN	ELU-F	compression	R _{t,cr,d} = 86 kN							
ELS-C	compression	R _{c,cr,d} = 343 kN	ELU-A	compression	R _{t,cr,d} = 117 kN							
ELU-F	compression	R _{c,d} = 480 kN	ELU-F	traction	R _{t,d} = 160 kN							
ELU-A	compression	R _{c,d} = 528 kN	ELU-A	traction	R _{t,d} = 175 kN							
ELU-S	compression	R _{c,d} = 480 kN	ELU-S	traction	R _{t,d} = 160 kN							

EFFORT TRANCHANT PIEUX

$\phi = 0,70 \text{ m}$
 diamètre mini aciers principaux : HA 20
 diamètre aciers cerces : HA 10
 enrobage = 7,0 cm
 $d = 0,606 \text{ m}$
 $f_{ck} = 22,2 \text{ MPa}$

 $f_{cd} = 18,5 \text{ MPa}$ ELU accidentel
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{ywd} = 500 \text{ MPa}$ ELU accidentel

ELU accidentel $V_{Ed} = 1 \times 28,50 = 28,50 \text{ t}$

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times v_1 \times f_{cd}$ (pour $\theta=45^\circ$ et $\alpha=90^\circ$)

$V_{Rd,max}$ pour une section circulaire

$V_{Rd,max} = 2,2 \times R^2 \times \alpha_{cw} \times n_1 \times f_{cd}$

$v_1 = 0,6$ (pour $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$ ou $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$)
 ELU $\alpha_{cw} = 1,00$

Soit $V_{Rd,max} = 3,013 \text{ MN}$ à l'ELU fondamentale
 $2,781 \text{ MN}$ à l'ELU sismique

à l'ELU fondamentale $V_{Ed} = 28,50 \text{ t} < 307,1 \text{ t}$ OK

Calcul des aciers avec $\alpha = 90^\circ$ et $\theta = 45^\circ$

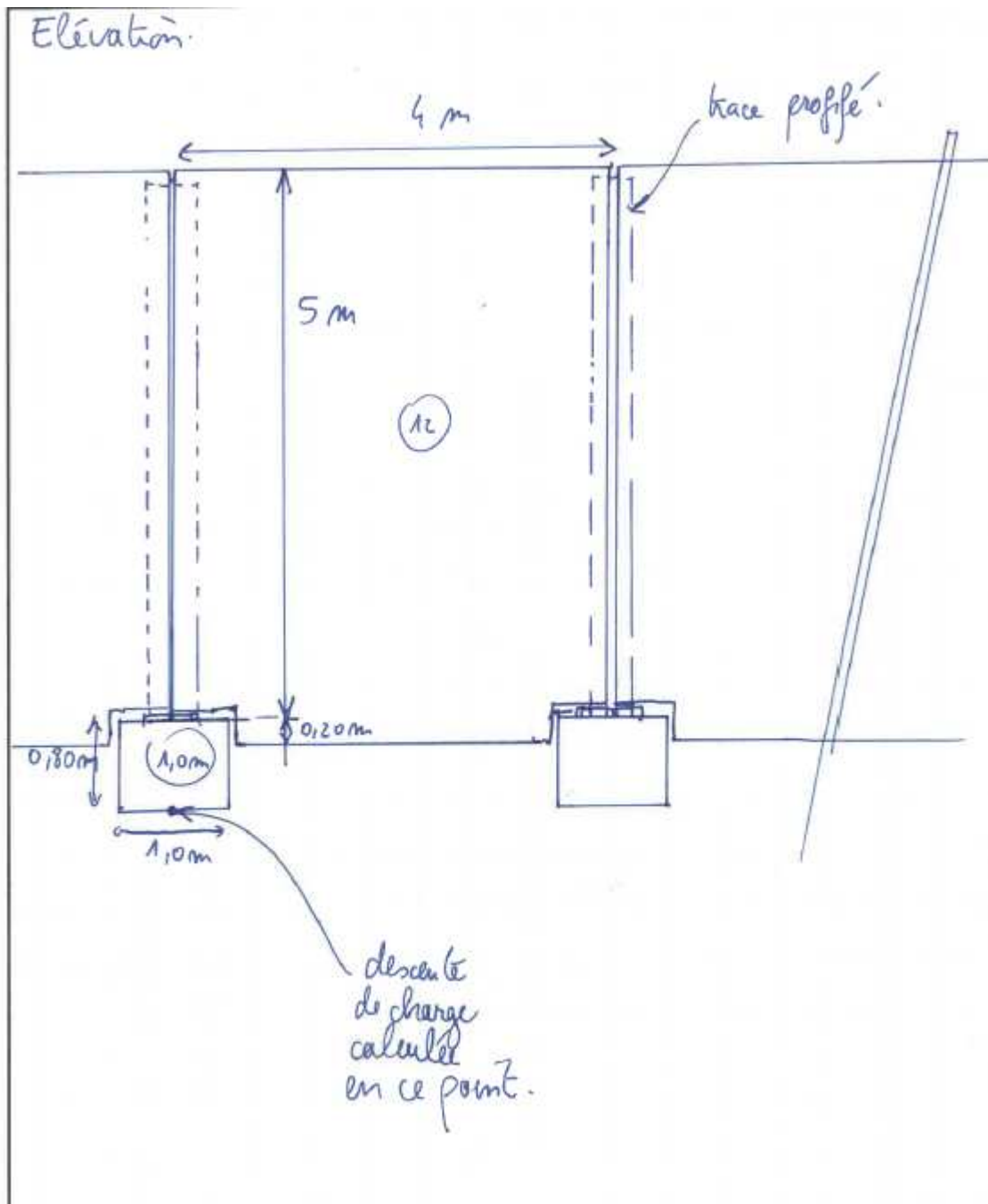
avec $Z = 1,57$ $R = 0,55 \text{ m}$
 et $b_w = 1,41$ $R = 0,49 \text{ m}$

A_{sw}/s	10,17 cm^2/m	$= V_{Ed} / (z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha))$
$A_{sw}/s \text{ max}$	54,83 cm^2/m	ne s'applique pas à l'ELA - $A_{sw}/s < b_w / f_{ywd} \cdot 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} / \sin(\alpha)$
$A_{sw}/s \text{ min}$	3,72 cm^2/m	$= b_w \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yk}$

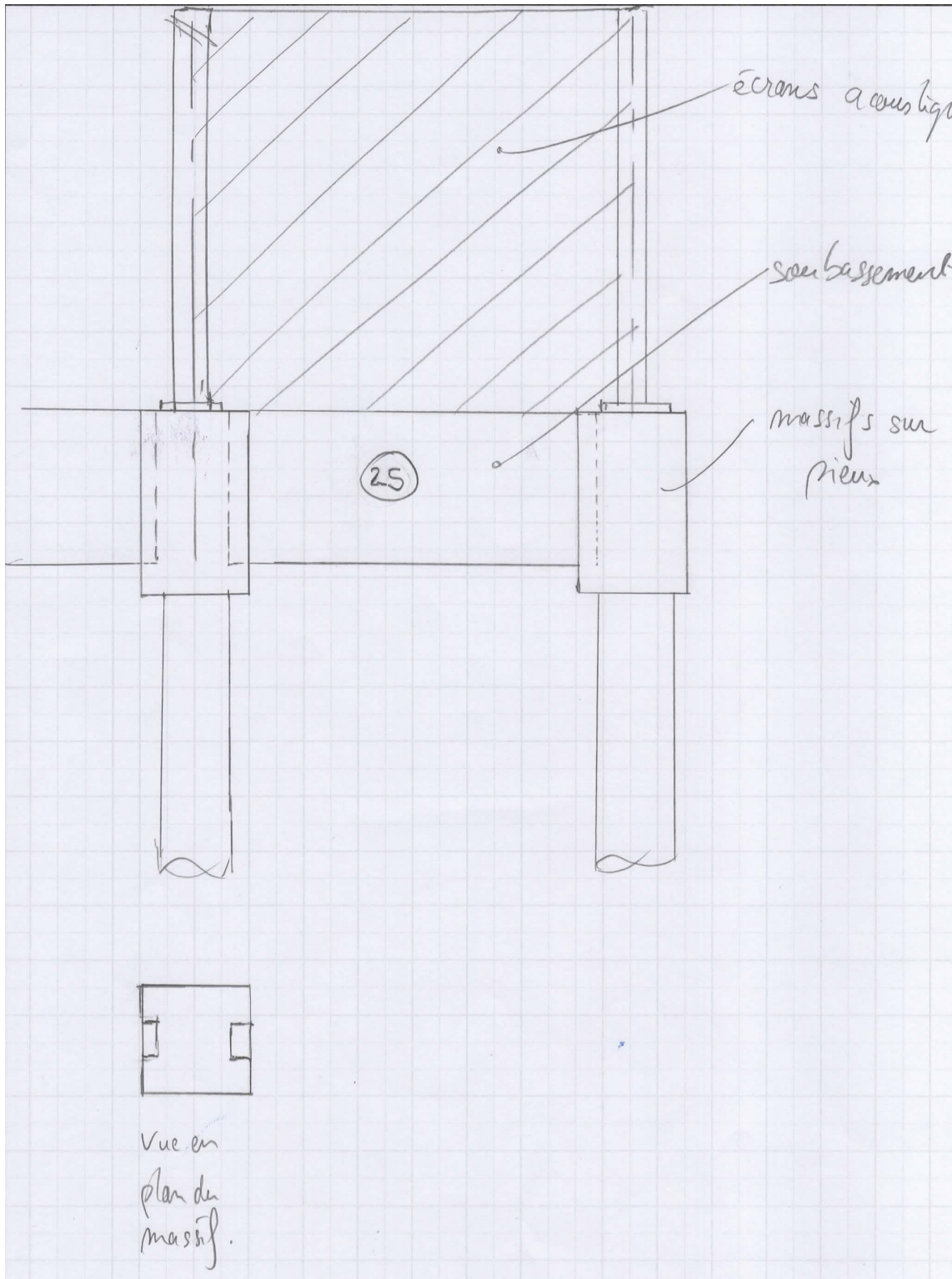
On dispose des cerces HA 10 $e = 15$ (ou spires)
 (soit 10,47 cm^2/ml)

7. SYNTHESE

PRINCIPE SANS SOUBASSEMENT

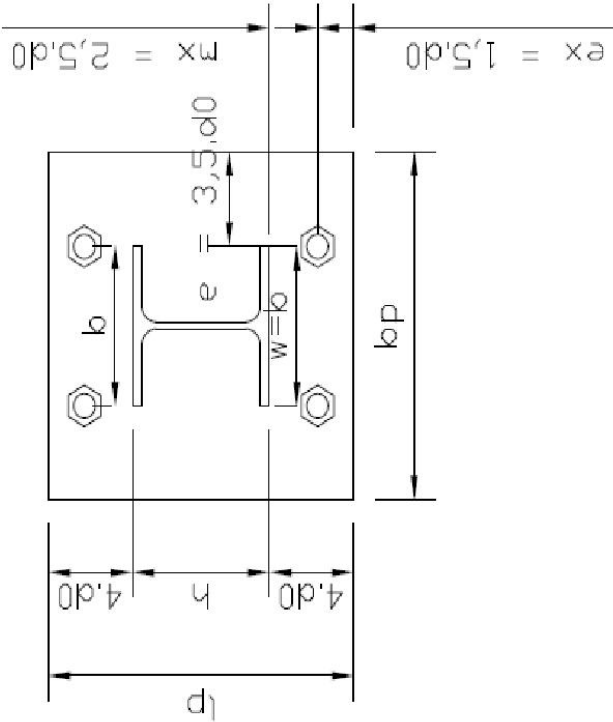


PRINCIPE AVEC SOUBASSEMENT



	Profilé		Cordon de soudure profilé sur platine	Platine			Tiges d'ancrage			
				largeur	longueur	épaisseur	diamètre	classe	entraxe transversal (mm)	entraxe longitudinal (selon direction de l'âme du profilé) (mm)
	type	nuance	a (mm)							
Courant	HEA240	S235	6	513	542	38	M36	8.8	240	425
Extrémité	HEA260	S235	7	533	562	44	M36	8.8	260	445

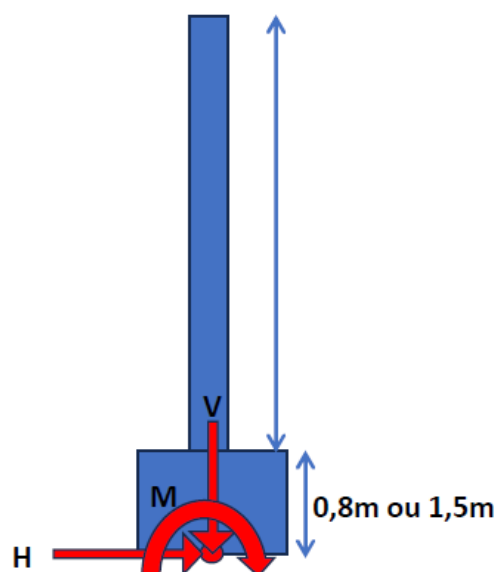
Les poteaux d'extrémité seront mis en place pour les 5 premiers poteaux à chaque extrémité.



	Massif de fondation				Pieu		
	largeur	longueur	hauteur	ratio d'armatures	Diamètre	Longueur	ratio d'armatures
	(m)	(m)	(m)	(kg/m3)	(m)	(m)	(kg/m3)
courant sans soubassement	1,0	1,0	0,8	130,0	0,7	5,0	100,0
courant avec soubassement - CHOC sur GBA	1,0	1,0	1,5 maxi	130,0	0,7	6,5	210,0
extrémité	1,0	1,0	0,8	130,0	0,7	5,0	120,0

Les pieux d'extrémité seront mis en place pour les 5 premiers poteaux à chaque extrémité.

	V	H	M
	(t)	(t)	(t.m)
Zone courante - sans soubassement - ELS max	14,02	3,38	14,05
Zone courante - sans soubassement - ELS min	12,80	3,38	14,05
Zone courante - sans soubassement - ELU max	18,93	5,07	20,69
Zone courante - sans soubassement - ELU min	12,80	5,07	20,69
Zone courante - avec soubassement - ELS max	16,02	7,39	15,89
Zone courante - avec soubassement - ELS min	14,80	7,39	15,89
Zone courante - avec soubassement - ELU max	21,63	10,34	22,96
Zone courante - avec soubassement - ELU min	14,80	10,34	22,96
Zone courante - avec soubassement - ELU acc CHOC GBA	14,80	25,09	20,70
Zone extrémité - sans soubassement - ELS max	14,06	4,36	17,40
Zone extrémité - sans soubassement - ELS min	12,90	4,36	17,40
Zone extrémité - sans soubassement - ELU max	18,98	6,54	25,72
Zone extrémité - sans soubassement - ELU min	12,90	6,54	25,72



8. ANNEXE A : REPARTITION DES CHARGES PAR POTEAU

Le coefficient C_{pnet} équivalent pour le poteau le plus sollicité (le second) est de $8.77/4 = 2.1925$. La pression de vent correspondante est de : $2.1925 \times 0.871 \text{ kN/m}^2 = 1.909 \text{ kN/m}^2 = 0.195 \text{ t/m}^2$ (pour $Z_e = 15 \text{ m}$).

