



CHU Bordeaux Pellegrin

Hôpital Pédiatrique

RECONNAISSANCES ET ÉTUDES STRUCTURELLES DE LA TOITURE DE L'HÔPITAL PÉDIATRIQUE

DOSSIER SBX3.OM003.0006-IND2



Agence de BORDEAUX • 50-52 Avenue Gustave Eiffel 33610 CANEJAN
Tél. 33 (0) 5 56 12 98 10 • Fax 33 (0) 5 56 13 07 31 • cebtp.bordeaux@groupeginger.com



GINGER CEBTP

50-52 Avenue Gustave Eiffel

33610 CANÉJAN

T : 05.56.12.98.10 / F : 05.56.13.07.31 / Email : cebtp.bordeaux@groupeginger.com

CHU Bordeaux Pellegrin

Hôpital Pédiatrique

RECONNAISSANCES ET ÉTUDES STRUCTURELLES DE LA TOITURE DE L'HÔPITAL PÉDIATRIQUE

Contrat : SBX3.P.0060

kam.nguessan@groupegingner.com

Dossier : SBX3.OM003.0006-ind 2

Indice	Date	Rédigé par le Chargé d'Affaires de la Division Diagnostic et Pathologies des Structures	Vérifié par le chef de service de la Division Diagnostic et Pathologies des Structures	Contenu	Observations
1	01/09/2025	K. N'GUESSAN 	N. DUGUEY 	82 pages dont 2 annexes de 55 pages	
2	23/02/2026	K. N'GUESSAN 	N. DUGUEY 	83 pages dont 2 annexes de 55 pages	

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	4
2. MISSION	4
2.1. Étendue de la mission	4
2.2. Contenu technique	4
3. DESCRIPTION DU SITE	8
4. INVESTIGATIONS SUR SITE	10
4.1. Reconnaissance du plancher de la toiture terrasse	10
4.2. Reconnaissance de la poutre principale	16
5. ÉTUDES STRUCTURELLES	20
5.1. Cadre normatif	20
5.2. Hypothèses	20
5.3. Modélisation	22
5.4. Détermination du taux de travail des éléments	24
5.5. Détermination de la capacité portante des éléments	26
6. SYNTHÈSE	27
ANNEXE 1 : NOTE DE CALCUL DU PLANCHER	29
ANNEXE 2 : NOTE DE CALCUL DE LA POUTRE	59

1. INTRODUCTION

À la demande et pour le compte du CHU Bordeaux – Pellegrin, l'agence Ginger CEBTP de Bordeaux a procédé à une mission des reconnaissances et d'études structurelles de la toiture de l'hôpital pédiatrique du CHU de Pellegrin. Cette intervention dans le cadre d'un projet d'installation de panneaux photovoltaïque.

Les objectifs de cette mission sont les suivants :

- Déterminer la constitution du plancher toiture terrasse,
- Déterminer la capacité portante du plancher et poutre sondés.

2. MISSION

2.1. Étendue de la mission

La mission de GINGER CEBTP consiste et se limite à notre proposition référencée SBX3.P.0060 Ind.2 du 25 Mars 2025.

2.2. Contenu technique

2.2.1. Inspection visuelle

Notre mission comprendra une phase d'inspection et de relevés géométriques géométrique des éléments étudiés (sens de portée, section, épaisseur et portée des éléments porteurs)

2.2.2. Reconnaissance du plancher toiture terrasse

Reconnaissance du complexe de la toiture [1 unité] :

- Reconnaissance de constitution et d'épaisseur du complexe d'étanchéité et d'isolation de la toiture terrasse par création de trémies en surface,
- Reconnaissance de constitution et d'épaisseur du plancher par carottage diamant sous eau depuis la surface.

Reconnaissance de dalles béton [1 unité] :

- Repérage des éléments porteurs et du sens de portée du plancher,
- Repérage des armatures par auscultations pachométriques par acquisition de données (nombre de nappes, espacement, enrobage) depuis la sous-face et surface,
- Reconnaissance des armatures de flexion du plancher par sondages destructifs ponctuels en sous-face (nature, diamètre et enrobage),
- Reconnaissance des armatures de continuité par sondages destructifs ponctuels en surface (nature, diamètre et enrobage).

Reconnaissance de poutre principale [1 unité] :

- Relevé géométrique (longueur, section),
- Repérage des armatures par auscultations pachométriques par acquisition de données (nombre, espacements, enrobages),
- Reconnaissance des armatures par sondage destructif ponctuel. Pour déterminer :
 - Les aciers longitudinaux en partie basse à mi-portée (sondage réalisé depuis la sous-face du plancher),
 - Les aciers transversaux sur appui sur une longueur minimale de 1 m (sondage réalisé depuis la sous-face du plancher),
 - Les aciers de chapeau de poutre sur appui (sondage réalisé depuis la sous-face du plancher),
- Rebouchage à l'aide d'un mortier de réparation.

2.2.3. Rapport

- Une introduction présentant la mission confiée à Ginger CEBTP,
- La description des structures investiguées,
- Des plans d'implantation des zones de relevés et de reconnaissances,
- Des coupes des éléments de structure sondés,
- Résultats de nos études sur la capacité portante du plancher et de la poutre, accompagnés des notes de calculs détaillées en annexe.

2.2.4. Méthodologie

Carottages

Les sondages par carottage sous eau avec des carottiers en couronne diamant de diamètre adapté permettent de reconnaître précisément la nature et l'épaisseur des éléments structuraux et de prélever des échantillons pour des essais de caractérisation en laboratoire.

Repérage des armatures

- **Auscultation radar**

L'auscultation est effectuée au moyen d'un radar de type EasyScan HR (GSSI) ou équivalent.



Ce radar est dédié à la détection et localisation des armatures, conduites en métal et en plastique, câbles de précontrainte, vides dans le béton et à la mesure d'épaisseur de béton jusqu'à 40 cm de profondeur.

Le radar d'auscultation (radar de structure) fonctionne sur le principe de l'étude de la propagation d'une onde électromagnétique dans le milieu étudié. Le système envoie une onde (un pulse) de très courte durée dans le matériau et enregistre l'amplitude et le temps d'arrivée de chaque onde réfléchi. Les réflexions sont produites au droit de tout changement dans les propriétés de conduction du courant électrique du milieu (constante diélectrique). L'amplitude de la réflexion est déterminée par le contraste de permittivité diélectrique entre l'encaissant et la cible.

L'onde radar n'est pas émise selon une ligne droite depuis l'antenne mais elle décrit un cône d'émission d'une largeur connue. Le temps du trajet de l'onde au bord de ce cône est plus grand que celui au centre de l'antenne ; ceci est à l'origine de la forme d'hyperbole caractéristique d'un objet ponctuel (telle qu'une armature). La cible est située au sommet de cette signature.

Afin de déterminer la profondeur d'un objet ou l'épaisseur d'une couche, il faut connaître la constante diélectrique d'un béton, qui indique la vitesse des ondes radar. Cette constante, variant suivant la composition du béton, sa teneur en eau, son âge, etc... ne peut être déterminée sans sondages destructifs.

■ Auscultation pachométrique

Le repérage des armatures est effectué au moyen d'un pachomètre à acquisition de données (Ferroscan PS300 Hilti). Chaque armature qui se rapproche des sondes pachométriques engendre un signal électrique dont la différence de potentiel est d'autant plus élevée que l'armature est proche de la sonde. On enregistre ainsi une série de sinusoïdes dont les sommets correspondent exactement à la position des armatures. L'enregistrement est asservi à la vitesse de déplacement du chariot, ce qui permet de situer exactement la position des armatures par rapport à un niveau de référence.

Les signaux peuvent être enregistrés sous la forme de fichiers informatiques de 2 types :

- L### (Quickscan) : linéaire par balayage dans une direction jusqu'à 20 m de longueur qui permet de repérer les aciers perpendiculaires au sens de parcours de la mesure. Le résultat est donné sous forme de diagramme où l'on peut voir la position des aciers, leur espacement et leur enrobage,
- M### (Imagescan) : image scannée 60x60 cm par balayage dans 2 directions selon maillage 15x15 cm. Ce mode permet de visualiser en 2 D les armatures présentes dans l'aire de mesure.

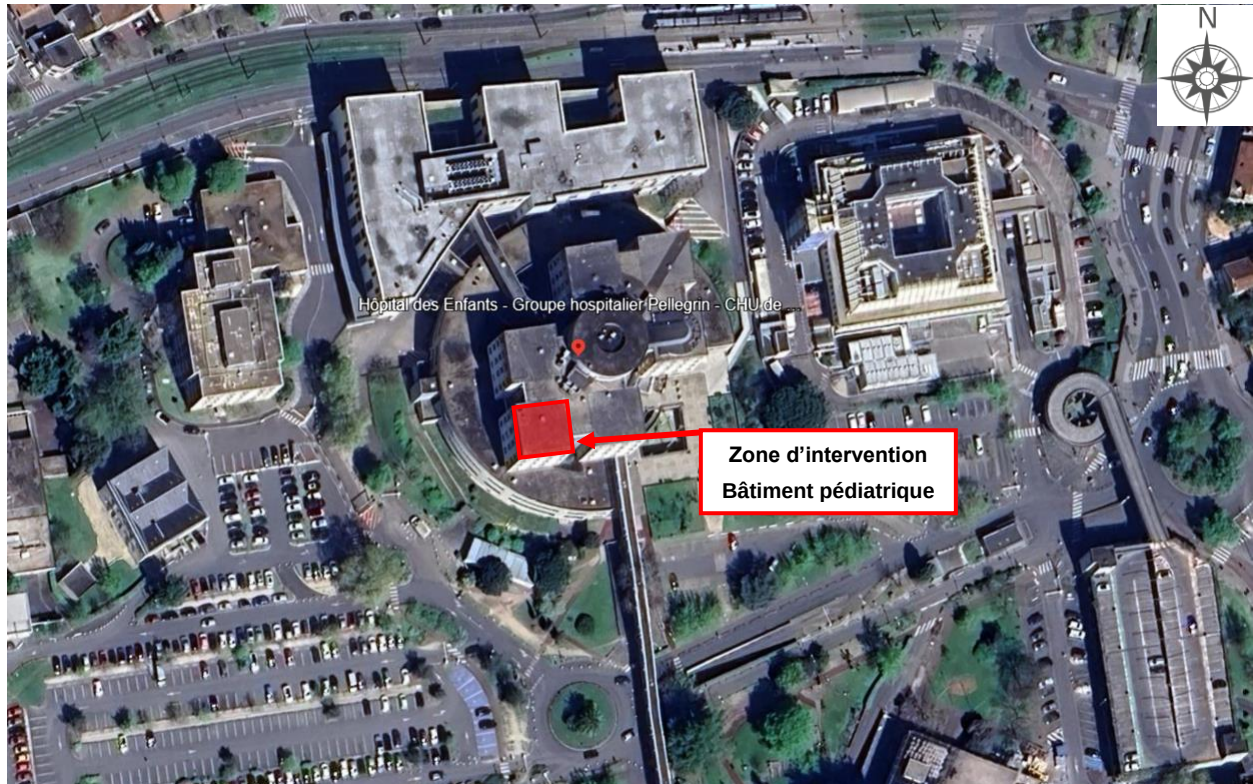
Après l'intervention, un traitement informatique grâce à un logiciel intégré, permet une représentation graphique des mesures, ainsi qu'une analyse statistique de celles-ci.



3. DESCRIPTION DU SITE

La présente mission porte sur des reconnaissances et d'études structurelles de la toiture terrasse du bâtiment pédiatrique du CHU Pellegrin situé à BORDEAUX (33).

L'implantation du bâtiment étudié est donnée sur la vue aérienne ci-dessous :



Photographie 1 : Vue aérienne des bâtiments objets de l'étude

[Source : <https://map.google.com/>]

Une vue en plan du niveau 6 comportant les éléments de structures de la zone étudiée est présentée ci-dessous :

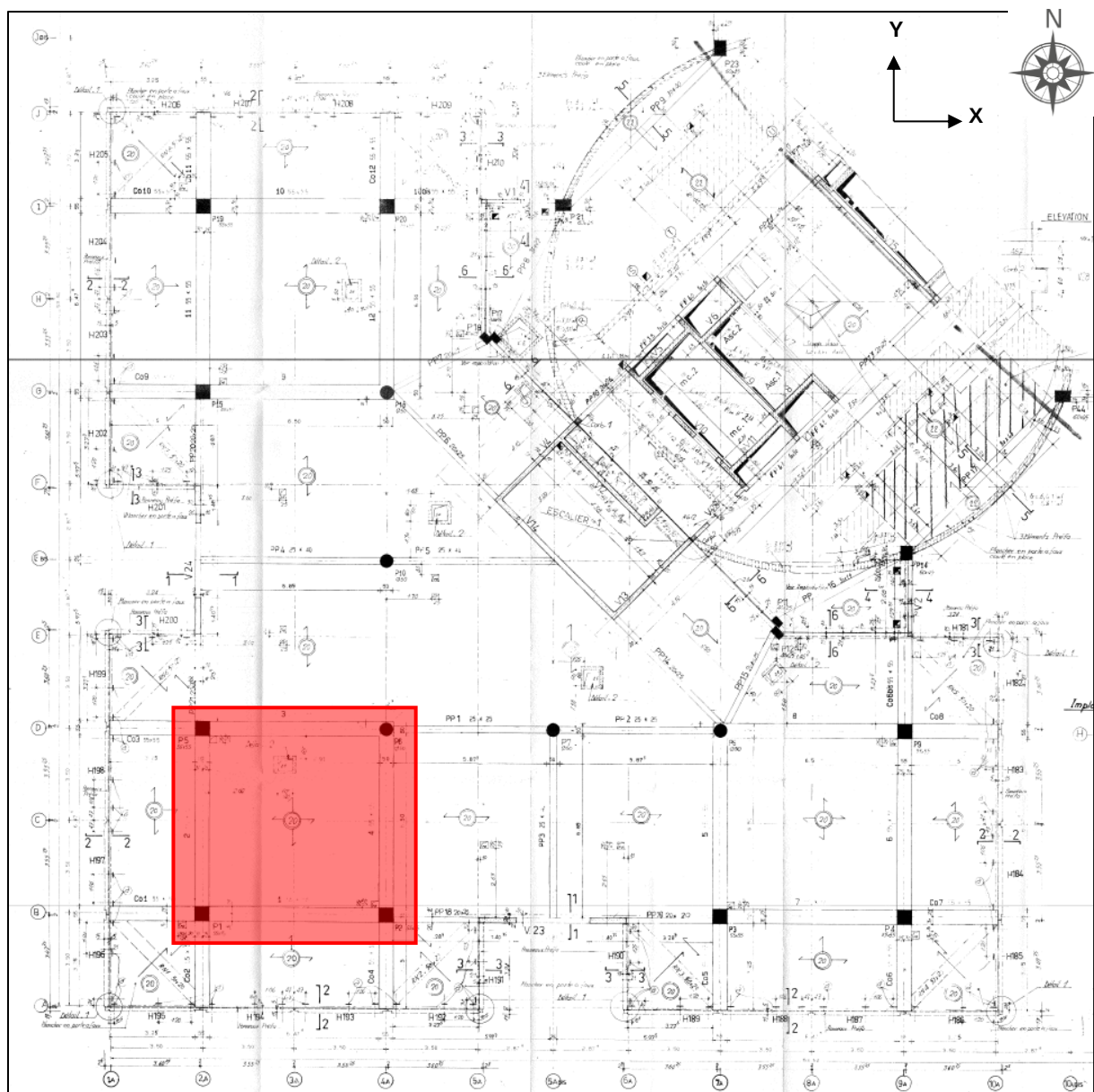


Figure 1 : implantation de la zone de sondage au niveau 6 du bâtiment pédiatrique

4. INVESTIGATIONS SUR SITE

4.1. Reconnaissance du plancher de la toiture terrasse

4.1.1. Constitution du plancher

La constitution de la toiture terrasse a été reconnue par auscultations radar de structure associée à un carottage diamant sous eau ($\varnothing 50$ mm), repéré C1.

L'implantation du carottage est donnée ci-dessous :

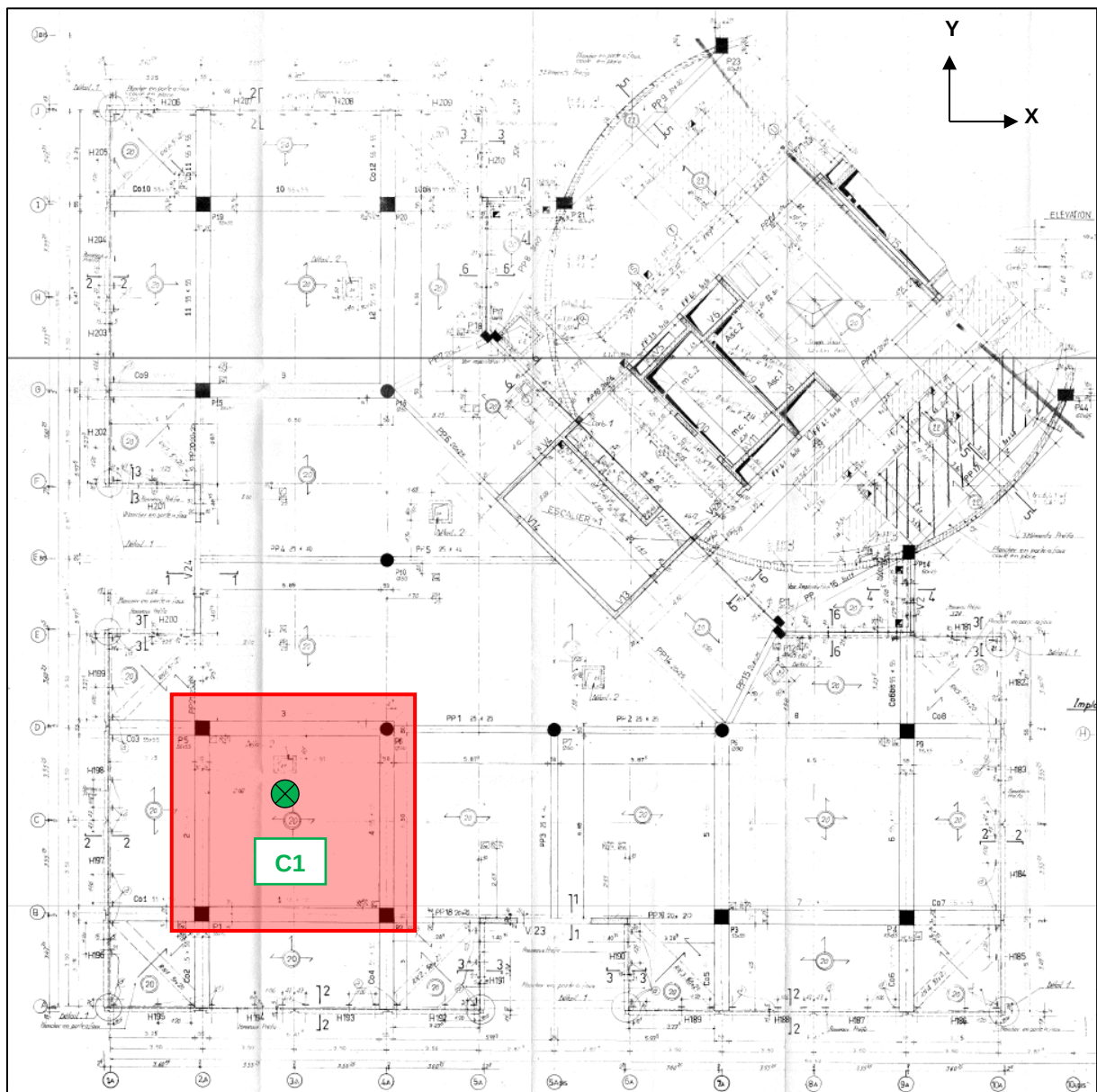
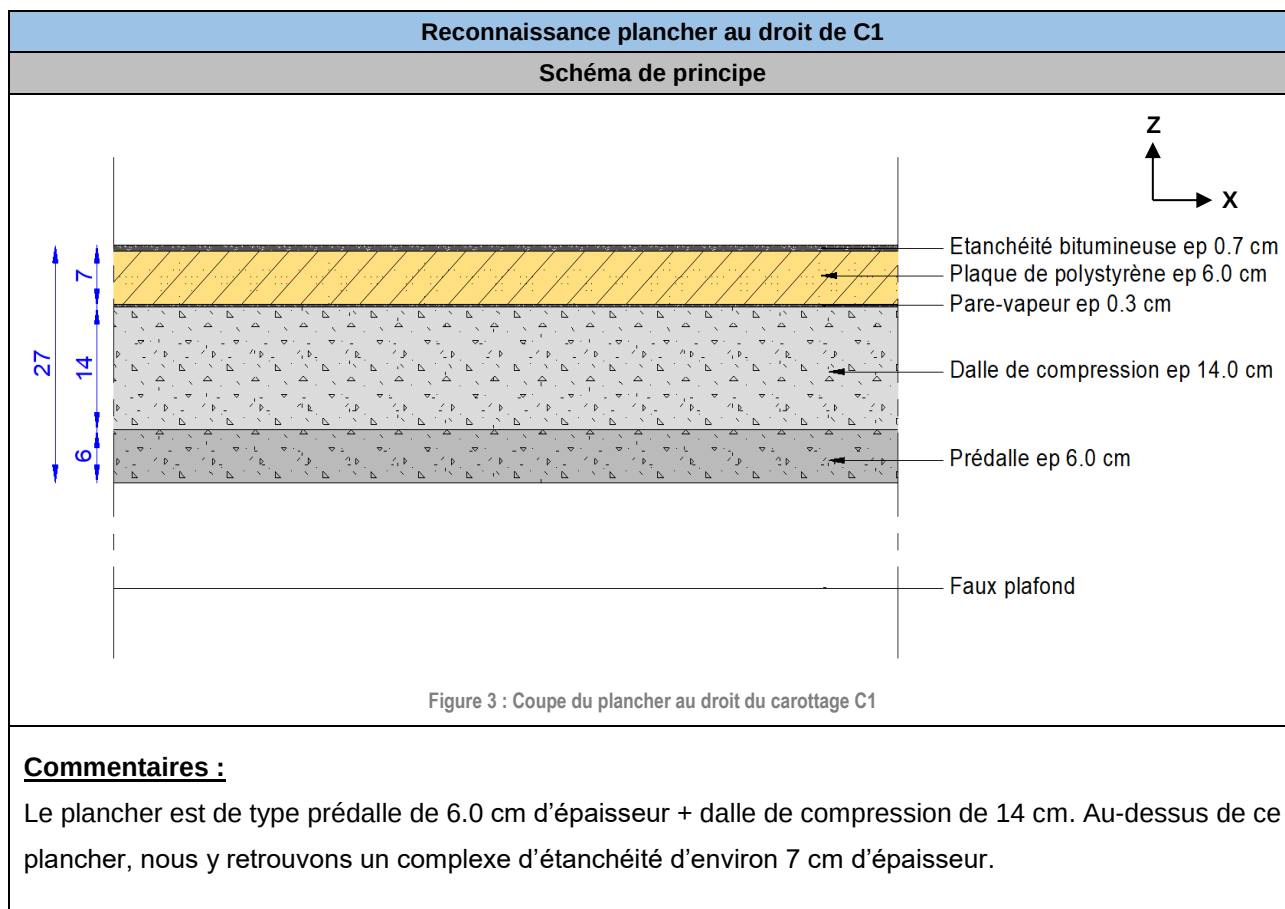


Figure 2 : Repérage du carottage C1 au droit de la toiture terrasse

Les résultats du carottage C1 sont présentés dans le tableau ci-dessous :



4.1.2. Reconnaissance des armatures de flexion d'une dalle

Le plancher toiture terrasse au droit de la zone d'étude est de type prédalle + dalle de compression. Les armatures constituant la prédalle dans la zone d'étude ont été reconnues par un sondage destructif ponctuel en sous face associé à des auscultations au radar de structure. Le repérage du sondage effectué est présenté ci-dessous :

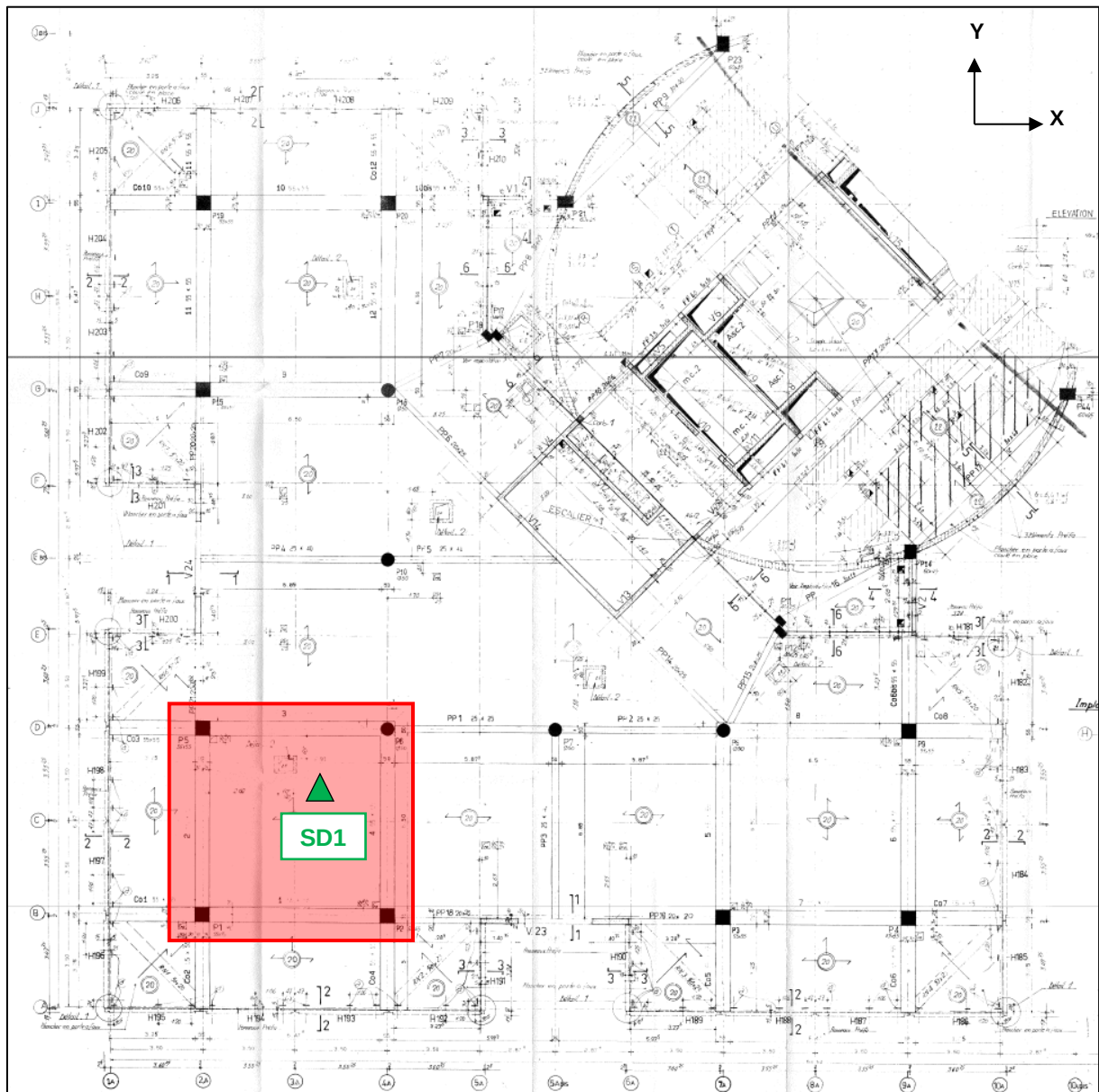


Figure 4 : Repérage du sondage SD1 de la dalle étudiée

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Sondage SD1						
Situation : Zone étudiée sous-face						
Auscultations pachométriques et sondage destructif ponctuel						
Localisation		N° fichier	Armatures	N : Nombre E : espacement moyen	Enrobage/Sous-face de la prédalle	
					min	max
Mi travée	Sous-face	P2_F01	HLEØ5 mm	E ~ 8.7 cm	15 mm	22 mm
		P2_F02	HAØ4 mm	E ~ 25.0 cm	23 mm	39 mm

Coupe déduite du sondage

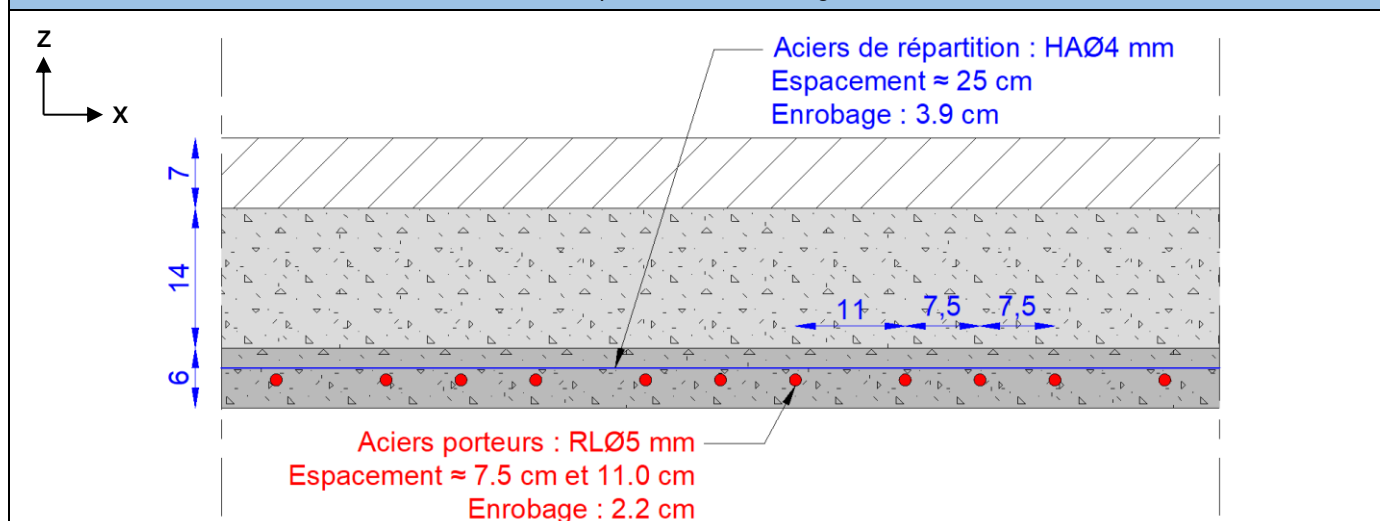


Figure 5 : Coupe transversale à mi-travée du sondage SD1

Photographie du sondage



Commentaires :

La dalle étudiée est précontrainte en partie inférieure, à mi travée :

- Dans le sens porteur (**sens Y**) par des armatures de précontrainte de type HLE Ø 5 mm espacées d'environ 7.5 cm et 11.0 cm
- Dans le sens de répartition (sens X) par des armatures de type HA Ø 4 mm espacés d'environ 25 cm.

La portée entre nus de la dalle sondée est de 6.475 m.

Nota : contrairement au plan de coffrage fourni, la dalle a un seul sens de porteur (suivant Y) et non deux.

4.1.3. Reconnaissance des armatures de continuité du plancher

Une reconnaissance des armatures de continuité du plancher au niveau d'un appui intermédiaire (poutre) a été réalisée depuis la surface. L'implantation du sondage réalisé, noté CH1, est présentée sur la vue en plan ci-dessous :

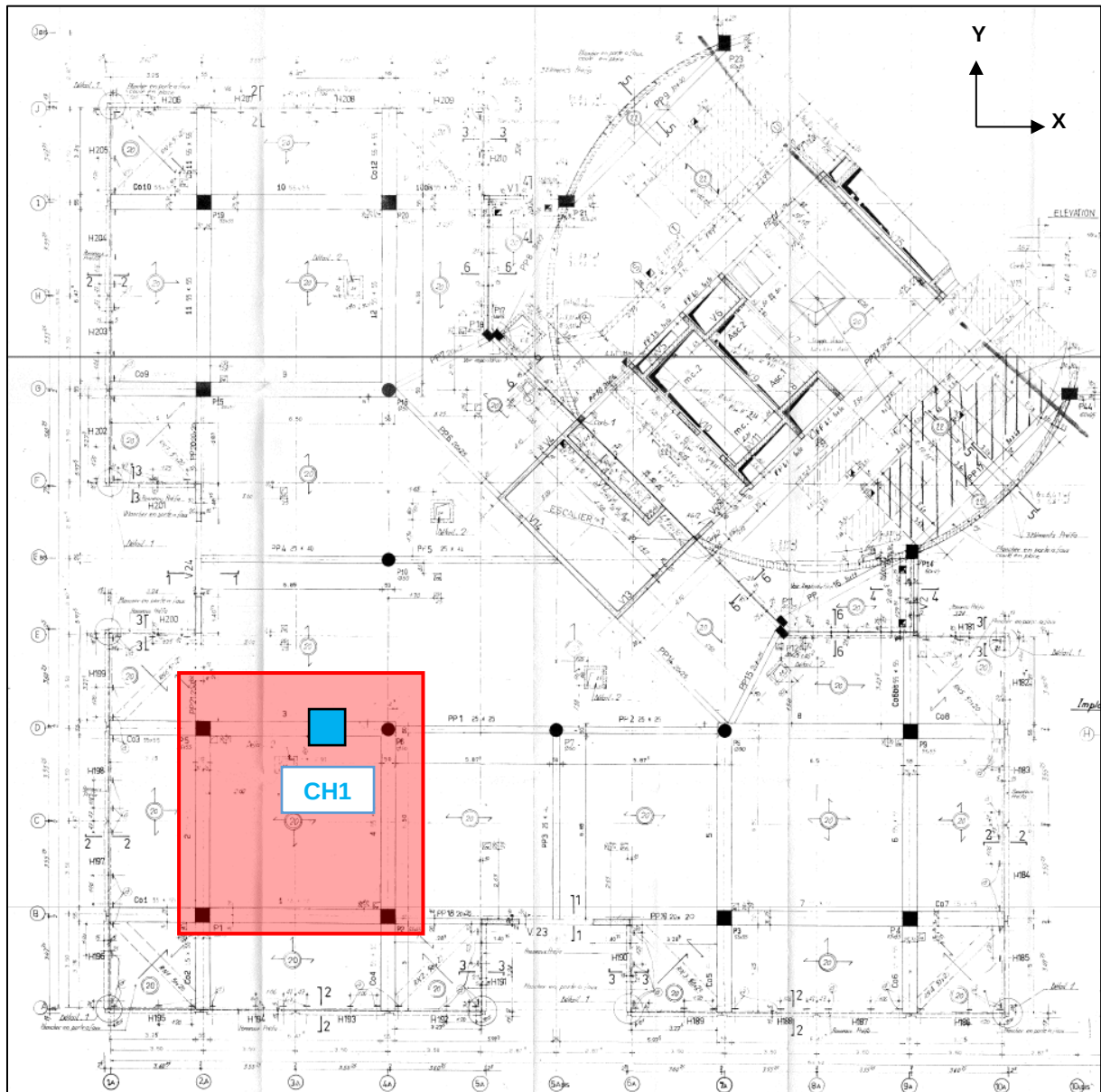
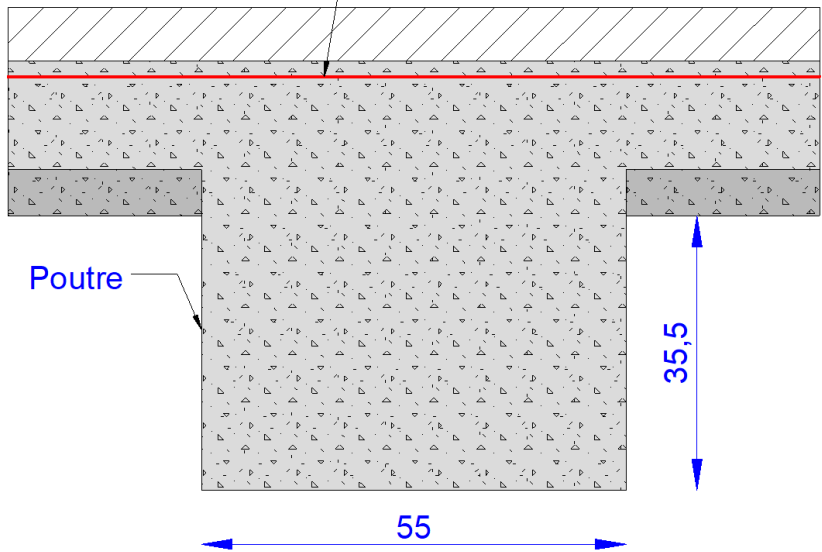


Figure 6 : Repérage du sondage CH1 sur la dalle étudiée en partie supérieure

Les résultats du sondage sont présentés ci-dessous :

Sondage CH1						
Situation : Zone étudiée surface						
Auscultations pachométriques et sondage destructif ponctuel						
Localisation		N° fichier	Armatures	N : Nombre E : espacement moyen	Enrobage/surface de la dalle de compression	
					min	max
Sur Appui	Surface	P1_F71 P1_F72	RLØ14 mm	E ~ 20 cm	--	--
Coupe déduite du sondage						
Aciers porteurs : RLØ14 mm Espacement ≈ 20 cm Enrobage : 2.0 cm  Figure 7 : Coupe transversale à mi- travée du sondage CH1						
Photographie du sondage						
						
Commentaire :						
- La dalle étudiée au droit de l'appui intermédiaire CH1, est armée en partie haute par des armatures de type RL Ø 14 mm espacées d'environ 20.0 cm.						

4.2. Reconnaissance de la poutre principale

4.2.1. Reconnaissance des armatures de flexion de la poutre

Les armatures de flexion de la poutre dans la zone d'étude ont été reconnues par un sondage destructif ponctuel en sous face. L'implantation du sondage réalisé, noté SP1, est présentée sur la vue en plan ci-dessous :

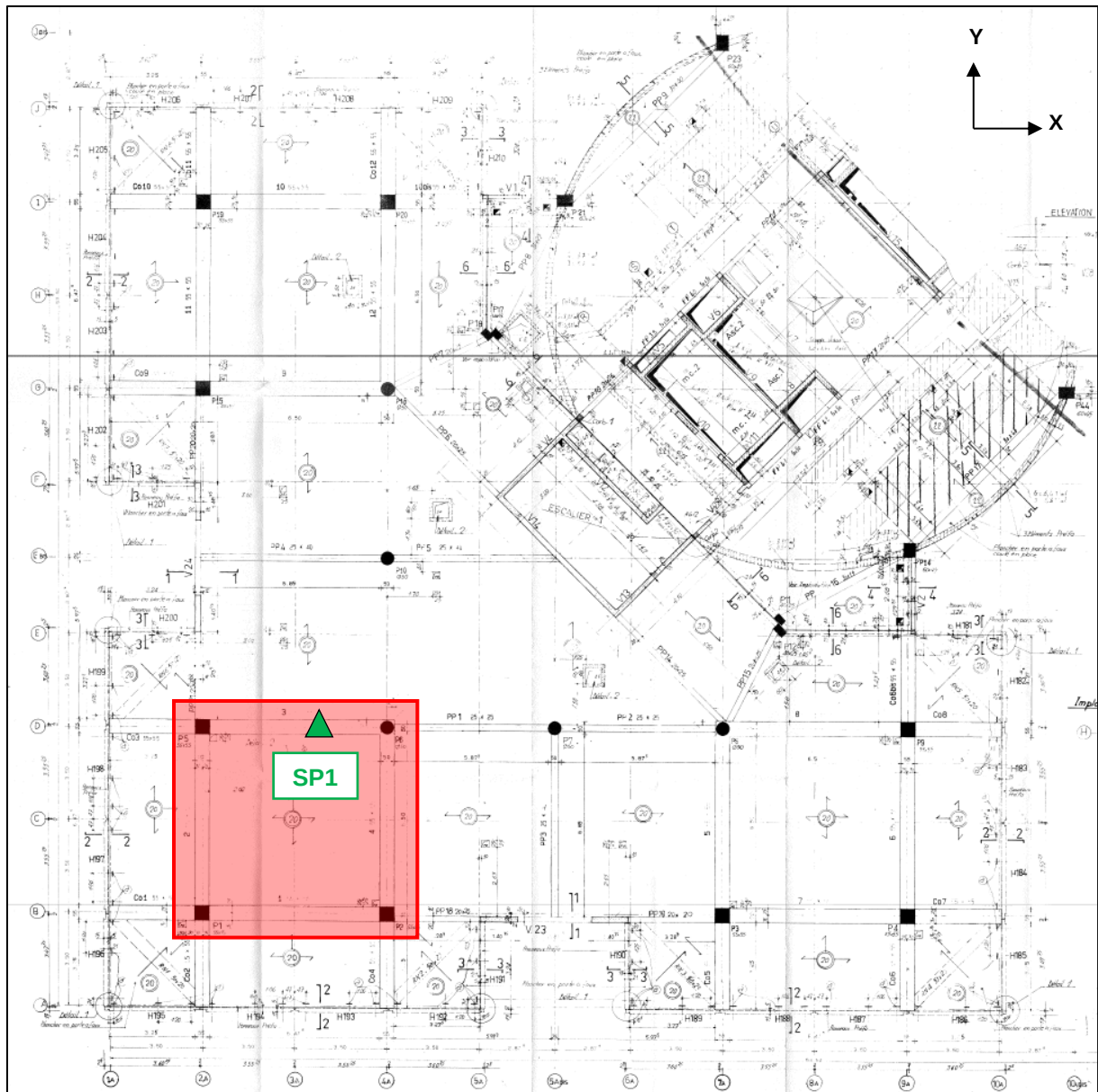
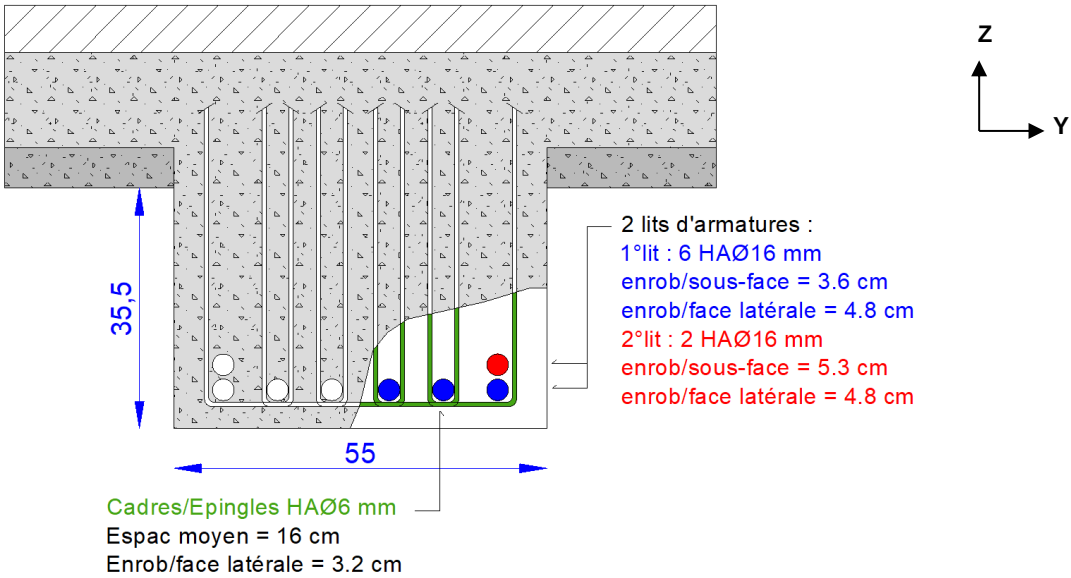


Figure 8 : Repérage du sondage SP1 de la poutre étudiée

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Sondage sur poutre SP1 <i>Situation : Zone étudiée en sous-face</i>						
Auscultations pachométriques et sondages destructifs ponctuels						
Localisation		N° fichier	Armature	N : Nombre E : espacement moyen	Profondeur (cm)	
					min	moy
Mi-travée	Sous-face / Face latérale	F1 – F2	Armatures longitudinales HA Ø16 mm	N = 1 ^{er} lit de 6 armatures 2 ^{ème} lit de 2 armatures	2.6	3.1
Sur Appui	Face latérale	F3 – F4	Cadres HA Ø6 mm	E ~ 16 cm	2.9	32
Coupe déduite du sondage						
 2 lits d'armatures : 1^{er}lit : 6 HAØ16 mm enrob/sous-face = 3.6 cm enrob/face latérale = 4.8 cm 2^{er}lit : 2 HAØ16 mm enrob/sous-face = 5.3 cm enrob/face latérale = 4.8 cm Cadres/Epingles HAØ6 mm Espac moyen = 16 cm Enrob/face latérale = 3.2 cm						
Figure 9 : Coupe à mi-travée de la poutre au droit du sondage réalisé SP1						
						
Commentaire : - Type : Poutre en béton armé - Portée : ~ 6.475 m						

4.2.2. Reconnaissance des armatures de continuité de la poutre

Une reconnaissance des armatures de continuité de la poutre au niveau d'un appui a été réalisée depuis la surface. L'implantation du sondage réalisé, noté SP2, est présentée sur la vue en plan ci-dessous :

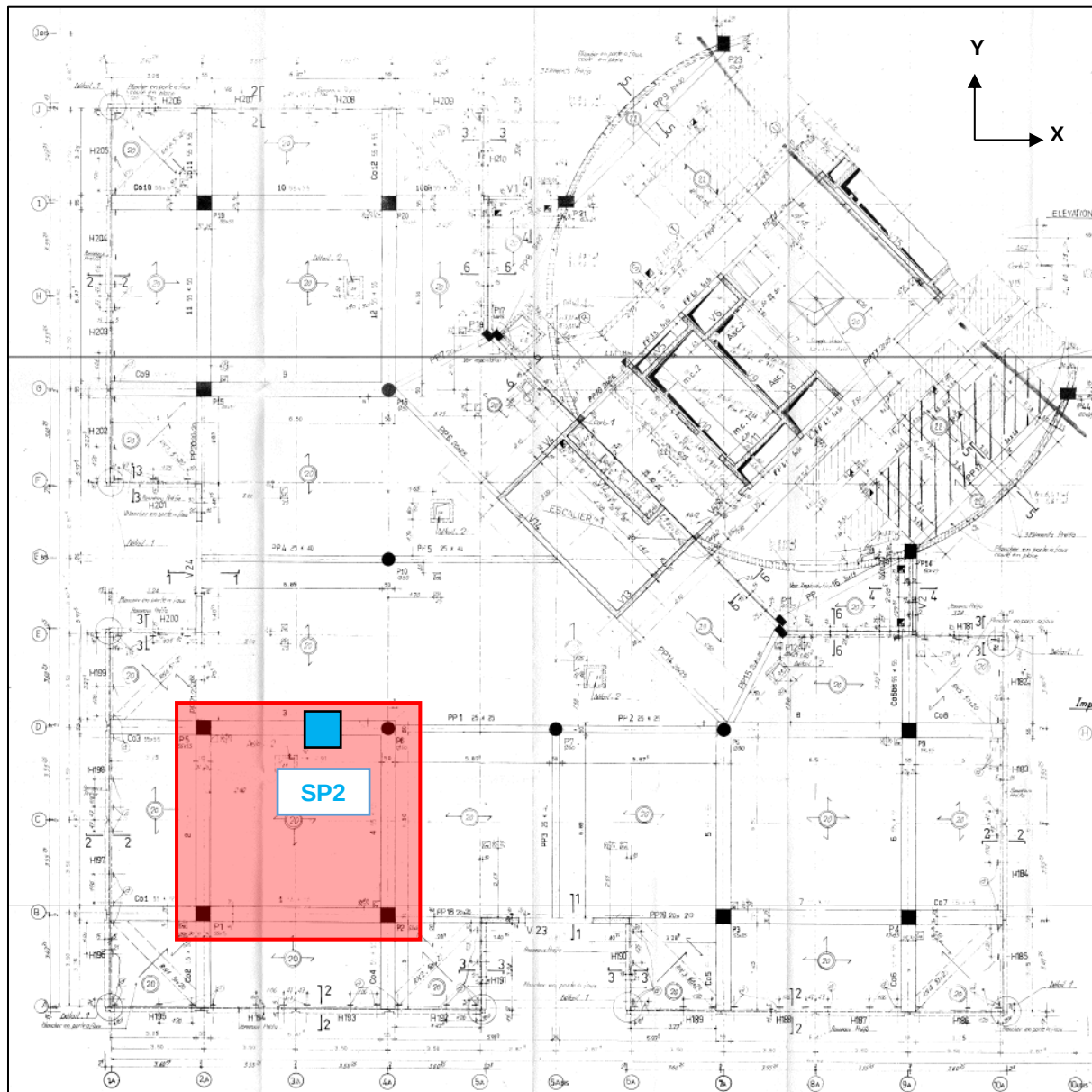
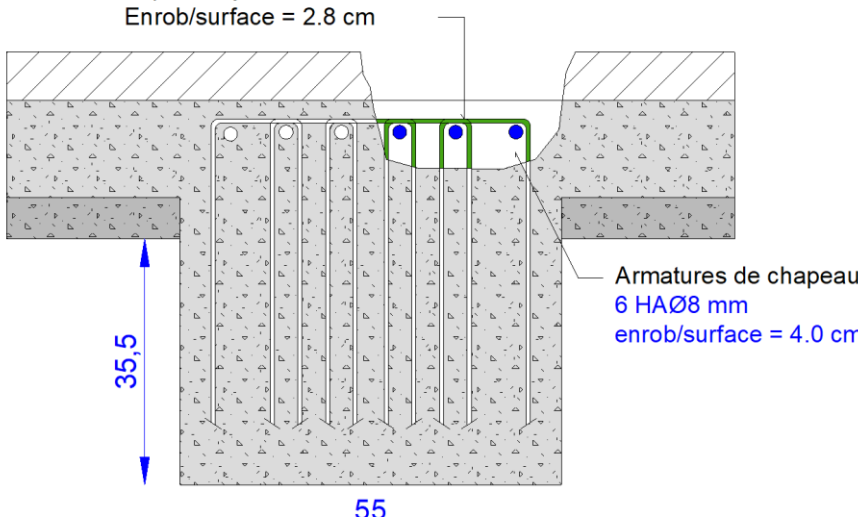


Figure 9 : Repérage en surface du sondage SP2 de la poutre étudiée

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Sondage sur poutre SP2 <i>Situation : Zone étudiée en surface</i>						
Auscultations pachométriques et sondages destructifs ponctuels						
Localisation		N° fichier	Armature	N : Nombre E : espacement moyen	Profondeur (cm)	
					min	moy
Mi-travée	Surface	P2_F04	Armatures longitudinales HA Ø8 mm	N = 6 armatures	3.8	4.2
Sur Appui	Surface	P1_F70	Cadres HA Ø6 mm	E ~ 16 cm	2.4	2.9
Coupe déduite du sondage						
Cadres/Epingles HAØ6 mm Espac moyen = 16 cm Enrob/surface = 2.8 cm  Armatures de chapeau 6 HAØ8 mm enrob/surface = 4.0 cm 35,5 55 Figure 9 : Coupe à mi-travée de la poutre au droit du sondage réalisé SP2						
						
Commentaire : - Type : Poutre en béton armé - Portée : ~ 6.475 m - Selon le diamètre des armatures relevées en chapeau comparées à celles relevées en travée, la poutre n'est donc pas continue avec la travée annexe.						

5. Études structurelles

5.1. Cadre normatif

Les calculs ont été menés sur la base des résultats d'investigations et suivant les règlements Eurocodes :

- NF EN 1990 : Eurocode 0 – Base de calcul des structures.
- NF EN 1991 (ou NF P 06-004 si absent de l'EC1) : Eurocode 1 – Actions sur les structures.
- NF EN 1992 : Eurocodes 2 – Calcul des structures en béton,
- CPT plancher pour les prédalles.

5.2. Hypothèses

Les hypothèses prises en compte dans les calculs sont les suivantes :

✓ **Hypothèses de modélisation :**

Les études ont été réalisées en considérant des **éléments et assemblages sains et en bon état.**

✓ **Hypothèses matériaux :**

Béton de structure :

- | | |
|--|--------|
| - Résistance à la compression du béton précontraint F_{ck} : | 30 MPa |
| - Résistance à la compression du béton F_{ck} : | 25 MPa |
| - Coefficient partiel de sécurité γ_c (ELUSTR) : | 1.5 |

Armature béton armé :

- | | |
|---|------------|
| - Limite d'élasticité F_e des armatures TOR et HA : | 400 MPa |
| - Limite d'élasticité F_e des armatures RL : | 235 MPa |
| - Coefficient partiel de sécurité γ_s : | 1.15 |
| - Diagramme à palier incliné : | $k : 1.05$ |

Armature de précontrainte de type HLE :

- | | |
|--|-----------|
| - Résistance nominale à la traction : | 1 860 MPa |
| - Coefficient partiel de sécurité γ_s : | 1.15 |

✓ **Hypothèses charges permanentes : (suivant la NF EN 1991-1-1 et son AN)**

- | | |
|--|-------------------------|
| - Poids volumique du béton armé : | 2500 daN/m ³ |
| - Poids volumique de plaque de polystyrène : | 25 daN/m ³ |
| - Poids volumique étanchéité bitumineuse | 2400 daN/m ³ |
| - Poids volumique du pare-vapeur | 2400 daN/m ³ |
| - Poids surfacique du faux plafond | 20 daN/m ² |

✓ **Charges d'exploitation : (suivant la NF EN 1991-1-1 et son AN)**

Le projet prévoit l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en toiture. La toiture étudiée est considérée comme inaccessible. La capacité portante de la dalle de toiture sera donc déterminée en fonction de la charge d'exploitation suivante :

Catégorie H (*Toiture inaccessible sauf pour entretien et réparation*) : **$Q = 100 \text{ daN/m}^2$**

✓ **Charges climatiques : (suivant la NF EN 1991-1-3 et son AN)**

Charges de neige : **36 daN/m^2**

Les charges climatiques de type neige ne sont pas simultanées avec les charges d'entretien de catégorie H. Par conséquent, seules les charges d'entretien seront prises en compte dans le dimensionnement.

5.3. Modélisation

5.3.1. Hypothèse de calcul du plancher

Le plancher dans la zone d'étude est considéré comme continu et porteur dans un seul sens (le sens Y), selon les différents sondages réalisés en surface et en sous-face. Pour déterminer sa capacité portante, cette prédalle sera considérée comme hyperstatique entre les files A et J, ce qui correspond à 6 travées avec les travées aux extrémités reprises par les consoles.

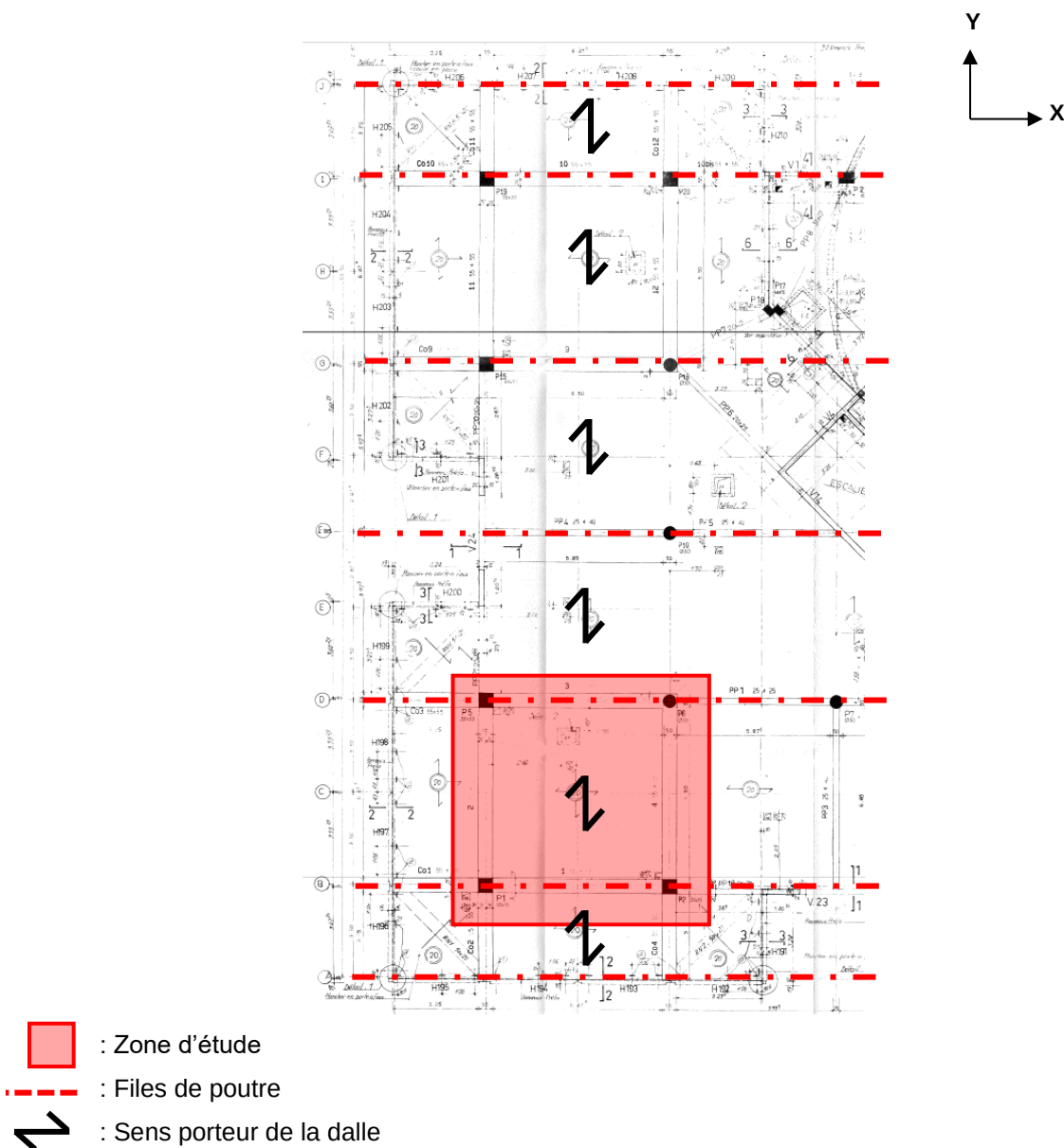
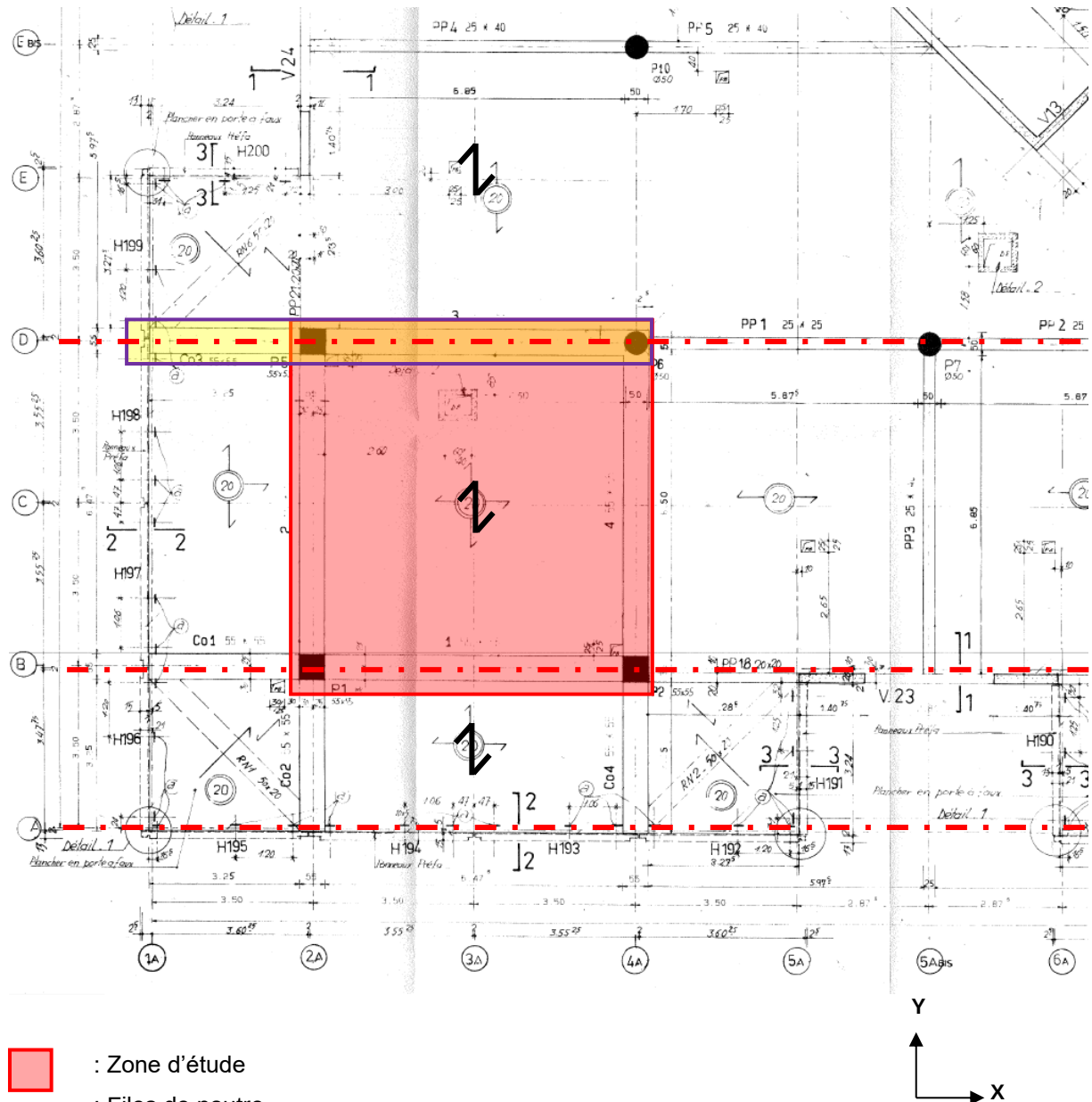


Figure 10 : Repérage du sens de portée du plancher

5.3.2. Hypothèse de calcul de la poutre

Pour déterminer la capacité portante de la poutre 3 dans la zone d'étude, 2 travées seront prises en compte entre les files 1A et 4A. Comme l'indiquent les plans fournis, la travée 1A–2A sera modélisée en console.



- : Zone d'étude
- : Files de poutre
- : Repérage des travées considérées

Figure 11 : Repérage des travées étudiées

5.4. Détermination du taux de travail des éléments

5.4.1. Vérification de la dalle sondée

L'étude a été réalisée en prenant en compte :

- Des charges permanentes $G = 546 \text{ kg/m}^2$,
- Des charges variables $Q = 100 \text{ kg/m}^2$.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Vérification de la toiture terrasse							
Localisation	Portée	Charge considérée	Armatures		Vérification du ferrailage ELU		
					Sollicitation maximale [kN.m]	Résistance Maximale [kN.m]	Taux
Dalle	Ly = 6.475 m	1.35 G + 1.5 Q Q = 100 kg/m²	Longitudinales <i>en travée</i>	Suivant Y	34.67	55.28	63%
	Ly = 6.475	1.35 G + 1.5 Q Q = 100 kg/m²	Longitudinales <i>en appui</i>	Suivant Y	34.99	26.31	137%

Afin d'obtenir des résultats cohérents avec la configuration constructive du plancher, dans laquelle le moment résistant en travée est nettement plus important en travée qu'aux appuis, une étude complémentaire est réalisée avec **la méthode forfaitaire (Annexe E1) du BAEL91 modifié 99**.

Vérification de la toiture terrasse							
Localisation	Portée	Charge considérée	Armatures		Vérification du ferrailage ELU		
					Sollicitation maximale [kN.m]	Résistance Maximale [kN.m]	Taux
Dalle	Ly = 6.475 m	1.35 G + 1.5 Q Q = 100 kg/m²	Longitudinales <i>en travée</i>	Suivant Y	47.93	55.28	87%
	Ly = 6.475	1.35 G + 1.5 Q Q = 100 kg/m²	Longitudinales <i>en appui</i>	Suivant Y	21.73	26.31	83%

5.4.2. Vérification de la poutre sondée

L'étude a été réalisée en prenant en compte :

- Des charges permanentes $G = 546 \text{ kg/m}^2$,
- Des charges variables $Q = 100 \text{ kg/m}^2$,
- Le poids propre de la poutre $G' = 488 \text{ kg/ml}$.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Vérification de poutre en béton armé							
Localisation	Géométrie	Charge considérée	Armatures		Vérification du ferrailage ELU		
					As,reel	As,théorique	Taux
Poutre	S = 55 x 55.5 cm L = 6.475 m	1.35 (G + G') + 1.5 Q Q = 100 kg/m²	À mi-portée	Longitudinales	16.02 cm ²	15.63 cm ²	97 %
			Sur appui	Cadres	19.60 cm ² /ml	15.69 cm ² /ml	80 %

5.5. Détermination de la capacité portante des éléments

En fonction de la configuration structurelle de la toiture terrasse, une capacité portante de la dalle est déterminée considérant l'ajout de charges permanentes (correspondant aux charges permanentes supplémentaires admissibles).

La zone d'étude est limitée par le taux maximal de travail de la poutre P3. En effet, cette dernière présente un taux de travail de 97 % en flexion simple à l'État Limite Ultime (ELU).

L'étude a été réalisée en prenant en compte la charge maximale que peut reprendre la poutre, en considérant une charge permanente additionnelle de G_a de 20 kg/m².

5.5.1. Vérification de la dalle sondée

L'étude a été réalisée en prenant en compte :

- Des charges permanentes $G = 546 \text{ kg/m}^2$,
- Des charges variables $Q = 100 \text{ kg/m}^2$,
- Des charges permanentes additionnelles $G_a = 20 \text{ kg/m}^2$.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Vérification de la toiture terrasse							
Localisation	Portée	Charge considérée	Armatures		Vérification du ferrailage ELU		
					Sollicitation maximale [kN.m]	Résistance Maximale [kN.m]	Taux
Dalle	Ly = 6.475 m	$1.35 (G + G_a) + 1.5 Q$ $Q = 100 \text{ kg/m}^2$	Longitudinales en travée	Suivant Y	49.63	55.28	90%
	Ly = 6.475 m	$1.35 (G + G_a) + 1.5 Q$ $Q = 100 \text{ kg/m}^2$	Longitudinales en appui	Suivant Y	22.11	26.31	84%

5.5.2. Vérification de la poutre sondée

L'étude a été réalisée en prenant en compte :

- Des charges permanentes $G = 546 \text{ kg/m}^2$,
- Des charges variables $Q = 100 \text{ kg/m}^2$,
- Le poids propre de la poutre $G' = 488 \text{ kg/ml}$,
- Des charges permanentes additionnelles $G_a = 20 \text{ kg/m}^2$.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

Vérification de poutre en béton armé							
Localisation	Géométrie	Charge considérée	Armatures		Vérification du ferrailage ELU		
					As, reel	As, théorique	Taux
Poutre	S = 55 x 55.5 cm L = 6.475 m	$1.35 (G + G' + G_a) + 1.5 Q$ $Q = 100 \text{ kg/m}^2$	À mi-portée	Longitudinales	16.02 cm ²	16.02 cm ²	100 %
			Sur appui	Cadres	19.60 cm ² /ml	16.10 cm ² /ml	82 %

6. SYNTHÈSE

En considérant les charges actuelles, la toiture-terrasse est correctement dimensionnée au regard des exigences de l'État Limite Ultime (ELU). Elle est capable de reprendre les charges permanentes ainsi que les charges d'exploitation variables fixées à $Q = 100 \text{ daN/m}^2$, conformément à la catégorie H des normes en vigueur, correspondant à une toiture inaccessible, sauf pour les interventions d'entretien ou de réparation.

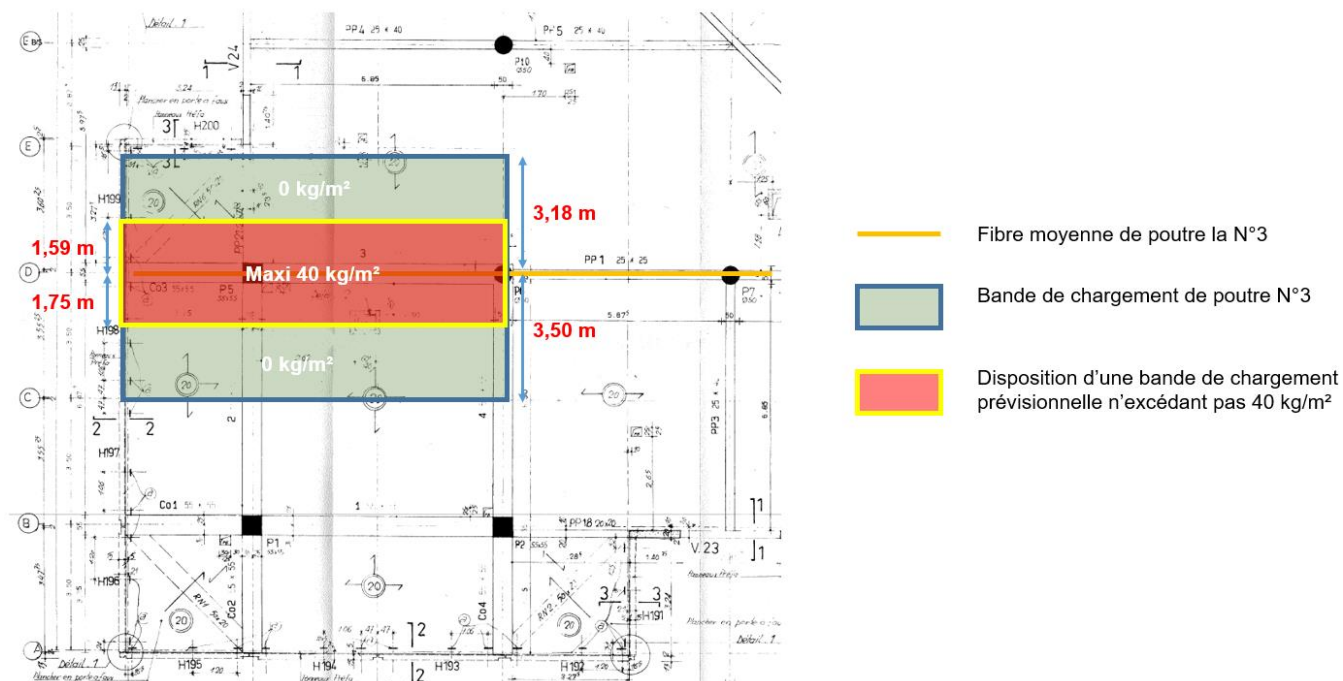
Selon les hypothèses faites, basées sur nos investigations, la zone d'étude est limitée par la poutre n°3, où les aciers sollicités en flexion simple atteignent 97 % de leur capacité maximale à l'ELU. Ce taux élevé d'utilisation indique que la structure fonctionne proche de ses limites admissibles. Par conséquent, il est uniquement possible d'ajouter des charges permanentes supplémentaires de l'ordre de 20 kg/m^2 , sans compromettre la sécurité de l'ouvrage.

Par ailleurs, les armatures de chapeau de la partie en console de cette poutre n'ont pas été définies lors de l'intervention. Toutefois, notre étude complémentaire a permis de déterminer qu'une section minimale d'acier de $22,85 \text{ cm}^2$ est nécessaire pour assurer l'équilibre de cette travée en porte-à-faux et garantir sa stabilité. Une section d'acier plus élevée permettrait de revoir la capacité portante du plancher à la hausse.

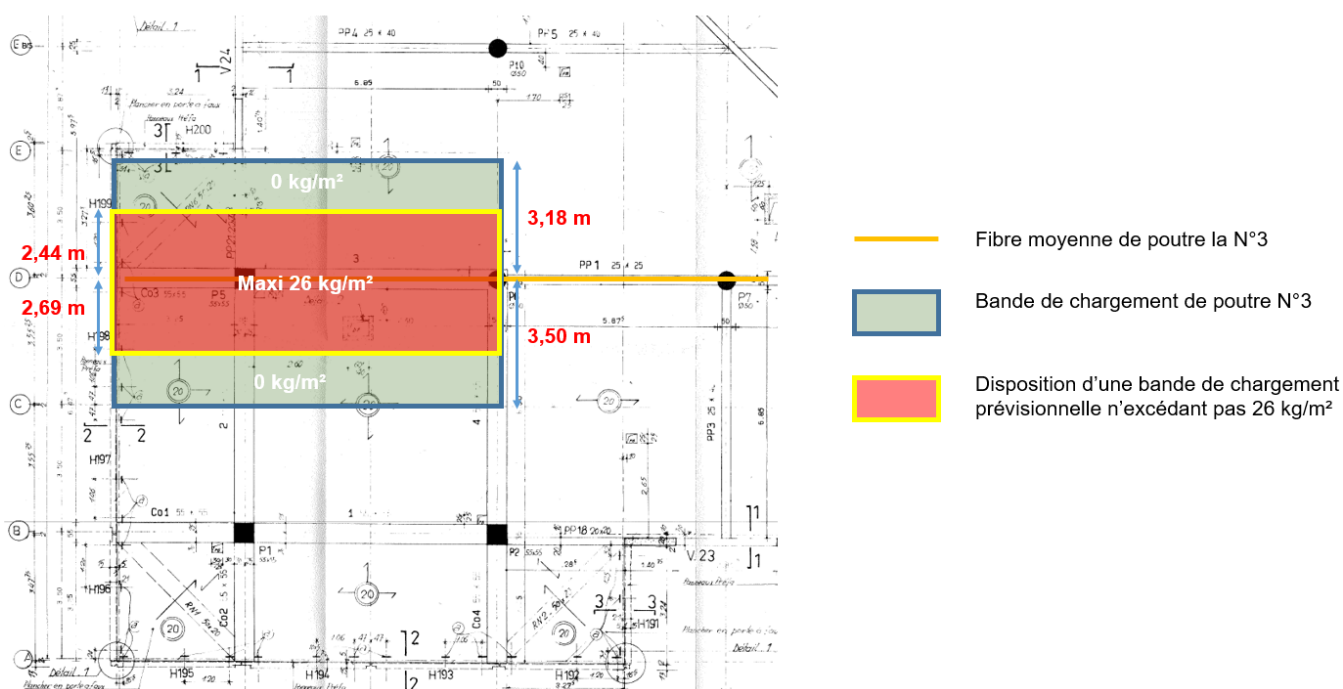
En tenant compte du projet envisagé sur cette toiture-terrasse et des limites de sollicitation calculées pour la poutre n°3, il est envisageable d'ajouter une charge répartie de 40 kg/m^2 à condition que celle-ci soit appliquée uniquement sur la moitié de la zone d'influence de la poutre. Cette répartition permet de respecter la contrainte maximale admissible de 20 kg/m^2 sur la bande de chargement effective, conformément aux capacités résiduelles identifiées à l'ELU.

Les figures suivantes sont données en guise d'illustration :

- Pour une charge maximale de 40 kg/m²



- Pour une charge maximale de 26 kg/m²



Cette approche permet d'intégrer le projet sans compromettre la sécurité structurelle, à condition que la répartition des charges soit strictement maîtrisée et que la mise en œuvre respecte les limites géométriques et mécaniques définies par l'étude.

ANNEXE 1 : NOTE DE CALCUL DU PLANCHER

VÉRIFICATION DU PLANCHER

■ Détermination du moment résistant en flexion

 Agence de BORDEAUX	ETUDE PREDALLE BETON PRECONTRAINTE SUIVANT CPT PLANCHER - CAHIERS CSTB 3221 Mai 2000
Affaire :	Dossier SBX3.OM003.0006 - Hopital Pédiatrique (CH Pellegrin)
Elément :	Toiture terrasse

1. Hypothèse générale

Classe d'exposition :	XC1		
Fissuration :	Ouverture de fissure maximum = 0.4 mm		
Méthode de calcul :	Méthode du moment réduit ultime		
Coefficients de sécurité ELU :	$\gamma_c = 1.50$	$\gamma_s = 1.15$	
Coefficients de sécurité ELUA :	$\gamma_c = 1.20$	$\gamma_s = 1.00$	
Coefficients de sécurité ELUS :	$\gamma_c = 1.30$	$\gamma_s = 1.00$	
Limite de l'étude :	Pas de dispositions vis-à-vis des charges dynamiques		

2. Donnée géométrique

Portée :	7.00 m
H ₁ :	14.0 cm
H ₂ :	6 cm
H _{tot} :	20.0 cm
Enrobage :	20 mm
d :	17.8 cm



3. Donnée matériaux

Béton Prédalle	
Poids :	2500 kg/m3
f _{ck} :	30 MPa
γ _c :	1.50
σ _{bc} :	17.00 MPa
Béton dalle de compression	
Poids :	2500 kg/m3
f _{ck} :	25 MPa
γ _c :	1.50
f _{cd} :	14.17 MPa

Acier de précontrainte	
Ap :	0.196 cm²
f _{prg} :	1 770 MPa
f _{peg} :	1 573 MPa
E _p :	200 000 MPa
σ ₀ :	1 505 MPa
Pertes Δσ/σ ₀ :	25%
σ _{p1} :	1 234 MPa
σ _{p2} :	1 023 MPa
ε _{pu} :	5.64E-03

4. Chargements

Chargement permanentes : G	
Laine de verre ép. 9.0 cm	-
Etanchéité bitumineuse ép. 1.0 cm	-
Poids propre dalle ép. 22.0 cm	-
Gtotal :	546 kg/m²

Chargement d'exploitation : Q	
Charges variable (Neige)	-
Charges d'exploitation catégorie usage de bureaux	100 kg/m²
Qtotat :	100 kg/m²

5. Calculs des sollicitations

Moment charges permanentes M_G :	3 344 daN.m
Moment charges d'exploitation M_Q :	613 daN.m
Etats limite de services ELS :	-
Etats limite de ultime ELU :	3 467 daN.m

6. Calculs moment résistant a mi-travée

Moment résistant ultime Mul1		Armatures passives non considérées	→	Taux de travail :	63%
σ_p :	1 539 MPa				
n_1 :	11				
A_p :	0.196 cm²				
F_p :	0 N				
F_{prg} :	3 475 daN				
γ_s :	1.15				
M_{ru} :	5 528 daN.m	Etat limite ultime à la rupture			

Moment résistant ultime Mul2		Armatures sous-classe TBR	→	Taux de travail :	52%
H_{tot} :	20.0 cm				
H_2 :	6.0 cm				
F_{prg} :	3 475 daN				
n_1 :	11				
K_R :	1.5				
σ_{pm} :	4.25 MPa				
K_F :	2.0 MPa				
ψ_2 :	0.25				
M_{ru} :	6 622 daN.m	Etat limite ultime à la rupture			

■ Vérification du moment sur appui et du moment sollicitant en flexion

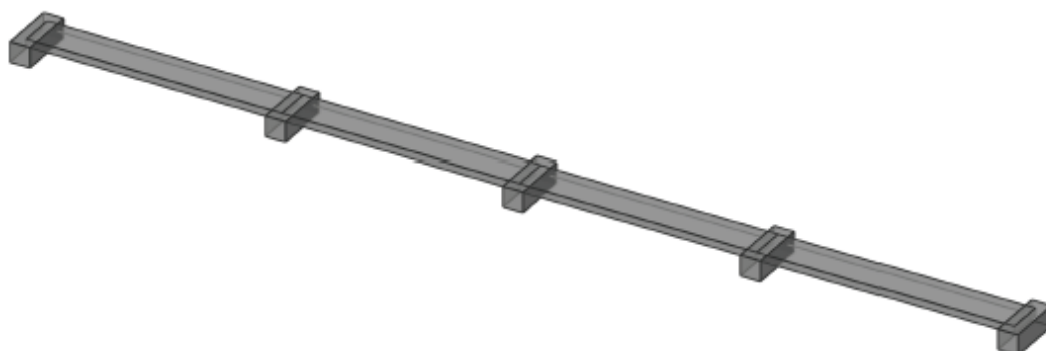
 GRAITEC INNOVATION www.graitec.com 17 Burospace 91572 Bièvres	Projet			
	Adresse			
	Note			
	Auteur		Date	
	Vérificateur		Date	
	Indice	0	Plan	T

Poutre en béton armé

Sommaire

1	Description de la géométrie.....	2
2	Charges et combinaisons.....	2
3	Hypothèses globales.....	3
3.1	Localisation.....	4
3.2	Unités.....	4
3.3	Matériaux.....	4
4	Sollicitations internes.....	5
4.1	Enveloppe des combinaisons ELU.....	7
4.2	Enveloppe des combinaisons ELS.....	7
5	Aciers longitudinaux.....	8
5.1	Calcul détaillé.....	9
6	Aciers transversaux.....	18
6.1	Hypothèses générales pour les aciers transversaux.....	18
6.2	Calcul détaillé.....	19
6.3	Dispositions constructives minimales.....	21
7	Vérification des contraintes.....	22
7.1	Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ.....	22
7.2	Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ.....	22
7.3	Enveloppe des combinaisons ELS-QP.....	23
8	Vérification de l'ouverture de fissures.....	27
9	Réactions d'appuis.....	31

1 Description de la géométrie



Travée : 2

Travée : 3

Longueur	$L = 5975 \text{ mm}$
Largeur de la poutre	$b_w = 1000 \text{ mm}$
Hauteur totale de la poutre	$H = 200 \text{ mm}$
Largeur de l'appui gauche	$b_{LS} = 550 \text{ mm}$
Largeur de l'appui droit	$b_{RS} = 550 \text{ mm}$

Travée : 1

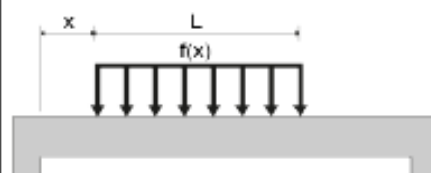
Travée : 4

Longueur	$L = 6475 \text{ mm}$
Largeur de la poutre	$b_w = 1000 \text{ mm}$
Hauteur totale de la poutre	$H = 200 \text{ mm}$
Largeur de l'appui gauche	$b_{LS} = 550 \text{ mm}$
Largeur de l'appui droit	$b_{RS} = 550 \text{ mm}$

2 Charges et combinaisons

Description des cas de charges								
ID	Titre	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	γ_{EQU}	γ_{STR}	$\gamma_{\text{EQU,Fav}}$	$\gamma_{\text{STR,Fav}}$
1	Permanentes 1	-	-	-	1.1	1.35	0.9	1
2	Surcharges d'exploitation 1	0	0	0	1.5	1.5	0	0

Charges linéaires uniformes					
Charge	Cas	f	x	L	h'
		(kN/m)	(mm)		
1	1	5.46	0	27100	-
2	2	1.00	0	27100	-



Description des combinaisons			
ID	Combinaison	Code	Type
101	1x[1 G]	ECELUSTR	ELU
102	1.35x[1 G]	ECELUSTR	ELU
103	1x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
104	1.35x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
105	1x[1 G]	ECELSQ	ELS
106	1x[1 G]+1x[2 Q]	ECELSQ	ELS
107	1x[1 G]	ECELSFQ	ELS
108	1x[1 G]+0.5x[2 Q]	ECELSFQ	ELS
109	1x[1 G]	ECELSQP	ELS
110	1x[1 G]+0.3x[2 Q]	ECELSQP	ELS

3 Hypothèses globales

Calcul béton :	EN1992-1-1 / EN1992-1-2.
Charges et combinaisons :	EN1990/EN1991.
Calcul des aciers longitudinaux :	EN1992-1-1 / 6.1 - Méthode du « moment réduit limite »
Calcul des aciers transversaux :	Méthode standard (EN1992-1-1, 6.2.2 / 6.2.3)
Béton :	Aucun béton avec fumée de silice Aucun béton hautes performances
Diagramme des aciers :	Diagramme à palier horizontal
Dispositions sismiques :	Pas de dispositions sismiques. Ductilité moyenne Poutre principale.
Résistance au feu :	R 0
Poids propre :	Avertissement - Aucun poids propre.
Mode de calcul de section :	Section rectangulaire.

3.1 Localisation

Localisation	France
Type d'élément	Poutre standard
ID de l'élément	1
Position	Poutre 1, Niveau 1
Plan	T
Niveau	0.00 m NGF
Coordonnées	$X_1 = 0.00 \text{ m}; Y_1 = 0.00 \text{ m}; Z_1 = 0.00 \text{ m}$ $X_2 = 27.10 \text{ m}; Y_2 = 0.00 \text{ m}; Z_2 = 0.00 \text{ m}$

3.2 Unités

Longueurs	mm
Efforts	kN
Moments	kN·m
Contraintes	MPa (MN/m ²)
Angles	°
Sections d'acier	cm ²
Ouverture de fissure	mm

3.3 Matériaux

Qualité de béton
(EN1992-1-1 / 3.1)

Travée 1

Classe de béton : C25/30

Travée 2

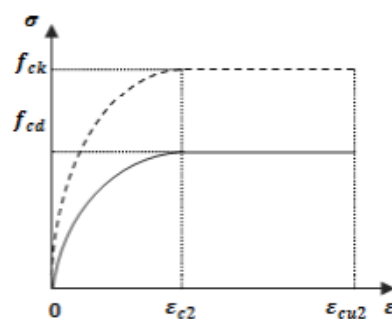
Classe de béton : C25/30

Travée 3

Classe de béton : C25/30

Travée 4

Classe de béton : C25/30



$$f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1.00 \times \frac{25.00 \text{ MPa}}{1.50} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot (f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \times (25.00 \text{ MPa})^{2/3} = 2.56 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \times \left[\frac{33.00 \text{ MPa}}{10} \right]^{0.3}$$

$$E_{cm} = 31475.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c2} = 2.00\text{‰}$$

$$\varepsilon_{cu2} = 3.50\text{‰}$$

$$\rho_c = 0.00 \text{ kg/m}^3$$

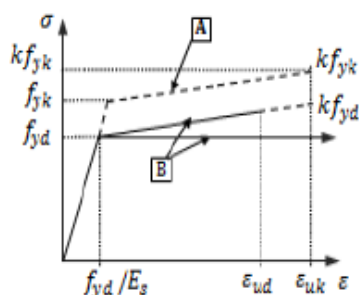
$$\text{ELU : } \gamma_c = 1.50$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_c = 1.20$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_c = 1.30$$

Nuance d'acier

(EN1992-1-1 / Section 3 / Annexe C)



Travée 1

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 2

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 3

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 4

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

$$f_{yk} = 235.00 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \min \left\{ k \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; f_{yk} \right\}$$

$$f_{yd} = \min \left\{ 1.05 \times \frac{235.00 \text{ MPa}}{1.15}; 235.00 \text{ MPa} \right\} = 204.35 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 400.00 \text{ MPa}$$

Classe de ductilité : A

$$E_s = 200000.00 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{uk} = 25.00\%$$

$$\epsilon_{ud} = 0.9\epsilon_{uk} = 0.9 \times 25.00 = 22.50\%$$

Diagramme à palier horizontal

$$k = 1.05$$

$$\text{ELU : } \gamma_s = 1.15$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_s = 1.00$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_s = 1.00$$

Travée	Enrobages								
	Haut			Bas			Latéral		
	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	25	25	14	25	25	14	25	25	14
2	25	25	14	25	25	14	25	25	14
3	25	25	14	25	25	14	25	25	14
4	25	25	14	25	25	14	25	25	14

Valeur minimale de l'enrobage pour la durabilité

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

(4.4.1.2 (5))

Tolérance d'exécution

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

(4.4.1.1 2(P))

Tolérance de sécurité

$$\Delta c_{dev} = 0 \text{ mm}$$

(4.4.1.2 (6))

Réduction pour l'acier inoxydable

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

(4.4.1.2 (7))

Réduction pour une protection supplémentaire

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

(4.4.1.2 (8))

4 Sollicitations internes

Tableau synthétique de résultats

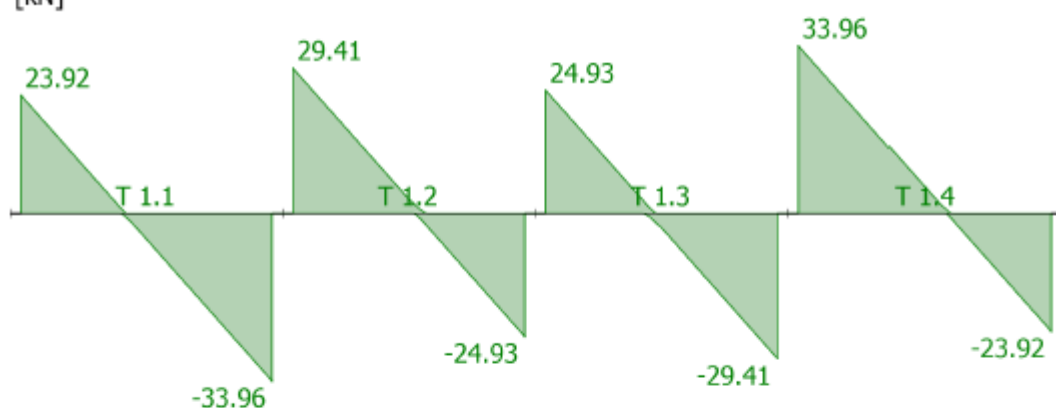
Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELU et ELS sont affichées.

Travée - Coupe	Abscisse	Face	M_{Ed}	M_{cqc}	M_{fq}	M_{qp}	V_{Ed}	T_{Ed}
	(m)		(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN)	(kN · m)
1 - Appui gauche	0.00	Haut	-5.20	-3.78	-3.44	-3.31	23.92	0.00
		Bas	2.44	1.77	1.62	1.56	0.00	0.00
1 - Appui droit	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - MInf	2.72	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Bas	34.67	25.18	22.93	22.03	-0.87	0.00
1 - VMax	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - wk Max	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - Contrainte Max Béton	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - Contrainte Max Acier	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - Flèche Max	0.00	Haut	-5.20	-3.78	-3.44	-3.31	23.92	0.00
		Bas	2.44	1.77	1.62	1.56	0.00	0.00
2 - Appui gauche	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Appui droit	5.97	Haut	-18.19	-13.13	-11.55	-10.92	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-24.93	0.00
2 - VMax	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - wk Max	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Contrainte Max Béton	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Contrainte Max Acier	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Flèche Max	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
3 - Appui gauche	0.00	Haut	-18.19	-13.13	-11.55	-10.92	24.93	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
3 - Appui droit	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - VMax	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - wk Max	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - Contrainte Max Béton	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - Contrainte Max Acier	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - Flèche Max	0.00	Haut	-18.19	-13.13	-11.55	-10.92	24.93	0.00

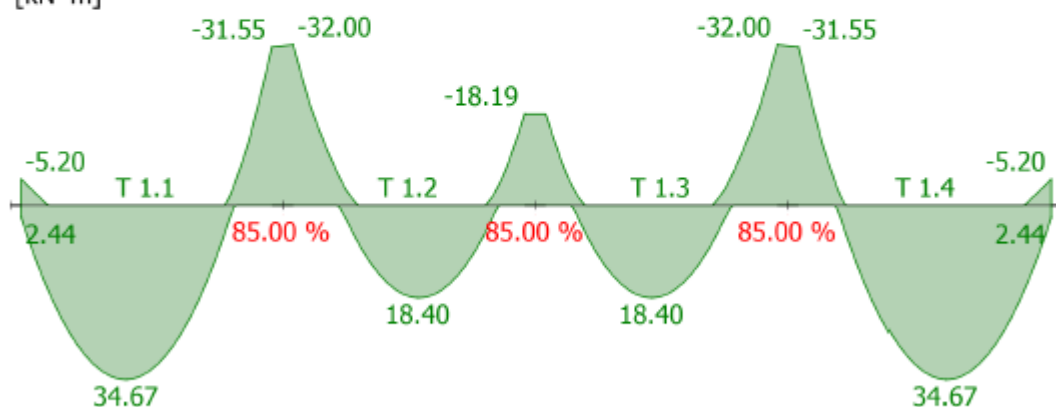
Travée - Coupe	Abscisse	Face	M_{Ed}	M_{eq}	M_{fi}	M_{gp}	V_{Ed}	T_{Ed}
	(m)		(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN)	(kN · m)
4 - Appui gauche	0.00	Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
4 - Appui droit	6.47	Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Haut	-5.20	-3.78	-3.44	-3.31	0.00	0.00
4 - VMax	0.00	Bas	2.44	1.77	1.62	1.56	-23.92	0.00
		Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
4 - wk Max	0.00	Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
4 - Contrainte Max Béton	0.00	Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
4 - Contrainte Max Acier	0.00	Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
4 - Flèche Max	0.00	Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00

4.1 Enveloppe des combinaisons ELU

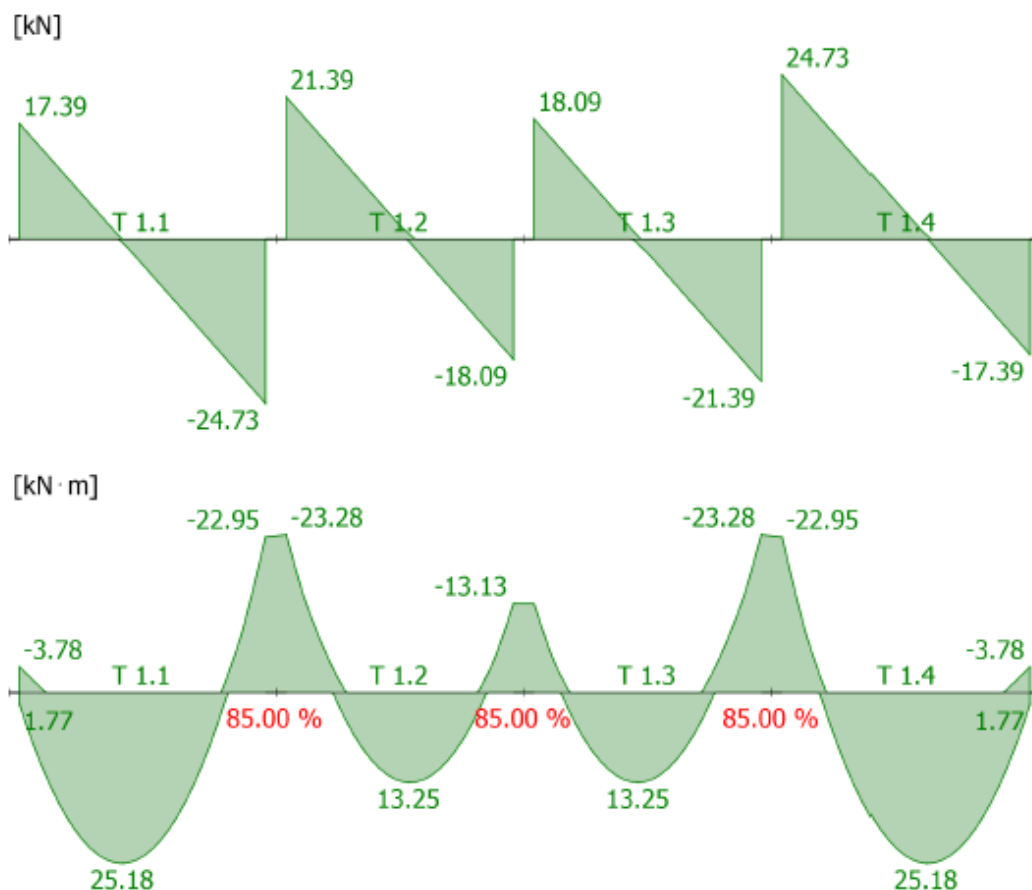
[kN]



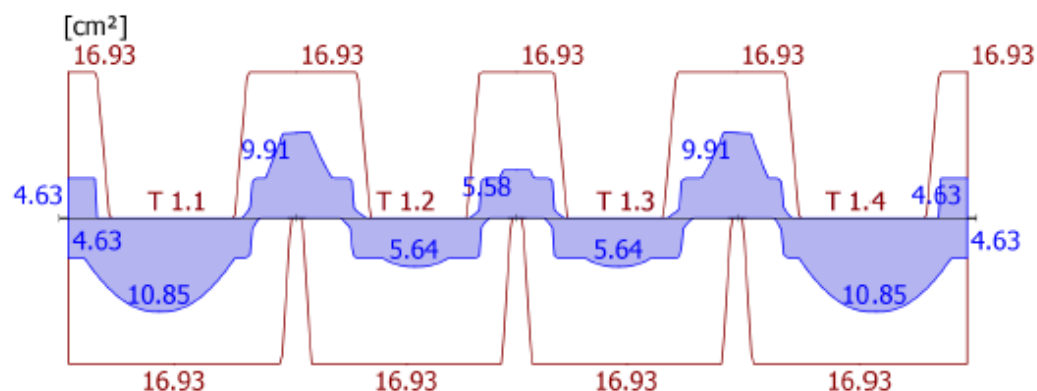
[kN · m]



4.2 Enveloppe des combinaisons ELS



5 Aciers longitudinaux



Les aciers sont calculés en considérant le moment de calcul qui est différent du moment des efforts, conformément à l'article 9.2.1.3, Figure 9.2 de l'EN 1992-1-1.

Aciers longitudinaux									
Position				Moment			Armatures		
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	Face	M_{Ed}	M_{Rd}	T_x	Théo	Réel	Min
	(mm)			(kN · m)	(kN · m)		(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
1 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-5.20	-45.72	11.38 %	4.63	16.93	4.63

Aciers longitudinaux									
Position				Moment			Armatures		
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	Face	M_{Ed}	M_{Rd}	T_x	Théo	Réal	Min
	(mm)			(kN · m)	(kN · m)				
1 - Appui droit	6475	104	Supérieur	-31.55	-42.56	74.12 %	9.83	16.93	4.63
1 - Minf	2720	104	Inférieur	34.67	51.60	67.19 %	10.85	16.93	4.63
2 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-32.00	-42.56	75.19 %	9.98	16.93	4.63
2 - Appui droit	5975	104	Supérieur	-18.19	-42.56	42.75 %	5.58	16.93	4.63
3 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-18.19	-42.56	42.75 %	5.58	16.93	4.63
3 - Appui droit	5975	104	Supérieur	-32.00	-42.56	75.19 %	9.98	16.93	4.63
4 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-31.55	-42.56	74.12 %	9.83	16.93	4.63
4 - Appui droit	6475	104	Supérieur	-5.20	-45.72	11.38 %	4.63	16.93	4.63

Aciers longitudinaux réels			
Travée	Position	Famille	Armatures
1	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
2	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
3	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
4	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)

Aciers réels sur appuis		
Appui	Famille	Armatures
1	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
2	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
3	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
4	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
5	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)

La hauteur utile (d) est déterminée automatiquement en fonction du ferrailage réel.

6 Aciers transversaux

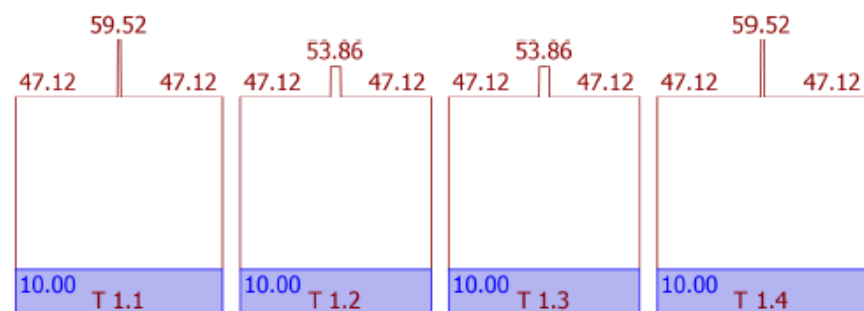
6.1 Hypothèses générales pour les aciers transversaux

Le calcul du ferrailage transversal est effectué selon l'article 6.2 de l'EN1992-1-1.

Pas de transmission directe sur appui.

Le calcul est effectué selon la longueur élémentaire $z(\cot \Theta)$ selon le §6.2.3(5) de l'EN 1992-1-1.

[cm²/m]



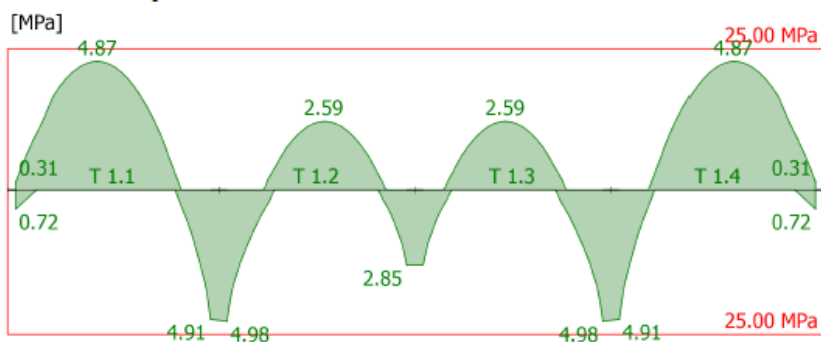
Aciers transversaux										
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	$V_{Ed,red}$	$V_{Ed,c}$	$V_{Ed,max}$	A_{sw}	$A_{sw,min}$	$A_{sw,real}$	$V_{Rd,s}$	T_x
	(mm)		(kN)			(cm ² /m)			(kN)	
1 - VMax	6475	104	32.81	91.86	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	15.61 %
2 - VMax	0	104	28.35	93.38	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	13.48 %
3 - VMax	5975	104	28.35	93.38	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	13.48 %
4 - VMax	0	104	32.81	91.86	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	15.61 %

Aciers transversaux réels		
Travée	Groupe	Armatures
1	1	26 × ø6 / 120 mm
	2	1 × ø6 / 95 mm
	3	26 × ø6 / 120 mm
2	1	23 × ø6 / 120 mm
	2	3 × ø6 / 105 mm
	3	23 × ø6 / 120 mm
3	1	23 × ø6 / 120 mm
	2	3 × ø6 / 105 mm
	3	23 × ø6 / 120 mm
4	1	26 × ø6 / 120 mm
	2	1 × ø6 / 95 mm
	3	26 × ø6 / 120 mm

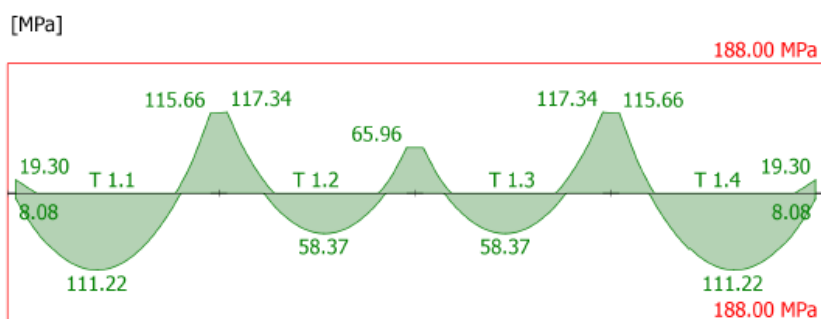
7 Vérification des contraintes

7.1 Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ

Contrainte de compression du béton

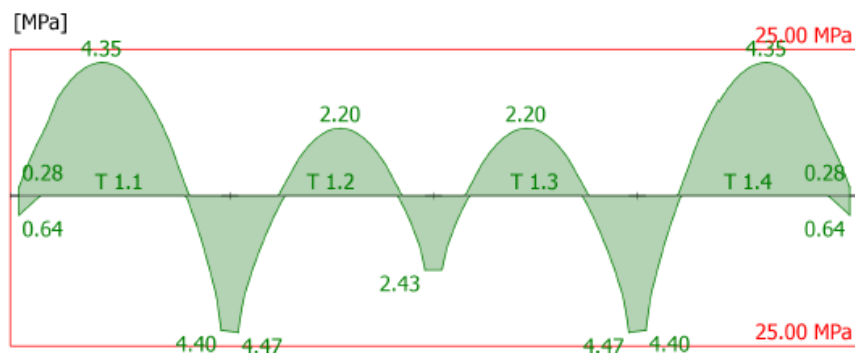


Contrainte de traction dans les armatures

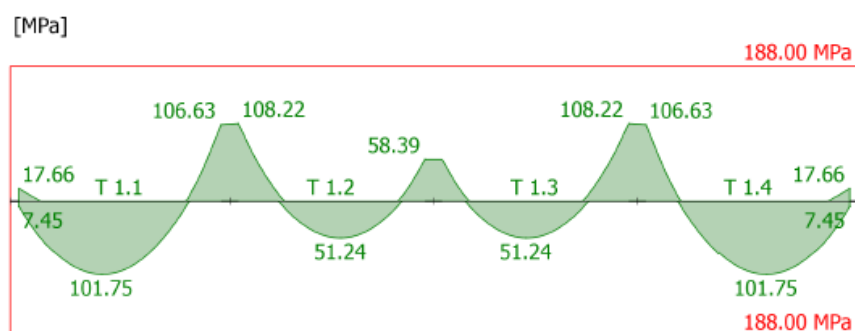


7.2 Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ

Contrainte de compression du béton

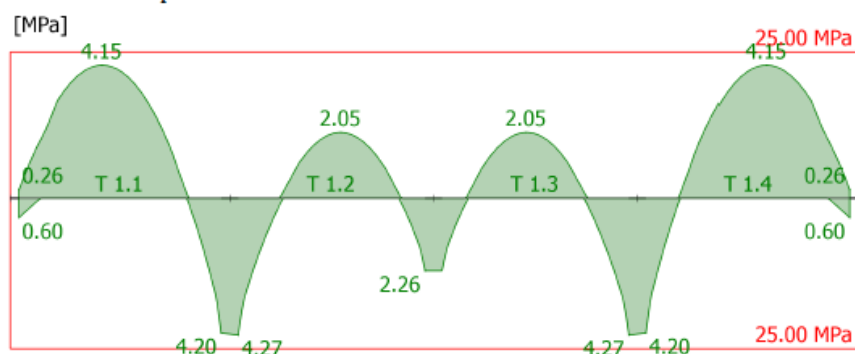


Contrainte de traction dans les armatures

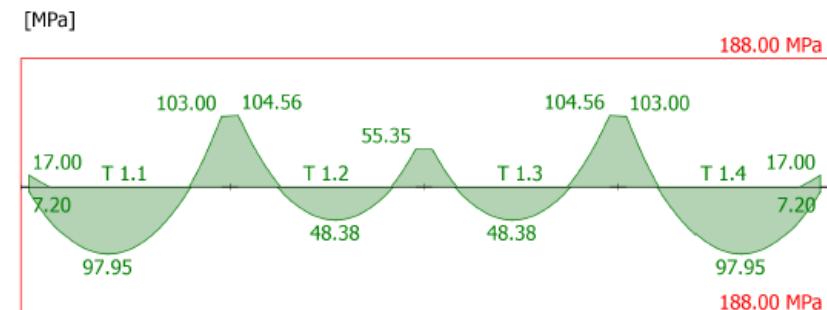


7.3 Enveloppe des combinaisons ELS-QP

Contrainte de compression du béton

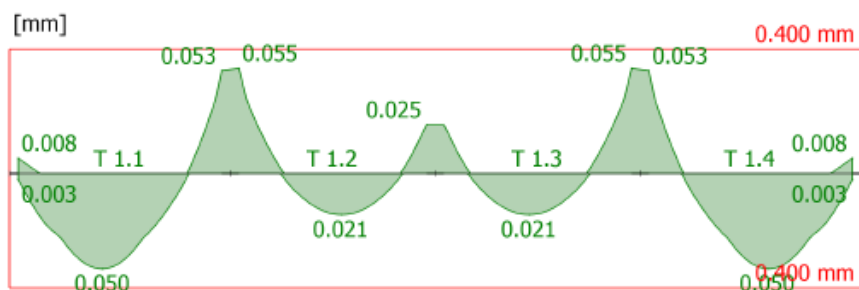


Contrainte de traction dans les armatures



8 Vérification de l'ouverture de fissures

Les combinaisons spécifiques d'enveloppes ELS n'ont pas été trouvées (ELS quasi-permanent). Les vérifications ont été effectuées avec la combinaison ELS définie.



Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification de l'ouverture des fissures									
Travée - Coupe	Abscisse	Position	$w_{k,top}$	$w_{k,bot}$	$s_{r,max}$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_c$	$w_{k,max}$	w_{lim}	Tx
	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	
1 - wk Max	6475	Supérieur	0.053	0.000	152	0.35	0.053	0.400	13.36 %
2 - wk Max	0	Supérieur	0.055	0.000	152	0.36	0.055	0.400	13.66 %
3 - wk Max	5975	Supérieur	0.055	0.000	152	0.36	0.055	0.400	13.66 %
4 - wk Max	0	Supérieur	0.053	0.000	152	0.35	0.053	0.400	13.36 %

Le calcul de l'ouverture de fissure est effectué selon EN 1992-1-1, 7.3.4 (1).

9 Réactions d'appuis

Cas de charge / combinaison		App.	Fz (kN)		My (kN · m)
			Normale	Soulèvement	
1	Permanentes 1	1	-15.03	0.00	-3.10
		2	-39.86	0.00	0.00
		3	-30.53	0.00	0.00
		4	-39.86	0.00	0.00
		5	-15.03	0.00	3.10
2	Surcharges d'exploitation 1	1	-3.01	0.25	-0.68
		2	-7.55	0.41	0.00
		3	-6.95	1.08	0.00
		4	-7.55	0.41	0.00
		5	-3.01	0.25	0.68
	Max(ELU)	1	-24.80	0.38	-5.20
		2	-65.14	0.62	0.00
		3	-51.64	1.62	0.00
		4	-65.14	0.62	0.00
		5	-24.80	0.38	5.20
	Max(ELS)	1	-18.04	0.25	-3.78
		2	-47.41	0.41	0.00
		3	-37.48	1.08	0.00
		4	-47.41	0.41	0.00
		5	-18.04	0.25	3.78

■ Méthode forfaitaire avec le BAEL91 modifié 99

	VERIFICATION DE POUTRES SELON L'ANNEXE E DU BAEL 91 REVISE 99
---	--

1. Données Matériaux

Résistance caractéristique à la compression du béton	$f_{ck} =$	25	Mpa
Résistance caractéristique à la traction du béton	$f_{ctk\ 0.05} =$	1.8	Mpa
Coefficient de sécurité du béton	$\gamma_c =$	1.50	
Limite d'élasticité des armatures HA	$f_{yk} =$	235	MPa
Coefficient de sécurité des armatures	$\gamma_s =$	1.15	

2. Données relevées

Portée	$L =$	6.48	m
Entraxe des poutres	$b =$	7.02	m
Epaisseur de la dalle	$h_{dalle} =$	0.200	m
Hauteur de la retombée	$h_{retombée} =$	0.000	m
	$h_{tot} =$	0.20	m
Section des armatures HLE en travée	$A_s =$	0.00	cm ²
Cdg des armatures / sous-face	$e_{cdg} =$	0.0000	m
Largeur de la poutre	$l =$	1.000	m
Bras de levier pour aciers bas	$d_i =$	0.200	m
Section des armatures HA sur appuis	$A_s =$	7.70	cm ²
Cdg des armatures / surface	$e_{cdg} =$	0.0270	m
Largeur de la poutre	$l =$	1.000	m
Bras de levier pour aciers bas	$d_i =$	0.173	m

3. Calcul des sollicitations

Charges permanentes	$G =$	546	kg/m ²
Charges d'exploitation	$Q =$	100	kg/m ²
Rapport des charges d'exploitations/charges totales	$\alpha =$	0.15480	
Minimum $(1+0.3\alpha)$	$(1+0.3\alpha) =$	1.04644	prendre 1.05
Combinaison ELU	$1.35\ G + 1.5\ Q =$	748	kg/m
Effort tranchant sollicitant	$V_{Ed} =$	24	kN
Moment de la travée de comparaison	$M_0 =$	39	kN.m
Moment en travée mini	$M_t =$	47.93	kN.m
Moment sur appui mini	$M_a =$	19.59	kN.m
Vérification équilibre	$M_t + M_w/2 + M_e/2 =$	57.72	> 41 = $(1+0.3\alpha) \times M_0$ ok
Moment en travée final	$M_t =$	47.93	kN.m
Moment sur appui final	$M_a =$	21.83	kN.m
Vérification équilibre	$M_t + M_a =$	69.76	> 41 = $(1+0.3\alpha) \times M_0$ ok

4. Efforts résistants

3.1 Moment Résistant en travée

Resistance de calcul en compression du béton	$f_{cd} =$	16.67	Mpa
Contrainte du béton admissible	$F_{bu} =$	14.17	Mpa
Raccourcissement unitaire du béton en compression simple	$\epsilon_1 =$	0.002	
Raccourcissement unitaire du béton en flexion	$\epsilon_2 =$	0.0035	
Coefficient de calcul raccourcissement du béton	$My_2 =$	0.33673	
Coefficient de calcul fibre comprimée	$N_y =$	0.8095	
Contrainte linéaire fibre comprimée	$f_{ic} =$	11.4683	Mpa/m
Contrainte de calcul acier	$F_a =$	0.0	kN
Position axe neutre	$y =$	0.000000	kN

Moment résistant en travée de poutre obtenu à parti de la feuille de calcul : Étude prédalle béton précontrainte suivant cpt plancher - CAHIERS CSTB 3221 Mai 2000

$$M_{Rd,t} = 55 \text{ kN.m}$$

3.2 Moment Résistant sur appui

Coefficient de calcul raccourcissement du béton	$My_2 =$	0.33673	
Coefficient de calcul fibre comprimée	$N_y =$	0.8095	
Contrainte linéaire fibre comprimée	$f_{ic} =$	11.4683	Mpa/m
Contrainte de calcul acier	$F_a =$	157.3	kN
Position axe neutre	$y =$	0.013715	kN

$$M_{Rd,a} = 26.31 \text{ kN.m}$$

3.2 Moment résistant travée de comparaison

$$M_{Rd,0} = 78.0 \text{ kN.m}$$

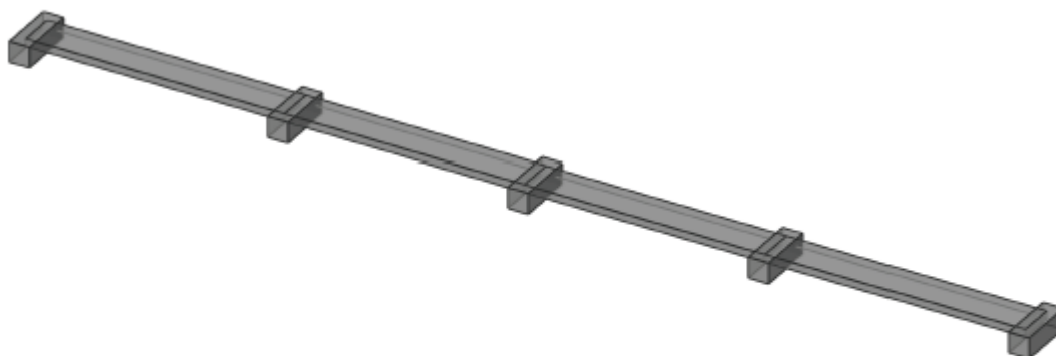
5. Vérifications des sollicitations

Vérification Moment travée de comparaison	$M_0 / M_{Rd,0} =$	50.3%
Vérification Moment travée poutre	$M_t / M_{Rd,t} =$	86.7%
Vérification Moment appui poutre	$M_a / M_{Rd,a} =$	83.0%

DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ PORTANTE

- Vérification du moment sur appui et du moment sollicitant en flexion

1 Description de la géométrie



Travée : 2

Travée : 3

Longueur	$L = 5975 \text{ mm}$
Largeur de la poutre	$b_w = 1000 \text{ mm}$
Hauteur totale de la poutre	$H = 200 \text{ mm}$
Largeur de l'appui gauche	$b_{LS} = 550 \text{ mm}$
Largeur de l'appui droit	$b_{RS} = 550 \text{ mm}$

Travée : 1

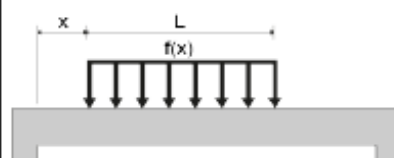
Travée : 4

Longueur	$L = 6475 \text{ mm}$
Largeur de la poutre	$b_w = 1000 \text{ mm}$
Hauteur totale de la poutre	$H = 200 \text{ mm}$
Largeur de l'appui gauche	$b_{LS} = 550 \text{ mm}$
Largeur de l'appui droit	$b_{RS} = 550 \text{ mm}$

2 Charges et combinaisons

Description des cas de charges								
ID	Titre	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	γ_{EQU}	γ_{STR}	$\gamma_{EQU,Fav}$	$\gamma_{STR,Fav}$
1	Permanentes 1	-	-	-	1.1	1.35	0.9	1
2	Surcharges d'exploitation 1	0	0	0	1.5	1.5	0	0

Charges linéaires uniformes					
Charge	Cas	f	x	L	h'
		(kN/m)	(mm)		
1	1	5.46	0	27100	-
2	2	1.00	0	27100	-



Description des combinaisons			
ID	Combinaison	Code	Type
101	1x[1 G]	ECELUSTR	ELU
102	1.35x[1 G]	ECELUSTR	ELU
103	1x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
104	1.35x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
105	1x[1 G]	ECELSCQ	ELS
106	1x[1 G]+1x[2 Q]	ECELSCQ	ELS
107	1x[1 G]	ECELSFQ	ELS
108	1x[1 G]+0.5x[2 Q]	ECELSFQ	ELS
109	1x[1 G]	ECELSQP	ELS
110	1x[1 G]+0.3x[2 Q]	ECELSQP	ELS

3 Hypothèses globales

Calcul béton :	EN1992-1-1 / EN1992-1-2.
Charges et combinaisons :	EN1990/EN1991.
Calcul des aciers longitudinaux :	EN1992-1-1 / 6.1 - Méthode du « moment réduit limite »
Calcul des aciers transversaux :	Méthode standard (EN1992-1-1, 6.2.2 / 6.2.3)
Béton :	Aucun béton avec fumée de silice Aucun béton hautes performances
Diagramme des aciers :	Diagramme à palier horizontal
Dispositions sismiques :	Pas de dispositions sismiques. Ductilité moyenne Poutre principale.
Résistance au feu :	R 0
Poids propre :	Avertissement - Aucun poids propre.
Mode de calcul de section :	Section rectangulaire.

3.1 Localisation

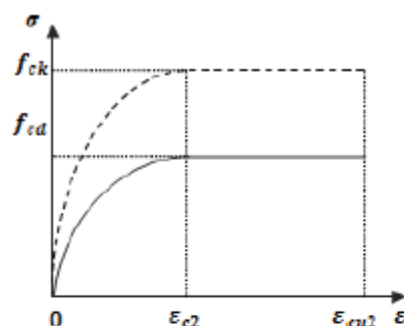
Localisation	France
Type d'élément	Poutre standard
ID de l'élément	1
Position	Poutre 1, Niveau 1
Plan	T
Niveau	0.00 m NGF
Coordonnées	$X_1 = 0.00 \text{ m}$; $Y_1 = 0.00 \text{ m}$; $Z_1 = 0.00 \text{ m}$ $X_2 = 27.10 \text{ m}$; $Y_2 = 0.00 \text{ m}$; $Z_2 = 0.00 \text{ m}$

3.2 Unités

Longueurs	mm
Efforts	kN
Moments	kN · m
Contraintes	MPa (MN/m ²)
Angles	°
Sections d'acier	cm ²
Ouverture de fissure	mm

3.3 Matériaux

Qualité de béton
(EN1992-1-1 / 3.1)



Travée 1
Classe de béton : C25/30

Travée 2
Classe de béton : C25/30

Travée 3
Classe de béton : C25/30

Travée 4
Classe de béton : C25/30

$$f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1.00 \times \frac{25.00 \text{ MPa}}{1.50} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 0.30 \cdot (f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{cm} = 0.30 \times (25.00 \text{ MPa})^{2/3} = 2.56 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \cdot \left[\frac{33.00 \text{ MPa}}{10} \right]^{0.3}$$

$$E_{cm} = 31475.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c2} = 2.00\text{‰}$$

$$\varepsilon_{cu2} = 3.50\text{‰}$$

$$\rho_c = 0.00 \text{ kg/m}^3$$

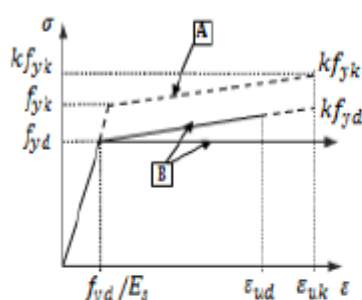
$$\text{ELU : } \gamma_c = 1.50$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_c = 1.20$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_c = 1.30$$

Nuance d'acier

(EN1992-1-1 / Section 3 / Annexe C)



Travée 1

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 2

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 3

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 4

Classe des aciers longitudinaux : B235A

Classe des aciers transversaux : B400A

$$f_{yk} = 235.00 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \min \left\{ k \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; f_{yk} \right\}$$

$$f_{yd} = \min \left\{ 1.05 \times \frac{235.00 \text{ MPa}}{1.15}; 235.00 \text{ MPa} \right\} = 204.35 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 400.00 \text{ MPa}$$

Classe de ductilité : A

$$E_s = 200000.00 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{uk} = 25.00\%$$

$$\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk} = 0.9 \times 25.00 = 22.50\%$$

Diagramme à palier horizontal

$$k = 1.05$$

$$\text{ELU : } \gamma_s = 1.15$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_s = 1.00$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_s = 1.00$$

Enrobages									
Travée	Haut			Bas			Latéral		
	Enrobage	c_{nom}	$c_{min,b}$	Enrobage	c_{nom}	$c_{min,b}$	Enrobage	c_{nom}	$c_{min,b}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	25	25	14	25	25	14	25	25	14
2	25	25	14	25	25	14	25	25	14
3	25	25	14	25	25	14	25	25	14
4	25	25	14	25	25	14	25	25	14

Valeur minimale de l'enrobage pour la durabilité $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (5))

Tolérance d'exécution $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ (4.4.1.1 2(P))

Tolérance de sécurité $\Delta c_{dur,s} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (6))

Réduction pour l'acier inoxydable $\Delta c_{dur,si} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (7))

Réduction pour une protection supplémentaire $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (8))

4 Sollicitations internes

Tableau synthétique de résultats

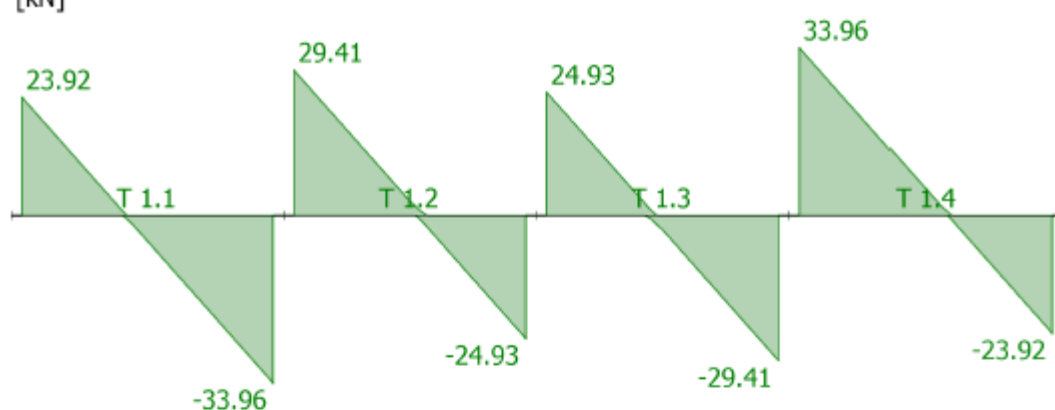
Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELU et ELS sont affichées.

Travée - Coupe	Abscisse	Face	M_{Ed}	M_{cqc}	M_{Eq}	M_{φ}	V_{Ed}	T_{Ed}
	(m)		(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN)	(kN · m)
1 - Appui gauche	0.00	Haut	-5.20	-3.78	-3.44	-3.31	23.92	0.00
		Bas	2.44	1.77	1.62	1.56	0.00	0.00
1 - Appui droit	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - MInf	2.72	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Bas	34.67	25.18	22.93	22.03	-0.87	0.00
1 - VMax	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - wk Max	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - Contrainte Max Béton	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - Contrainte Max Acier	6.47	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-33.96	0.00
1 - Flèche Max	0.00	Haut	-5.20	-3.78	-3.44	-3.31	23.92	0.00
		Bas	2.44	1.77	1.62	1.56	0.00	0.00
2 - Appui gauche	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Appui droit	5.97	Haut	-18.19	-13.13	-11.55	-10.92	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-24.93	0.00
2 - VMax	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - wk Max	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Contrainte Max Béton	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Contrainte Max Acier	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Flèche Max	0.00	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	29.41	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
3 - Appui gauche	0.00	Haut	-18.19	-13.13	-11.55	-10.92	24.93	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
3 - Appui droit	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - VMax	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - wk Max	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - Contrainte Max Béton	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - Contrainte Max Acier	5.97	Haut	-32.00	-23.28	-21.38	-20.62	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-29.41	0.00
3 - Flèche Max	0.00	Haut	-18.19	-13.13	-11.55	-10.92	24.93	0.00

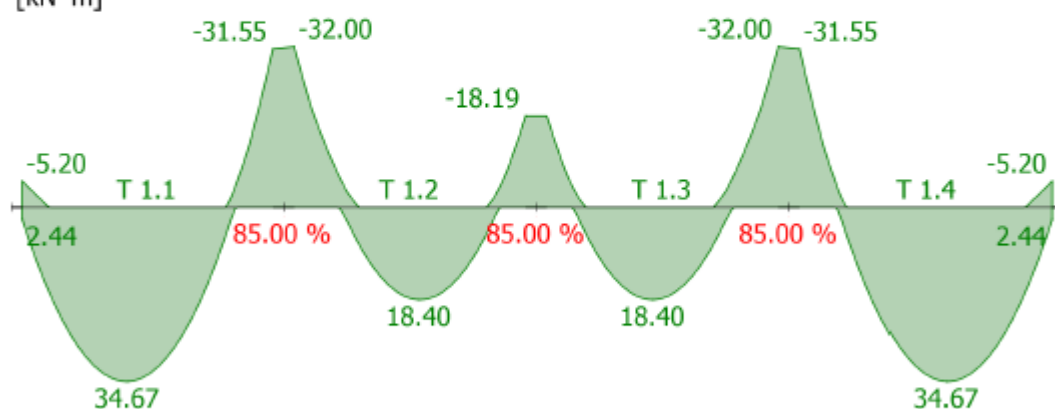
Travée - Coupe	Abscisse	Face	M_{Ed}	M_{cqc}	M_{f1}	M_{gp}	V_{Ed}	T_{Ed}
	(m)		(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN)	(kN · m)
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
4 - Appui gauche	0.00	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
4 - Appui droit	6.47	Haut	-5.20	-3.78	-3.44	-3.31	0.00	0.00
		Bas	2.44	1.77	1.62	1.56	-23.92	0.00
4 - VMax	0.00	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
4 - wk Max	0.00	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
4 - Contrainte Max Béton	0.00	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
4 - Contrainte Max Acier	0.00	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
4 - Flèche Max	0.00	Haut	-31.55	-22.95	-21.07	-20.32	33.96	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00

4.1 Enveloppe des combinaisons ELU

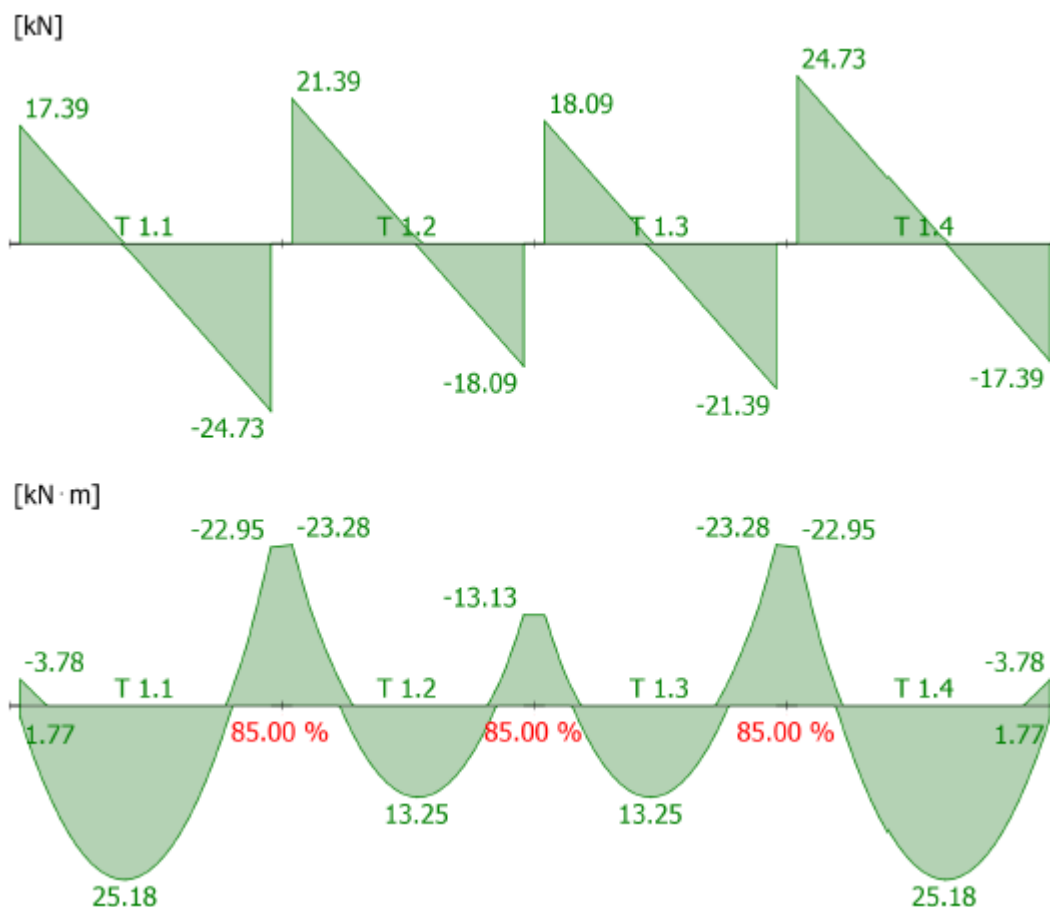
[kN]



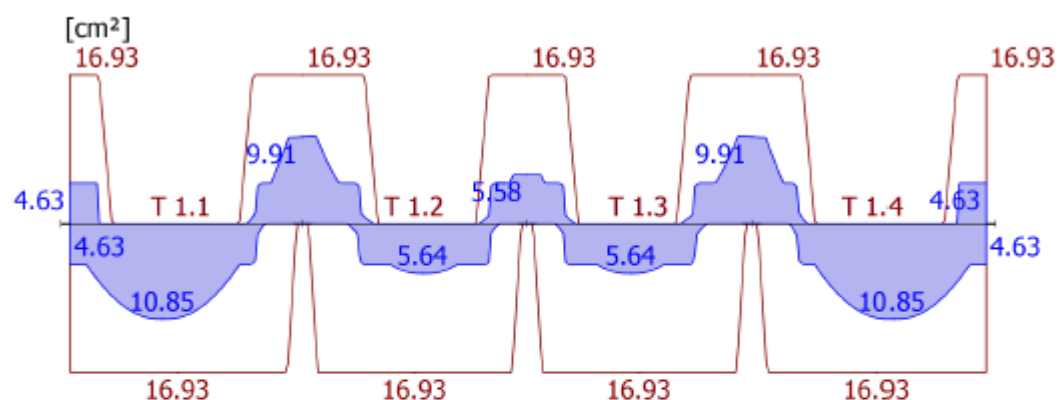
[kN · m]



4.2 Enveloppe des combinaisons ELS



5 Aciers longitudinaux



Les aciers sont calculés en considérant le moment de calcul qui est différent du moment des efforts, conformément à l'article 9.2.1.3, Figure 9.2 de l'EN 1992-1-1.

Aciers longitudinaux									
Position				Moment			Armatures		
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	Face	M_{Ed}	M_{Rd}	T_x	Théo	Réel	Min
	(mm)			(kN · m)	(kN · m)		(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
1 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-5.20	-45.72	11.38 %	4.63	16.93	4.63

Aciers longitudinaux									
Position				Moment			Armatures		
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	Face	M_{Ed}	M_{Rd}	Tx	Théo	Réel	Min
	(mm)			(kN · m)	(kN · m)		(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
1 - Appui droit	6475	104	Supérieur	-31.55	-42.56	74.12 %	9.83	16.93	4.63
1 - MInf	2720	104	Inférieur	34.67	51.60	67.19 %	10.85	16.93	4.63
2 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-32.00	-42.56	75.19 %	9.98	16.93	4.63
2 - Appui droit	5975	104	Supérieur	-18.19	-42.56	42.75 %	5.58	16.93	4.63
3 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-18.19	-42.56	42.75 %	5.58	16.93	4.63
3 - Appui droit	5975	104	Supérieur	-32.00	-42.56	75.19 %	9.98	16.93	4.63
4 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-31.55	-42.56	74.12 %	9.83	16.93	4.63
4 - Appui droit	6475	104	Supérieur	-5.20	-45.72	11.38 %	4.63	16.93	4.63

Aciers longitudinaux réels			
Travée	Position	Famille	Armatures
1	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
2	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
3	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
4	Inférieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
	Supérieur	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)

Aciers réels sur appuis		
Appui	Famille	Armatures
1	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
2	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
3	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
4	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)
5	1	11 × ø14 (16.93 cm ²)

La hauteur utile (d) est déterminée automatiquement en fonction du ferrailage réel.

6 Aciers transversaux

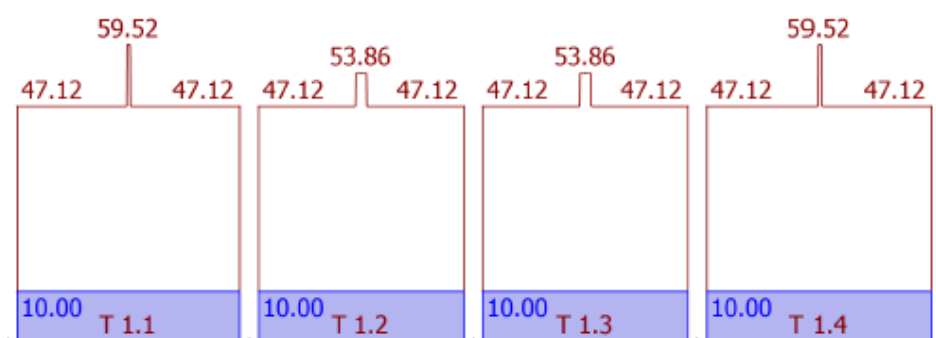
6.1 Hypothèses générales pour les aciers transversaux

Le calcul du ferrailage transversal est effectué selon l'article 6.2 de l'EN1992-1-1.

Pas de transmission directe sur appui.

Le calcul est effectué selon la longueur élémentaire $z(\cot \Theta)$ selon le §6.2.3(5) de l'EN 1992-1-1.

[cm²/m]



Aciers transversaux										
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	$V_{Ed,red}$	$V_{Ed,c}$	$V_{Ed,max}$	A_{tw}	$A_{tw,min}$	$A_{tw,real}$	$V_{Ed,s}$	Tx
	(mm)		(kN)			(cm ² /m)			(kN)	
1 - VMax	6475	104	32.81	91.86	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	15.61 %
2 - VMax	0	104	28.35	93.38	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	13.48 %
3 - VMax	5975	104	28.35	93.38	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	13.48 %
4 - VMax	0	104	32.81	91.86	660.15	10.00	10.00	47.12	210.21	15.61 %

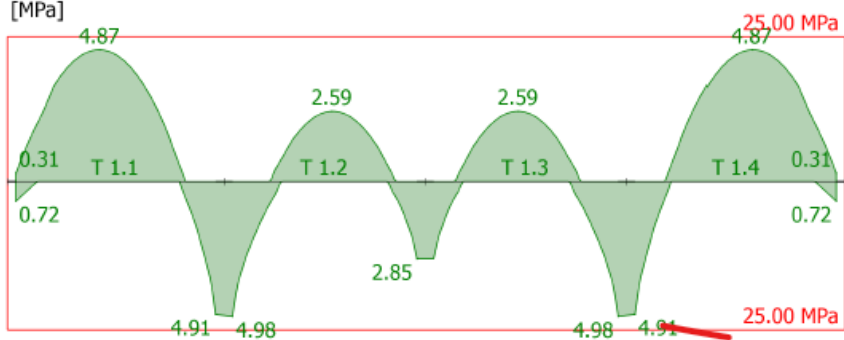
Aciers transversaux réels		
Travée	Groupe	Armatures
1	1	26 × ø6 / 120 mm
	2	1 × ø6 / 95 mm
	3	26 × ø6 / 120 mm
2	1	23 × ø6 / 120 mm
	2	3 × ø6 / 105 mm
	3	23 × ø6 / 120 mm
3	1	23 × ø6 / 120 mm
	2	3 × ø6 / 105 mm
	3	23 × ø6 / 120 mm
4	1	26 × ø6 / 120 mm
	2	1 × ø6 / 95 mm
	3	26 × ø6 / 120 mm

7 Vérification des contraintes

7.1 Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ

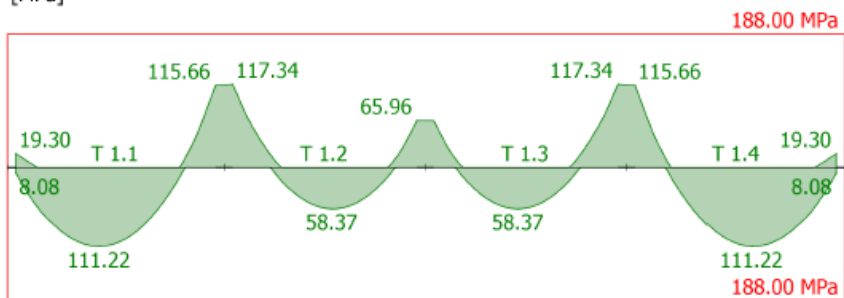
Contrainte de compression du béton

[MPa]



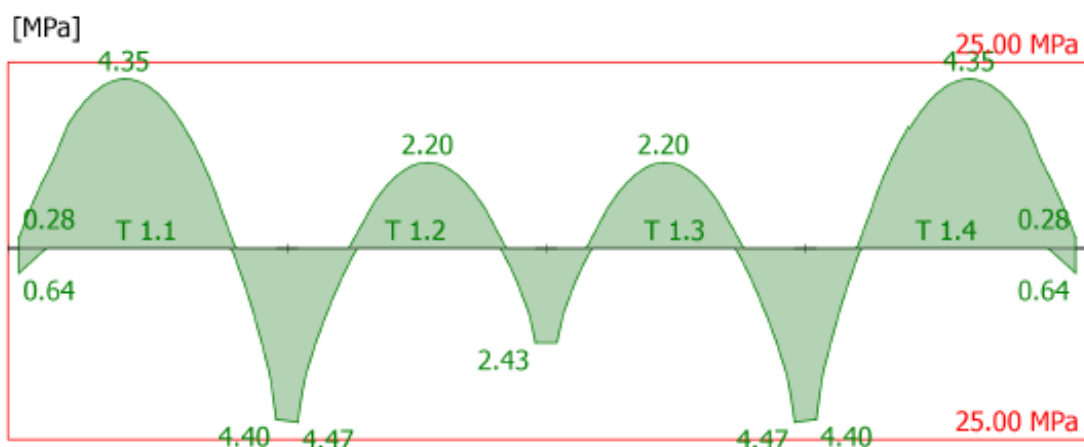
Contrainte de traction dans les armatures

[MPa]

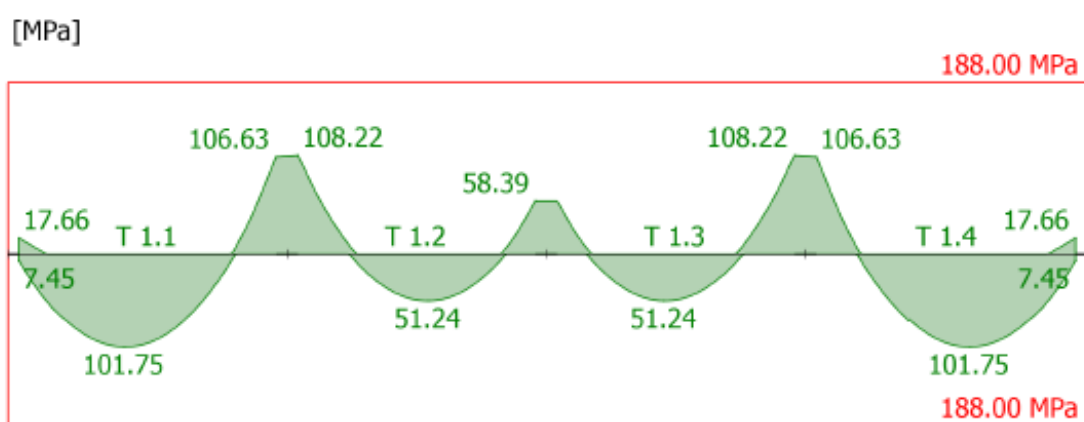


7.2 Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ

Contrainte de compression du béton

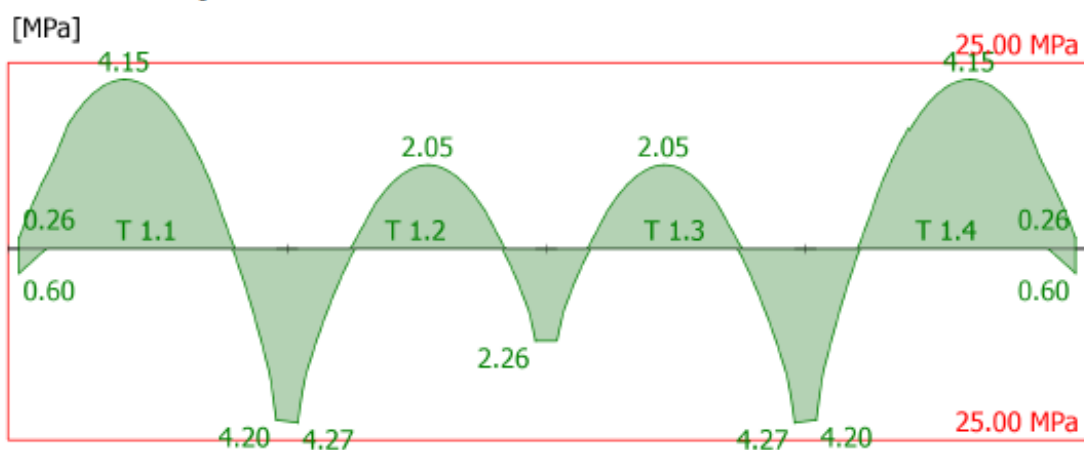


Contrainte de traction dans les armatures



7.3 Enveloppe des combinaisons ELS-QP

Contrainte de compression du béton



Contrainte de traction dans les armatures

[MPa]

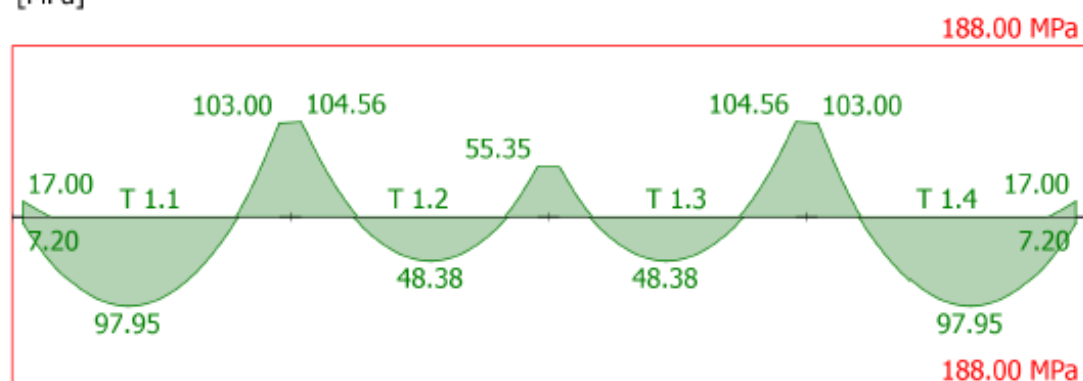


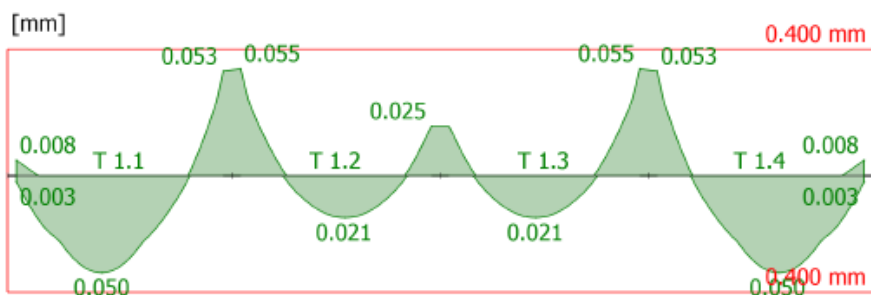
Tableau synthétique de résultats

Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification des contraintes								
Travée - Coupe	Abscisse	Type d'enveloppe	Contraintes (MPa)					
	(mm)		σ_{ef}	σ_e	σ_c	T_x	σ_s	T_x
1 - Contrainte Max Béton	6475	CRQ	3.41	21.69	4.91	19.64 %	115.66	61.52 %
		FRQ	3.41	23.06	4.40	17.61 %	106.63	56.72 %
		QP	3.73	23.68	4.20	16.81 %	103.00	54.79 %
1 - Contrainte Max Acier	6475	CRQ	3.41	21.69	4.91	19.64 %	115.66	61.52 %
		FRQ	3.41	23.06	4.40	17.61 %	106.63	56.72 %
		QP	3.73	23.68	4.20	16.81 %	103.00	54.79 %
2 - Contrainte Max Béton	0	CRQ	3.41	21.70	4.98	19.92 %	117.34	62.42 %
		FRQ	3.41	23.06	4.47	17.87 %	108.22	57.56 %
		QP	3.73	23.68	4.27	17.06 %	104.56	55.62 %
2 - Contrainte Max Acier	0	CRQ	3.41	21.70	4.98	19.92 %	117.34	62.42 %
		FRQ	3.41	23.06	4.47	17.87 %	108.22	57.56 %
		QP	3.73	23.68	4.27	17.06 %	104.56	55.62 %
3 - Contrainte Max Béton	5975	CRQ	3.41	21.70	4.98	19.92 %	117.34	62.42 %
		FRQ	3.41	23.06	4.47	17.87 %	108.22	57.56 %
		QP	3.73	23.68	4.27	17.06 %	104.56	55.62 %
3 - Contrainte Max Acier	5975	CRQ	3.41	21.70	4.98	19.92 %	117.34	62.42 %
		FRQ	3.41	23.06	4.47	17.87 %	108.22	57.56 %
		QP	3.73	23.68	4.27	17.06 %	104.56	55.62 %
4 - Contrainte Max Béton	0	CRQ	3.41	21.69	4.91	19.64 %	115.66	61.52 %
		FRQ	3.41	23.06	4.40	17.61 %	106.63	56.72 %
		QP	3.73	23.68	4.20	16.81 %	103.00	54.79 %
4 - Contrainte Max Acier	0	CRQ	3.41	21.69	4.91	19.64 %	115.66	61.52 %
		FRQ	3.41	23.06	4.40	17.61 %	106.63	56.72 %
		QP	3.73	23.68	4.20	16.81 %	103.00	54.79 %

8 Vérification de l'ouverture de fissures

Les combinaisons spécifiques d'enveloppes ELS n'ont pas été trouvées (ELS quasi-permanent). Les vérifications ont été effectuées avec la combinaison ELS définie.



Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification de l'ouverture des fissures									
Travée - Coupe	Abscisse	Position	$w_{k,top}$	$w_{k,bot}$	$s_{r,max}$	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_c$	$w_{k,max}$	w_{lim}	Tx
	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(‰)	(mm)	(mm)	
1 - wk Max	6475	Supérieur	0.053	0.000	152	0.35	0.053	0.400	13.36 %
2 - wk Max	0	Supérieur	0.055	0.000	152	0.36	0.055	0.400	13.66 %
3 - wk Max	5975	Supérieur	0.055	0.000	152	0.36	0.055	0.400	13.66 %
4 - wk Max	0	Supérieur	0.053	0.000	152	0.35	0.053	0.400	13.36 %

Le calcul de l'ouverture de fissure est effectué selon EN 1992-1-1, 7.3.4 (1).

9 Réactions d'appuis

Cas de charge / combinaison		App.	Fz (kN)		My (kN · m)
			Normale	Soulèvement	
1	Permanentes 1	1	-15.03	0.00	-3.10
		2	-39.86	0.00	0.00
		3	-30.53	0.00	0.00
		4	-39.86	0.00	0.00
		5	-15.03	0.00	3.10
2	Surcharges d'exploitation 1	1	-3.01	0.25	-0.68
		2	-7.55	0.41	0.00
		3	-6.95	1.08	0.00
		4	-7.55	0.41	0.00
		5	-3.01	0.25	0.68
	Max(ELU)	1	-24.80	0.38	-5.20
		2	-65.14	0.62	0.00
		3	-51.64	1.62	0.00
		4	-65.14	0.62	0.00
		5	-24.80	0.38	5.20
	Max(ELS)	1	-18.04	0.25	-3.78
		2	-47.41	0.41	0.00
		3	-37.48	1.08	0.00
		4	-47.41	0.41	0.00
		5	-18.04	0.25	3.78

■ Méthode forfaitaire avec le BAEL91 modifié 99

	VERIFICATION DE POUTRES SELON L'ANNEXE E DU BAEL 91 REVISE 99
---	--

1. Données Matériaux

Résistance caractéristique à la compression du béton	$f_{ck} =$	25	Mpa
Résistance caractéristique à la traction du béton	$f_{ctk\ 0.05} =$	1.8	Mpa
Coefficient de sécurité du béton	$\gamma_c =$	1.50	
Limite d'élasticité des armatures HA	$f_{yk} =$	235	MPa
Coefficient de sécurité des armatures	$\gamma_s =$	1.15	

2. Données relevées

Portée	$L =$	6.48	m
Entraxe des poutres	$b =$	7.02	m
Epaisseur de la dalle	$h_{dalle} =$	0.200	m
Hauteur de la retombée	$h_{retombée} =$	0.000	m
	$h_{tot} =$	0.20	m
Section des armatures HLE en travée	$A_s =$	0.00	cm ²
Cdg des armatures / sous-face	$e_{cdg} =$	0.0000	m
Largeur de la poutre	$l =$	1.000	m
Bras de levier pour aciers bas	$d_i =$	0.200	m
Section des armatures HA sur appuis	$A_s =$	7.70	cm ²
Cdg des armatures / surface	$e_{cdg} =$	0.0270	m
Largeur de la poutre	$l =$	1.000	m
Bras de levier pour aciers bas	$d_i =$	0.173	m

3. Calcul des sollicitations

Charges permanentes	$G =$	566	kg/m ²	
Charges d'exploitation	$Q =$	100	kg/m ²	
Rapport des charges d'exploitations/charges totales	$\alpha =$	0.15015		
Minimum $(1+0.3\alpha)$	$(1+0.3\alpha) =$	1.04505	prendre 1.05	
Combinaison ELU	$1.35\ G + 1.5\ Q =$	775	kg/m	
Effort tranchant sollicitant	$V_{Ed} =$	25	kN	
Moment de la travée de comparaison	$M_0 =$	41	kN.m	
Moment en travée mini	$M_t =$	49.63	kN.m	
Moment sur appui mini	$M_a =$	20.30	kN.m	
Vérification équilibre	$M_t + M_w/2 + M_e/2 =$	59.78	> 42	$= (1+0.3\alpha) \times M_0$
			ok	
Moment en travée final	$M_t =$	49.63	kN.m	
Moment sur appui final	$M_a =$	22.11	kN.m	
Vérification équilibre	$M_t + M_a =$	71.74	> 42	$= (1+0.3\alpha) \times M_0$
			ok	

4. Efforts résistants

3.1 Moment Résistant en travée

Resistance de calcul en compression du béton

$f_{cd} = 16.67$ Mpa

Contrainte du béton admissible

$F_{bu} = 14.17$ Mpa

Raccourcissement unitaire du béton en compression simple

$\epsilon_1 = 0.002$

Raccourcissement unitaire du béton en flexion

$\epsilon_2 = 0.0035$

Coefficient de calcul raccourcissement du béton

$My_2 = 0.33673$

Coefficient de calcul fibre comprimée

$N_y = 0.8095$

Contrainte linéaire fibre comprimée

$f_{ic} = 11.4683$ Mpa/m

Contrainte de calcul acier

$F_a = 0.0$ kN

Position axe neutre

$y = 0.000000$ kN

Moment résistant en travée de poutre obtenu à parti de la feuille de calcul : Étude prédalle béton précontrainte suivant cpt plancher - CAHIERS CSTB 3221 Mai 2000

$MR_{d,t} = 55$ kN.m

3.2 Moment Résistant sur appui

Coefficient de calcul raccourcissement du béton

$My_2 = 0.33673$

Coefficient de calcul fibre comprimée

$N_y = 0.8095$

Contrainte linéaire fibre comprimée

$f_{ic} = 11.4683$ Mpa/m

Contrainte de calcul acier

$F_a = 157.3$ kN

Position axe neutre

$y = 0.013715$ kN

Moment résistant sur appui de poutre

$MR_{d,a} = 26.31$ kN.m

3.2 Moment résistant travée de comparaison

Moment résistant de travée de comparaison

$MR_{d,0} = 78.1$ kN.m

5. Vérifications des sollicitations

Vérification Moment travée de comparaison

$M_0 / MR_{d,0} = 52.0\%$

Vérification Moment travée poutre

$M_t / MR_{d,t} = 89.8\%$

Vérification Moment appui poutre

$M_a / MR_{d,a} = 84.0\%$

ANNEXE 2 : NOTE DE CALCUL DE LA POUTRE

VÉRIFICATION DE LA POUTRE

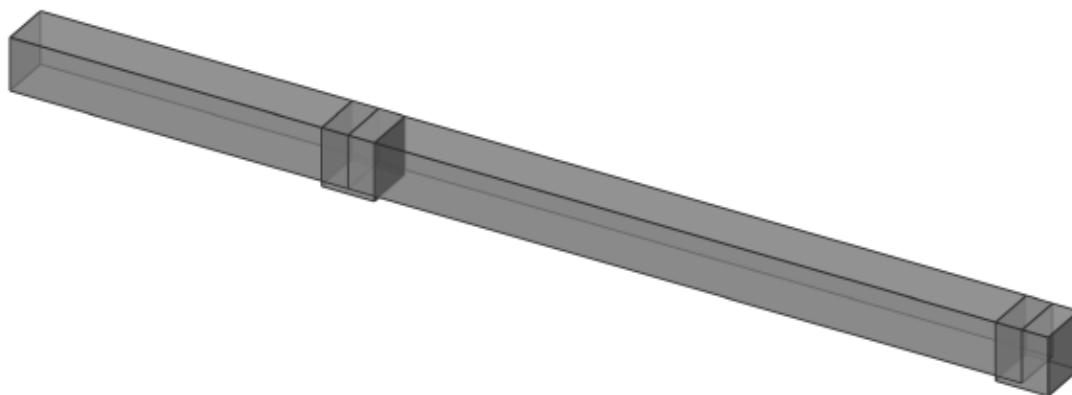
 GRAITEC INNOVATION www.graitec.com 17 Burospace 91572 Bièvres	Projet			
	Adresse			
	Note			
	Auteur		Date	
	Vérificateur		Date	
	Indice	0	Plan	T

Poutre en béton armé

Sommaire

1	Description de la géométrie.....	2
2	Charges et combinaisons.....	2
3	Hypothèses globales.....	3
3.1	Localisation.....	3
3.2	Unités.....	4
3.3	Matériaux.....	4
4	Sollicitations internes.....	5
4.1	Enveloppe des combinaisons ELU.....	6
4.2	Enveloppe des combinaisons ELS.....	7
5	Aciers longitudinaux.....	7
5.1	Calcul détaillé.....	8
6	Aciers transversaux.....	12
6.1	Hypothèses générales pour les aciers transversaux.....	12
6.2	Calcul détaillé.....	13
6.3	Dispositions constructives minimales.....	15
7	Vérification des contraintes.....	16
7.1	Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ.....	16
7.2	Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ.....	16
7.3	Enveloppe des combinaisons ELS-QP.....	17
8	Vérification de l'ouverture de fissures.....	19
9	Réactions d'appuis.....	21

1 Description de la géométrie



Travée : 1

Longueur	$L = 3250 \text{ mm}$
Largeur de la poutre	$b_w = 550 \text{ mm}$
Hauteur totale de la poutre	$H = 555 \text{ mm}$
Largeur de l'appui gauche	$b_{LS} = 0 \text{ mm}$
Largeur de l'appui droit	$b_{RS} = 550 \text{ mm}$

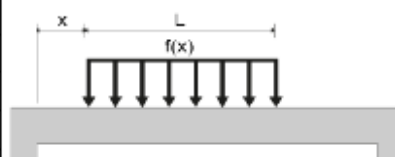
Travée : 2

Longueur	$L = 6475 \text{ mm}$
Largeur de la poutre	$b_w = 550 \text{ mm}$
Hauteur totale de la poutre	$H = 555 \text{ mm}$
Largeur de l'appui gauche	$b_{LS} = 550 \text{ mm}$
Largeur de l'appui droit	$b_{RS} = 550 \text{ mm}$

2 Charges et combinaisons

Description des cas de charges								
ID	Titre	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	γ_{EQU}	γ_{STR}	$\gamma_{\text{EQU,Fav}}$	$\gamma_{\text{STR,Fav}}$
1	Permanentés 1	-	-	-	1.1	1.35	0.9	1
2	Surcharges d'exploitation 1	0	0	0	1.5	1.5	0	0

Charges linéaires uniformes					
Charge	Cas	f	x	L	h'
		(kN/m)	(mm)		
1	1	41.73	0	10550	-
2	2	6.78	0	10550	-



Description des combinaisons			
ID	Combinaison	Code	Type
101	1x[1 G]	ECELUSTR	ELU
102	1.35x[1 G]	ECELUSTR	ELU
103	1x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
104	1.35x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
105	1x[1 G]	ECELSQ	ELS
106	1x[1 G]+1x[2 Q]	ECELSQ	ELS
107	1x[1 G]	ECELSFQ	ELS
108	1x[1 G]+0.5x[2 Q]	ECELSFQ	ELS
109	1x[1 G]	ECELSQP	ELS
110	1x[1 G]+0.3x[2 Q]	ECELSQP	ELS

3 Hypothèses globales

Calcul béton :	EN1992-1-1 / EN1992-1-2.
Charges et combinaisons :	EN1990/EN1991.
Calcul des aciers longitudinaux :	EN1992-1-1 / 6.1 - Méthode du « moment réduit limite »
Calcul des aciers transversaux :	Méthode standard (EN1992-1-1, 6.2.2 / 6.2.3)
Béton :	Aucun béton avec fumée de silice Aucun béton hautes performances
Diagramme des aciers :	Diagramme à palier horizontal
Dispositions sismiques :	Pas de dispositions sismiques. Ductilité moyenne Poutre principale.
Résistance au feu :	R 0
Poids propre :	Avertissement - Aucun poids propre.
Mode de calcul de section :	Section rectangulaire.

3.1 Localisation

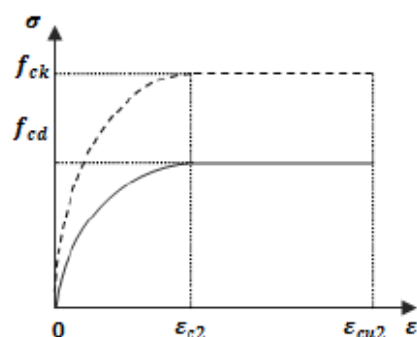
Localisation	France
Type d'élément	Poutre standard
ID de l'élément	1
Position	Poutre 1, Niveau 1
Plan	T
Niveau	0.00 m NGF
Coordonnées	X ₁ = 0.00 m; Y ₁ = 0.00 m; Z ₁ = 0.00 m X ₂ = 10.55 m; Y ₂ = 0.00 m; Z ₂ = 0.00 m

3.2 Unités

Longueurs	mm
Efforts	kN
Moments	kN·m
Contraintes	MPa (MN/m ²)
Angles	°
Sections d'acier	cm ²
Ouverture de fissure	mm

3.3 Matériaux

Qualité de béton
(EN1992-1-1 / 3.1)



Travée 1

Classe de béton : C25/30

Travée 2

Classe de béton : C25/30

$$f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1.00 \times \frac{25.00 \text{ MPa}}{1.50} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot (f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \times (25.00 \text{ MPa})^{2/3} = 2.56 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{1.3}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \times \left[\frac{33.00 \text{ MPa}}{10} \right]^{1.3}$$

$$E_{cm} = 31475.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c2} = 2.00\text{‰}$$

$$\varepsilon_{cu2} = 3.50\text{‰}$$

$$\rho_c = 0.00 \text{ kg/m}^3$$

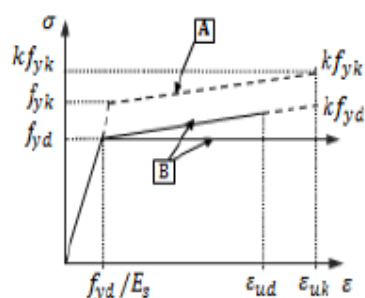
$$\text{ELU : } \gamma_c = 1.50$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_c = 1.20$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_c = 1.30$$

Nuance d'acier

(EN1992-1-1 / Section 3 / Annexe C)



Travée 1

Classe des aciers longitudinaux : B400A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 2

Classe des aciers longitudinaux : B400A

Classe des aciers transversaux : B400A

$$f_{yk} = 400.00 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = \min \left\{ k \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; f_{yk} \right\}$$

$$f_{yk} = \min \left\{ 1.05 \times \frac{400.00 \text{ MPa}}{1.15}; 400.00 \text{ MPa} \right\} = 347.83 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 400.00 \text{ MPa}$$

Classe de ductilité : A

$$E_s = 200000.00 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{uk} = 25.00\%$$

$$\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk} = 0.9 \times 25.00 = 22.50\%$$

Diagramme à palier horizontal

$$k = 1.05$$

$$\text{ELU} : \gamma_s = 1.15$$

$$\text{ELU-A} : \gamma_s = 1.00$$

$$\text{ELU-S} : \gamma_s = 1.00$$

Travée	Enrobages								
	Haut			Bas			Latéral		
	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	25	26	16	25	25	16	25	25	16
2	25	26	16	25	25	16	25	25	16

Valeur minimale de l'enrobage pour la durabilité $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (5))

Tolérance d'exécution $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ (4.4.1.1 2(P))

Tolérance de sécurité $\Delta c_{dur,s} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (6))

Réduction pour l'acier inoxydable $\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (7))

Réduction pour une protection supplémentaire $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (8))

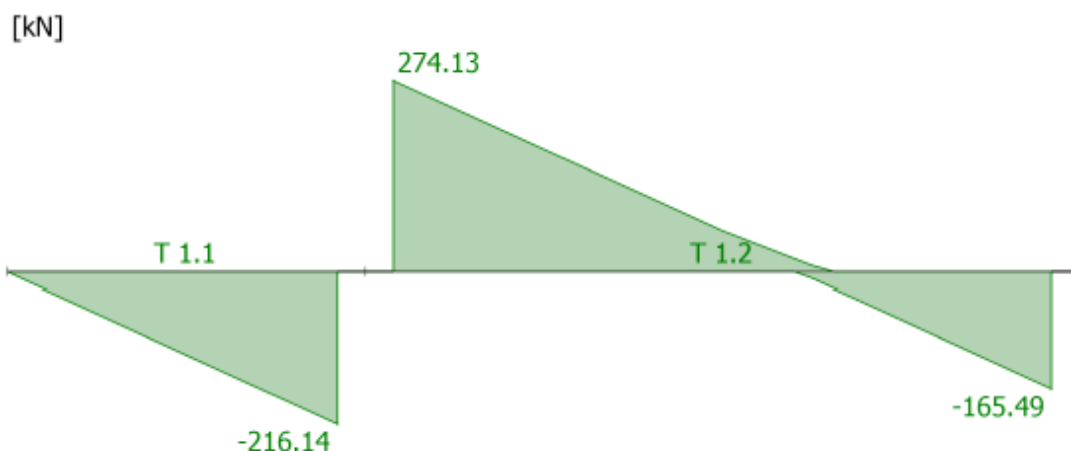
4 Sollicitations internes

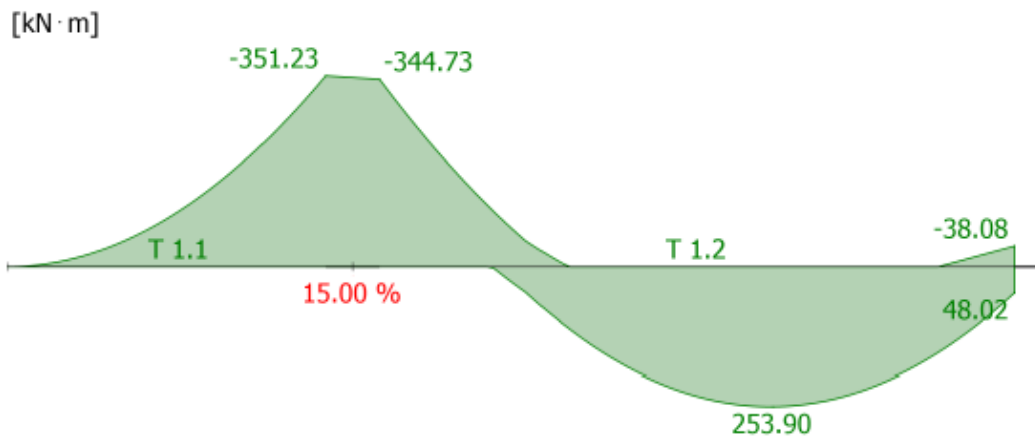
Tableau synthétique de résultats

Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELU et ELS sont affichées.

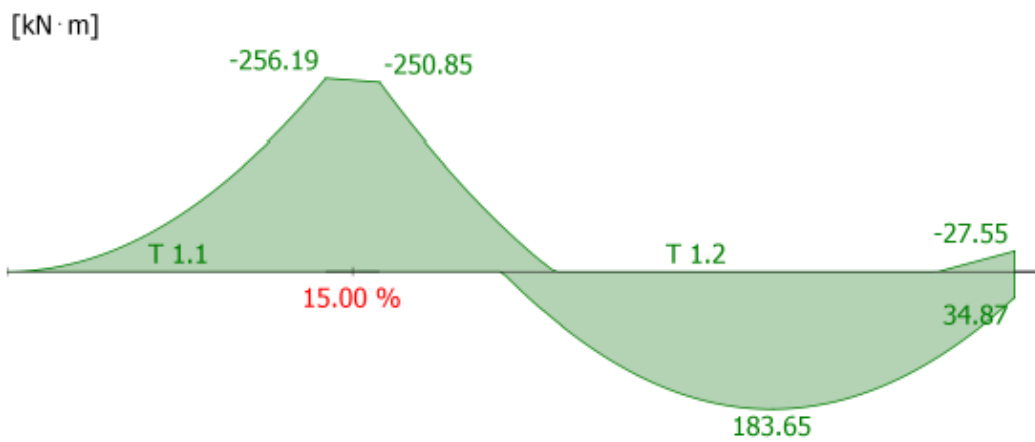
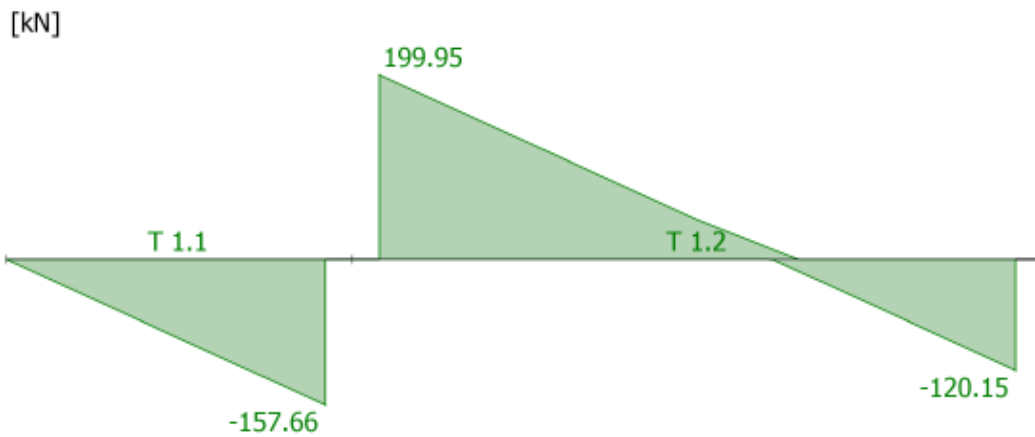
Travée - Coupe	Abscisse	Face	M_{Ed}	M_{cqc}	M_{fq}	M_{gp}	V_{Ed}	T_{Ed}
	(m)		(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN)	(kN · m)
1 - Appui droit	3.25	Haut	-351.23	-256.19	-238.29	-231.13	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-216.14	0.00
1 - VMax	3.25	Haut	-351.23	-256.19	-238.29	-231.13	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-216.14	0.00
1 - wk Max	2.21	Haut	-162.41	-118.46	-110.19	-106.87	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-146.98	0.00
1 - Contrainte Max Béton	3.25	Haut	-351.23	-256.19	-238.29	-231.13	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-216.14	0.00
1 - Contrainte Max Acier	3.25	Haut	-351.23	-256.19	-238.29	-231.13	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-216.14	0.00
1 - Flèche Max	0.00	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Appui gauche	0.00	Haut	-344.73	-250.85	-230.62	-222.52	274.13	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Appui droit	6.47	Haut	-38.08	-27.55	-24.57	-23.39	0.00	0.00
		Bas	48.02	34.87	31.73	30.47	-165.49	0.00
2 - MInf	4.01	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	15.04	0.00
		Bas	253.90	183.65	163.76	155.81	-3.42	0.00
2 - VMax	0.00	Haut	-344.73	-250.85	-230.62	-222.52	274.13	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - wk Max	4.08	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	11.40	0.00
		Bas	253.64	183.50	163.79	155.90	-6.78	0.00
2 - Contrainte Max Béton	0.00	Haut	-344.73	-250.85	-230.62	-222.52	274.13	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Contrainte Max Acier	4.08	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	11.40	0.00
		Bas	253.64	183.50	163.79	155.90	-6.78	0.00
2 - Flèche Max	0.00	Haut	-344.73	-250.85	-230.62	-222.52	274.13	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00

4.1 Enveloppe des combinaisons ELU

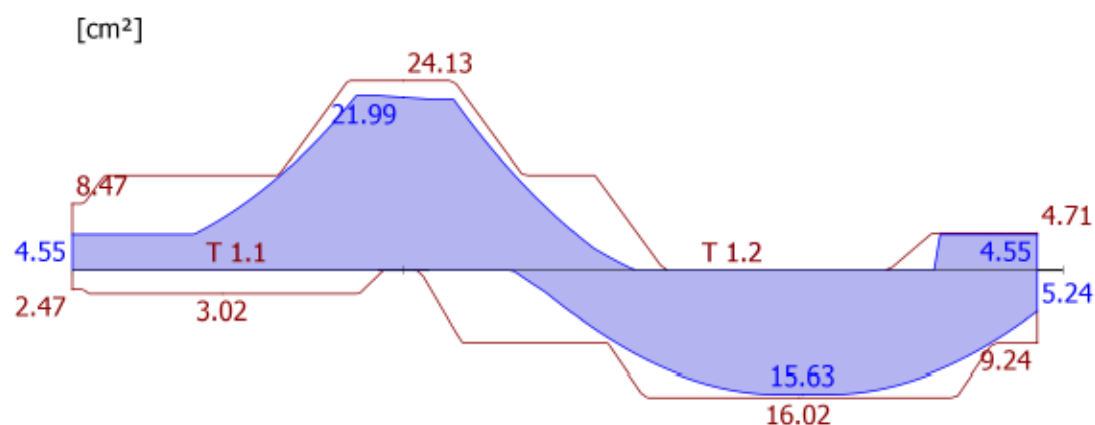




4.2 Enveloppe des combinaisons ELS



5 Aciers longitudinaux



Les aciers sont calculés en considérant le moment de calcul qui est différent du moment des efforts, conformément à l'article 9.2.1.3, Figure 9.2 de l'EN 1992-1-1.

Aciers longitudinaux									
Position				Moment			Armatures		
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	Face	M _{Ed}	M _{Rd}	T _x	Théo	Réel	Min
	(mm)			(kN · m)	(kN · m)		(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
1 - Appui droit	3250	104	Supérieur	-351.23	-377.56	93.03 %	22.22	24.13	4.55
2 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-344.73	-379.57	90.82 %	21.76	24.13	4.55
2 - Appui droit	6475	104	Supérieur	-38.08	-81.64	46.65 %	4.55	4.71	4.55
2 - MInf	4014	104	Inférieur	253.90	266.01	95.45 %	15.63	16.02	4.55

Aciers longitudinaux réels			
Travée	Position	Famille	Armatures
1	Inférieur	1	6 × ø8 (3.02 cm ²)
2	Inférieur	1	6 × ø14 + 6 × ø12 (16.02 cm ²)
	Supérieur	1	6 × ø8 (3.02 cm ²)

Aciers réels sur appuis		
Appui	Famille	Armatures
1	1	6 × ø16 + 6 × ø16 (24.13 cm ²)
2	1	6 × ø10 (4.71 cm ²)

La hauteur utile (d) est déterminée automatiquement en fonction du ferrailage réel.

6 Aciers transversaux

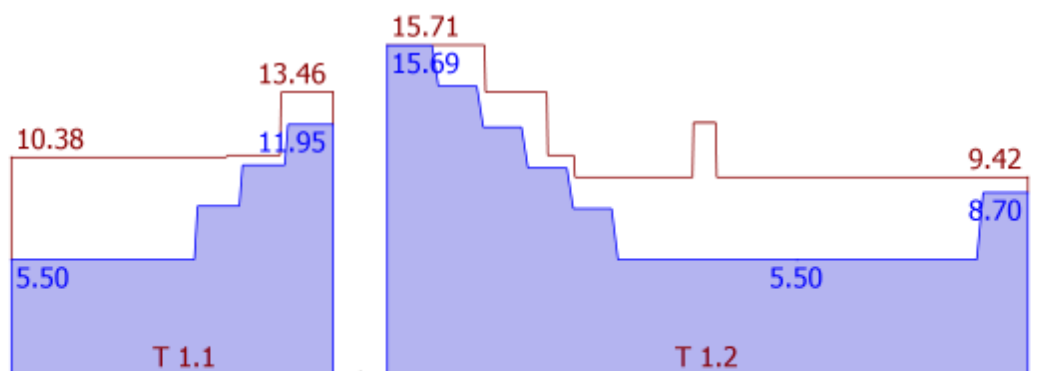
6.1 Hypothèses générales pour les aciers transversaux

Le calcul du ferrailage transversal est effectué selon l'article 6.2 de l'EN1992-1-1.

Pas de transmission directe sur appui.

Le calcul est effectué selon la longueur élémentaire $z(\cot \Theta)$ selon le §6.2.3(5) de l'EN 1992-1-1.

[cm²/m]



Aciers transversaux										
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	$V_{Ed,red}$	$V_{Rd,c}$	$V_{Rd,max}$	A_{sw}	$A_{sw,min}$	$A_{sw,real}$	$V_{Rd,1}$	Tx
	(mm)		(kN)			(cm ² /m)			(kN)	
1 - VMax	3250	104	185.88	123.48	1106.40	11.95	5.50	13.46	208.21	89.28 %
2 - VMax	0	104	243.98	119.64	1106.40	15.69	5.50	15.71	242.91	100.44 %

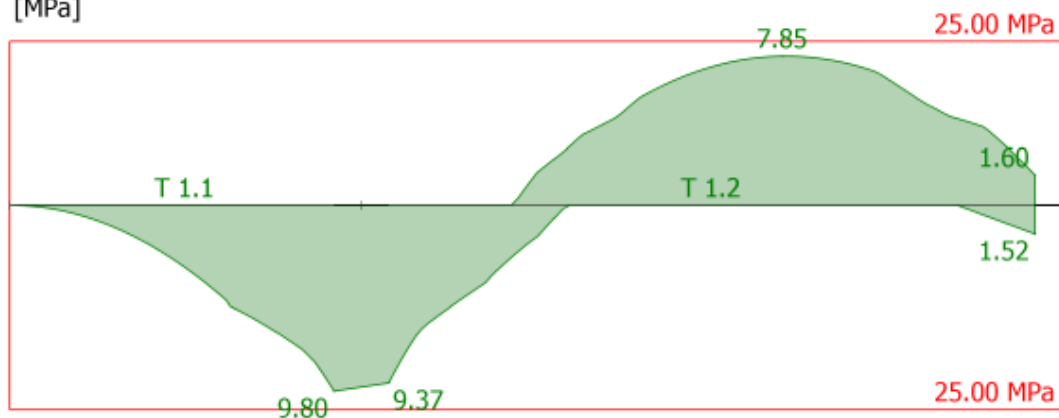
Aciers transversaux réels		
Travée	Groupe	Armatures
1	1	7 × ø6 / 272 mm
	2	2 × ø6 / 270 mm
	3	2 × ø6 / 210 mm
2	1	5 × ø6 / 180 mm
	2	3 × ø6 / 210 mm
	3	1 × ø6 / 270 mm
	4	4 × ø6 / 300 mm
	5	1 × ø6 / 235 mm
	6	10 × ø6 / 300 mm

7 Vérification des contraintes

7.1 Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ

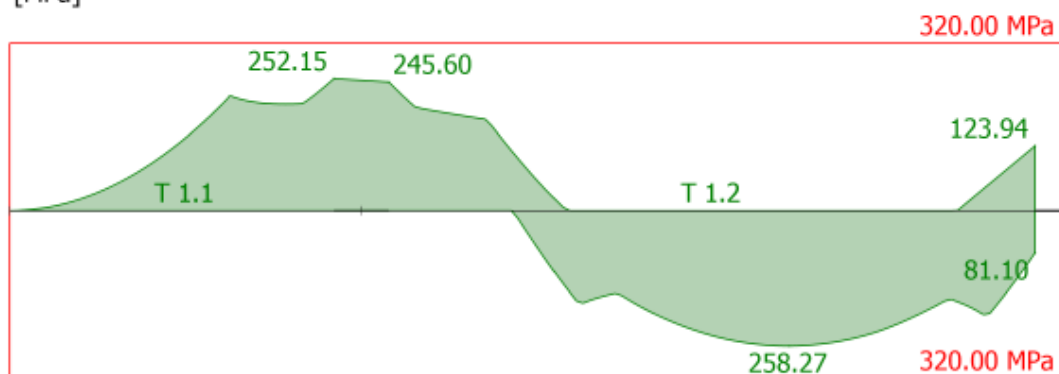
Contrainte de compression du béton

[MPa]



Contrainte de traction dans les armatures

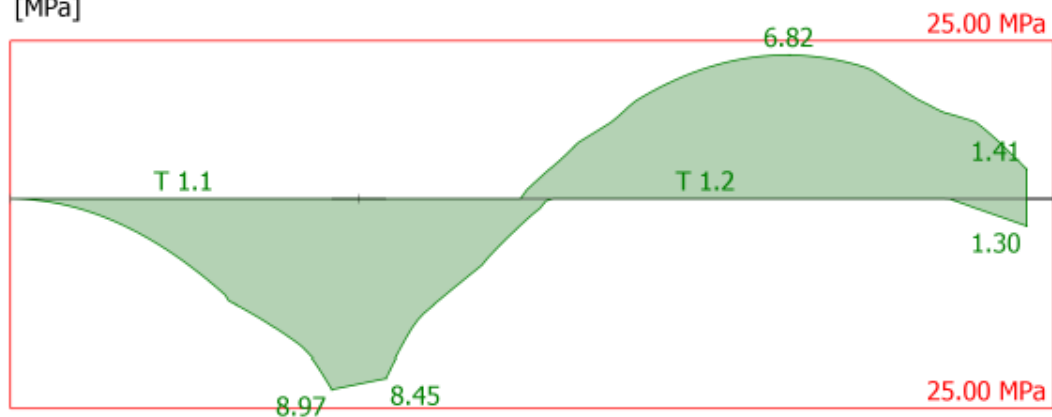
[MPa]



7.2 Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ

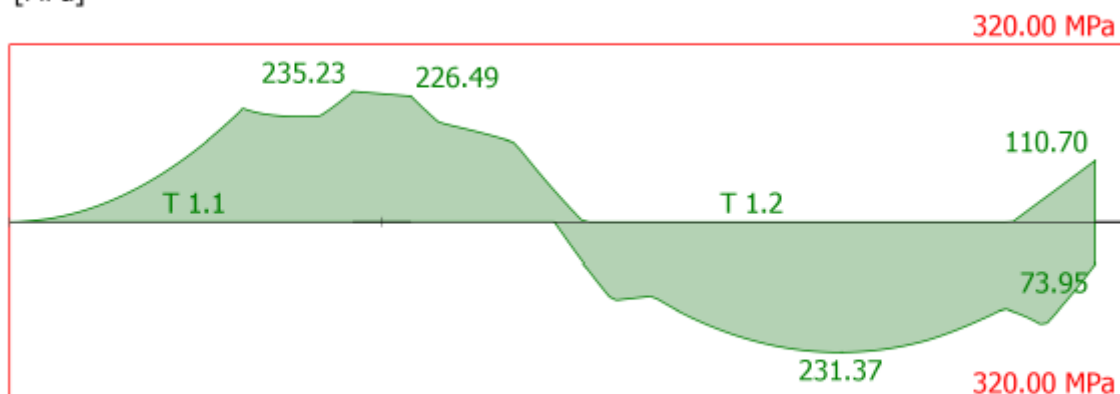
Contrainte de compression du béton

[MPa]



Contrainte de traction dans les armatures

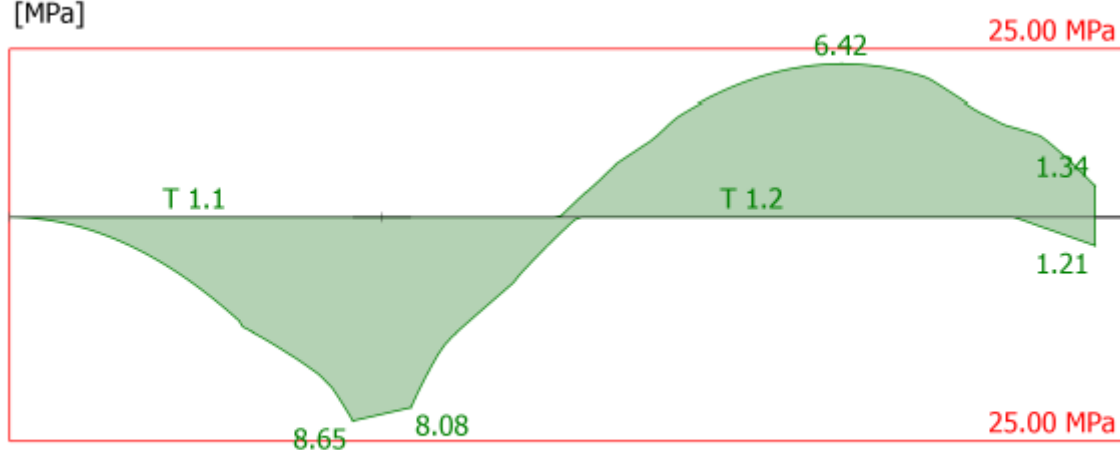
[MPa]



7.3 Enveloppe des combinaisons ELS-QP

Contrainte de compression du béton

[MPa]



Contrainte de traction dans les armatures

[MPa]

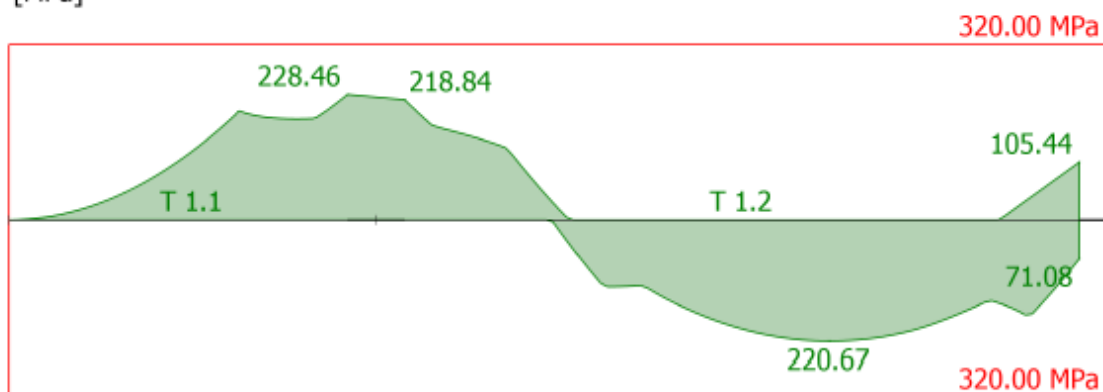


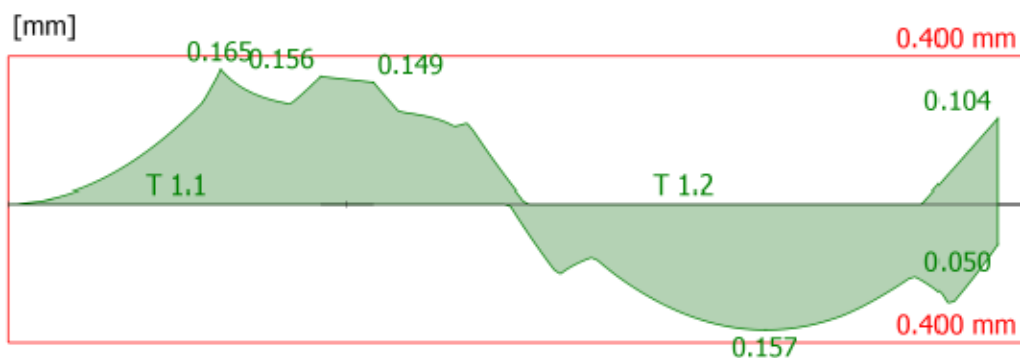
Tableau synthétique de résultats

Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification des contraintes								
Travée - Coupe	Abscisse (mm)	Type d'enveloppe	Contraintes (MPa)					
			φ_{ef}	α_e	σ_c	Tx	σ_s	Tx
1 - Contrainte Max Béton	3250	CRQ	3.28	20.83	9.80	39.19 %	252.15	78.80 %
		FRQ	3.28	21.92	8.97	35.89 %	235.23	73.51 %
		QP	3.53	22.40	8.65	34.59 %	228.46	71.39 %
1 - Contrainte Max Acier	3250	CRQ	3.28	20.83	9.80	39.19 %	252.15	78.80 %
		FRQ	3.28	21.92	8.97	35.89 %	235.23	73.51 %
		QP	3.53	22.40	8.65	34.59 %	228.46	71.39 %
2 - Contrainte Max Béton	0	CRQ	3.24	20.59	9.37	37.48 %	245.60	76.75 %
		FRQ	3.24	21.84	8.45	33.79 %	226.49	70.78 %
		QP	3.53	22.40	8.08	32.33 %	218.84	68.39 %
2 - Contrainte Max Acier	4079	CRQ	3.15	19.99	7.84	31.36 %	258.07	80.65 %
		FRQ	3.15	21.63	6.82	27.28 %	231.37	72.30 %
		QP	3.53	22.40	6.42	25.67 %	220.67	68.96 %

8 Vérification de l'ouverture de fissures

Les combinaisons spécifiques d'enveloppes ELS n'ont pas été trouvées (ELS quasi-permanent). Les vérifications ont été effectuées avec la combinaison ELS définie.



Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification de l'ouverture des fissures									
Travée - Coupe	Abscisse (mm)	Position	$w_{k,top}$	$w_{k,bot}$	$S_{r,max}$	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_c$	$w_{k,max}$	w_{lim}	Tx
			(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	
1 - wk Max	2210	Supérieur	0.165	0.000	248	0.67	0.165	0.400	41.29 %
2 - wk Max	4079	Inférieur	0.000	0.157	182	0.86	0.157	0.400	39.14 %

Le calcul de l'ouverture de fissure est effectué selon EN 1992-1-1, 7.3.4 (1).

9 Réactions d'appuis

Cas de charge / combinaison		App.	Fz (kN)		My (kN · m)
			Normale	Soulèvement	
1	Permanentes 1	1	0.00	0.00	0.00
		2	-330.58	0.00	0.00
2	Surcharges d'exploitation 1	1	0.00	0.00	0.00
		2	-53.71	0.00	0.00
	Max(ELU)	1	0.00	0.00	0.00
		2	-526.85	0.00	0.00
	Max(ELS)	1	0.00	0.00	0.00
		2	-384.29	0.00	0.00

DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ PORTANTE

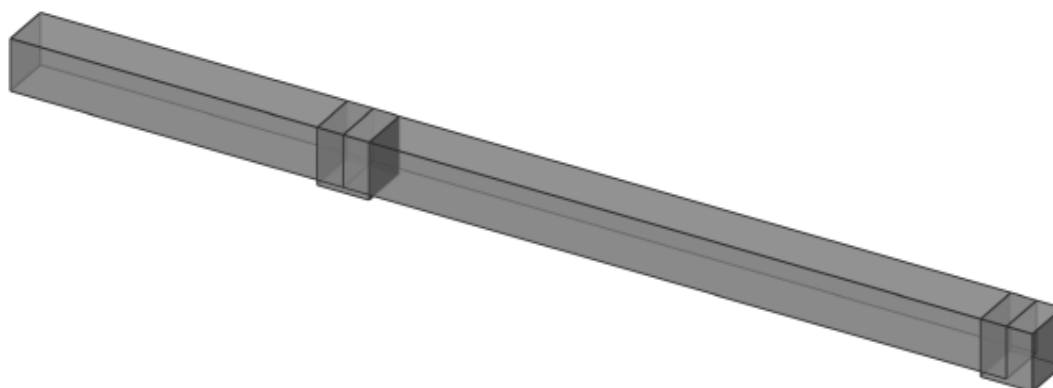
 GRAITEC INNOVATION www.graitec.com 17 Burospace 91572 Bièvres	Projet			
	Adresse			
	Note			
	Auteur		Date	
	Vérificateur		Date	
	Indice	0	Plan	T

Poutre en béton armé

Sommaire

1	Description de la géométrie.....	2
2	Charges et combinaisons.....	2
3	Hypothèses globales.....	3
3.1	Localisation.....	3
3.2	Unités.....	4
3.3	Matériaux.....	4
4	Sollicitations internes.....	5
4.1	Enveloppe des combinaisons ELU.....	6
4.2	Enveloppe des combinaisons ELS.....	7
5	Aciers longitudinaux.....	7
5.1	Calcul détaillé.....	8
6	Aciers transversaux.....	12
6.1	Hypothèses générales pour les aciers transversaux.....	12
6.2	Calcul détaillé.....	13
6.3	Dispositions constructives minimales.....	15
7	Vérification des contraintes.....	16
7.1	Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ.....	16
7.2	Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ.....	16
7.3	Enveloppe des combinaisons ELS-QP.....	17
8	Vérification de l'ouverture de fissures.....	19
9	Réactions d'appuis.....	21

1 Description de la géométrie



Travée : 1

Longueur $L = 3250$ mm

Largeur de la poutre $b_w = 550$ mm

Hauteur totale de la poutre $H = 555$ mm

Largeur de l'appui gauche $b_{LS} = 0$ mm

Largeur de l'appui droit $b_{RS} = 550$ mm

Travée : 2

Longueur $L = 6475$ mm

Largeur de la poutre $b_w = 550$ mm

Hauteur totale de la poutre $H = 555$ mm

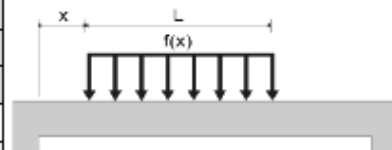
Largeur de l'appui gauche $b_{LS} = 550$ mm

Largeur de l'appui droit $b_{RS} = 550$ mm

2 Charges et combinaisons

Description des cas de charges								
ID	Titre	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	γ_{EQU}	γ_{STR}	$\gamma_{EQU,Fav}$	$\gamma_{STR,Fav}$
1	Permanentes 1	-	-	-	1.1	1.35	0.9	1
2	Surcharges d'exploitation 1	0	0	0	1.5	1.5	0	0

Charges linéaires uniformes					
Charge	Cas	f (kN/m)	x	L	h'
1	1	43.00	0	10550	-
2	2	6.78	0	10550	-



Description des combinaisons			
ID	Combinaison	Code	Type
101	1x[1 G]	ECELUSTR	ELU
102	1.35x[1 G]	ECELUSTR	ELU
103	1x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
104	1.35x[1 G]+1.5x[2 Q]	ECELUSTR	ELU
105	1x[1 G]	ECELSQ	ELS
106	1x[1 G]+1x[2 Q]	ECELSQ	ELS
107	1x[1 G]	ECELSFQ	ELS
108	1x[1 G]+0.5x[2 Q]	ECELSFQ	ELS
109	1x[1 G]	ECELSQP	ELS
110	1x[1 G]+0.3x[2 Q]	ECELSQP	ELS

3 Hypothèses globales

Calcul béton :	EN1992-1-1 / EN1992-1-2.
Charges et combinaisons :	EN1990/EN1991.
Calcul des aciers longitudinaux :	EN1992-1-1 / 6.1 - Méthode du « moment réduit limite »
Calcul des aciers transversaux :	Méthode standard (EN1992-1-1, 6.2.2 / 6.2.3)
Béton :	Aucun béton avec fumée de silice Aucun béton hautes performances
Diagramme des aciers :	Diagramme à palier horizontal
Dispositions sismiques :	Pas de dispositions sismiques. Ductilité moyenne Poutre principale.
Résistance au feu :	R 0
Poids propre :	Avertissement - Aucun poids propre.
Mode de calcul de section :	Section rectangulaire.

3.1 Localisation

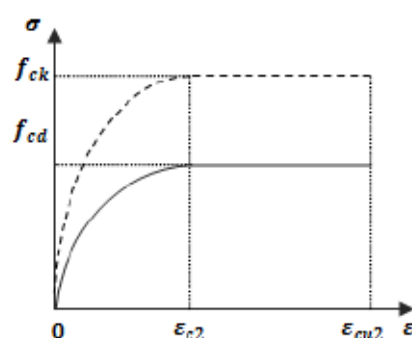
Localisation	France
Type d'élément	Poutre standard
ID de l'élément	1
Position	Poutre 1, Niveau 1
Plan	T
Niveau	0.00 m NGF
Coordonnées	X ₁ = 0.00 m; Y ₁ = 0.00 m; Z ₁ = 0.00 m X ₂ = 10.55 m; Y ₂ = 0.00 m; Z ₂ = 0.00 m

3.2 Unités

Longueurs	mm
Efforts	kN
Moments	kN·m
Contraintes	MPa (MN/m²)
Angles	°
Sections d'acier	cm²
Ouverture de fissure	mm

3.3 Matériaux

Qualité de béton
(EN1992-1-1 / 3.1)



Travée 1

Classe de béton : C25/30

Travée 2

Classe de béton : C25/30

$$f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1.00 \times \frac{25.00 \text{ MPa}}{1.50} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot (f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \times (25.00 \text{ MPa})^{2/3} = 2.56 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3}$$

$$E_{cm} = 22000.00 \text{ MPa} \times \left[\frac{33.00 \text{ MPa}}{10} \right]^{0.3}$$

$$E_{cm} = 31475.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c2} = 2.00\text{‰}$$

$$\varepsilon_{cu2} = 3.50\text{‰}$$

$$\rho_c = 0.00 \text{ kg/m}^3$$

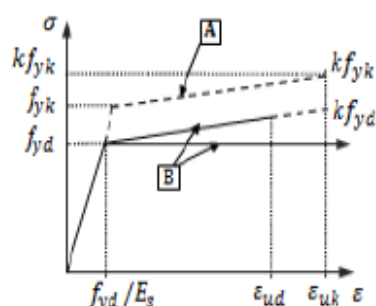
$$\text{ELU : } \gamma_c = 1.50$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_c = 1.20$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_c = 1.30$$

Nuance d'acier

(EN1992-1-1 / Section 3 / Annexe C)



Travée 1

Classe des aciers longitudinaux : B400A

Classe des aciers transversaux : B400A

Travée 2

Classe des aciers longitudinaux : B400A

Classe des aciers transversaux : B400A

$$f_{yk} = 400.00 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \min \left\{ k \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; f_{yk} \right\}$$

$$f_{yd} = \min \left\{ 1.05 \times \frac{400.00 \text{ MPa}}{1.15}; 400.00 \text{ MPa} \right\} = 347.83 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 400.00 \text{ MPa}$$

Classe de ductilité : A

$$E_s = 200000.00 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{uk} = 25.00\%$$

$$\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk} = 0.9 \times 25.00 = 22.50\%$$

Diagramme à palier horizontal

$$k = 1.05$$

$$\text{ELU : } \gamma_s = 1.15$$

$$\text{ELU-A : } \gamma_s = 1.00$$

$$\text{ELU-S : } \gamma_s = 1.00$$

Enrobages									
Travée	Haut			Bas			Latéral		
	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}	Enrobage	c _{nom}	c _{min,b}
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	25	26	16	25	25	16	25	25	16
2	25	26	16	25	25	16	25	25	16

Valeur minimale de l'enrobage pour la durabilité $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (5))

Tolérance d'exécution $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ (4.4.1.1 2(P))

Tolérance de sécurité $\Delta c_{dur,s} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (6))

Réduction pour l'acier inoxydable $\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (7))

Réduction pour une protection supplémentaire $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ (4.4.1.2 (8))

4 Sollicitations internes

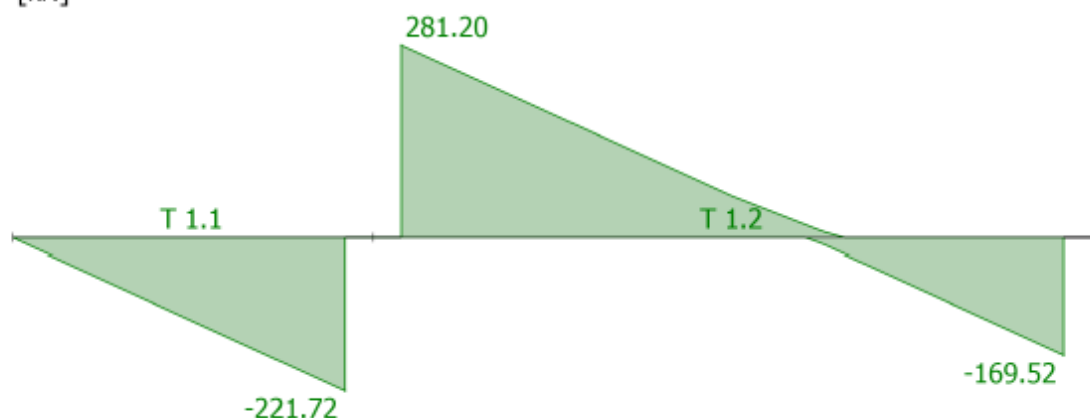
Tableau synthétique de résultats

Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELU et ELS sont affichées.

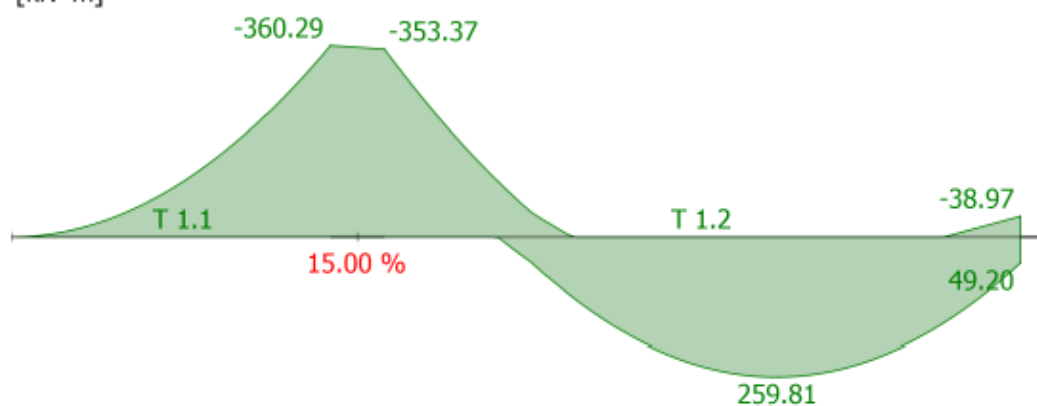
Travée - Coupe	Abscisse	Face	M_{Ed}	M_{eqc}	M_{fq}	M_{gp}	V_{Ed}	T_{Ed}
	(m)		(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN · m)	(kN)	(kN · m)
1 - Appui droit	3.25	Haut	-360.29	-262.90	-245.00	-237.84	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-221.72	0.00
1 - VMax	3.25	Haut	-360.29	-262.90	-245.00	-237.84	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-221.72	0.00
1 - wk Max	3.25	Haut	-360.29	-262.90	-245.00	-237.84	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-221.72	0.00
1 - Contrainte Max Béton	3.25	Haut	-360.29	-262.90	-245.00	-237.84	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-221.72	0.00
1 - Contrainte Max Acier	3.25	Haut	-360.29	-262.90	-245.00	-237.84	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-221.72	0.00
1 - Flèche Max	0.00	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Appui gauche	0.00	Haut	-353.37	-257.26	-237.02	-228.93	281.20	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Appui droit	6.47	Haut	-38.97	-28.20	-25.23	-24.04	0.00	0.00
		Bas	49.20	35.74	32.60	31.34	-169.52	0.00
2 - MInf	4.01	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	15.23	0.00
		Bas	259.81	188.03	168.14	160.19	-3.28	0.00
2 - VMax	0.00	Haut	-353.37	-257.26	-237.02	-228.93	281.20	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - wk Max	4.08	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	11.47	0.00
		Bas	259.56	187.88	168.17	160.29	-6.73	0.00
2 - Contrainte Max Béton	0.00	Haut	-353.37	-257.26	-237.02	-228.93	281.20	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
2 - Contrainte Max Acier	4.08	Haut	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	11.47	0.00
		Bas	259.56	187.88	168.17	160.29	-6.73	0.00
2 - Flèche Max	0.00	Haut	-353.37	-257.26	-237.02	-228.93	281.20	0.00
		Bas	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00

4.1 Enveloppe des combinaisons ELU

[kN]

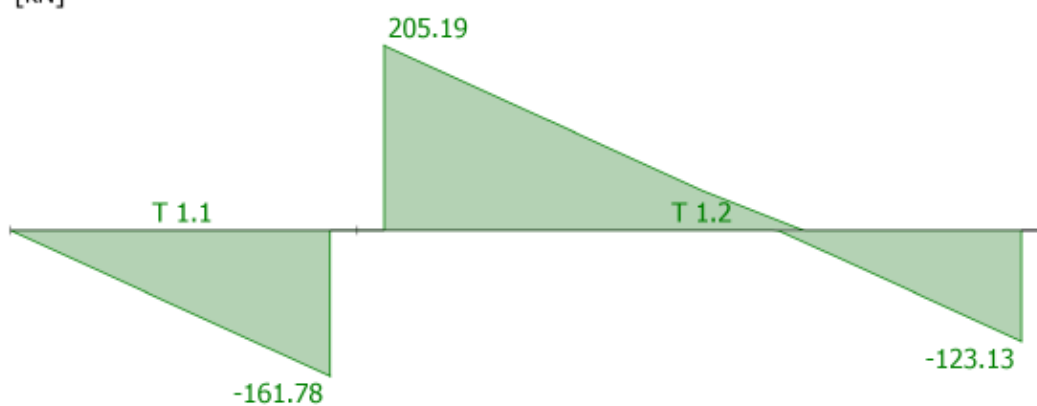


[kN · m]

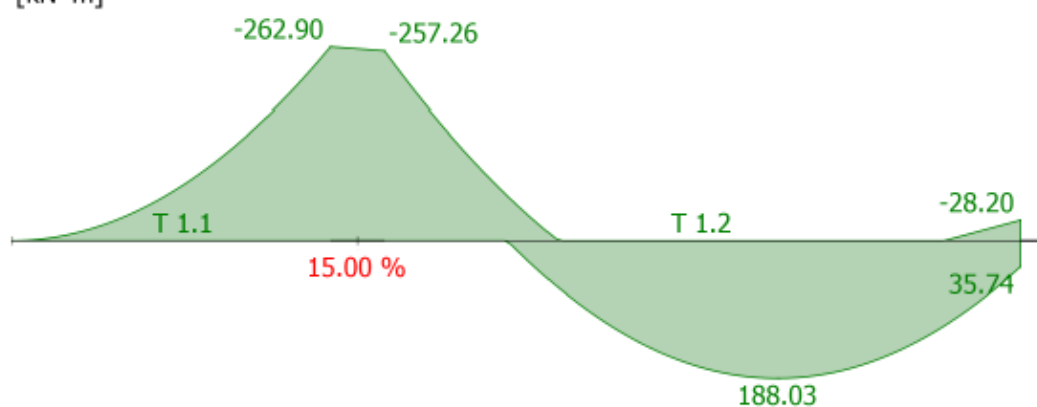


4.2 Enveloppe des combinaisons ELS

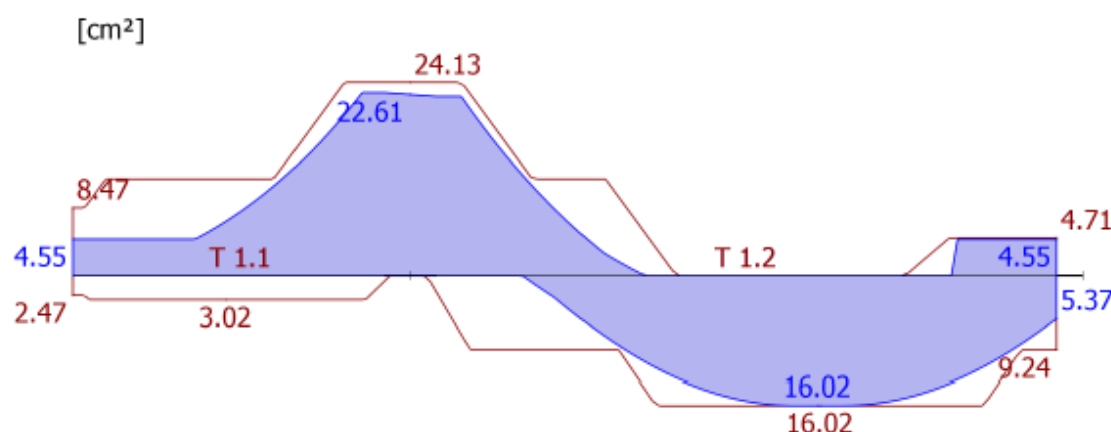
[kN]



[kN · m]



5 Aciers longitudinaux



Les aciers sont calculés en considérant le moment de calcul qui est différent du moment des efforts, conformément à l'article 9.2.1.3, Figure 9.2 de l'EN 1992-1-1.

Aciers longitudinaux									
Travée - Coupe	Position			Moment			Armatures		
	Abscisse (mm)	Comb	Face	M _{Ed} (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	T _x	Théo (cm ²)	Réel (cm ²)	Min (cm ²)
1 - Appui droit	3250	104	Supérieur	-360.29	-377.56	95.43 %	22.85	24.13	4.55
2 - Appui gauche	0	104	Supérieur	-353.37	-379.57	93.10 %	22.36	24.13	4.55
2 - Appui droit	6475	104	Supérieur	-38.97	-81.64	47.74 %	4.55	4.71	4.55
2 - MInf	4014	104	Inférieur	259.81	266.01	97.67 %	16.02	16.02	4.55

Aciers longitudinaux réels			
Travée	Position	Famille	Armatures
1	Inférieur	1	6 × ø8 (3.02 cm ²)
2	Inférieur	1	6 × ø14 + 6 × ø12 (16.02 cm ²)
	Supérieur	1	6 × ø8 (3.02 cm ²)

Aciers réels sur appuis		
Appui	Famille	Armatures
1	1	6 × ø16 + 6 × ø16 (24.13 cm ²)
2	1	6 × ø10 (4.71 cm ²)

La hauteur utile (*d*) est déterminée automatiquement en fonction du ferrailage réel.

6 Aciers transversaux

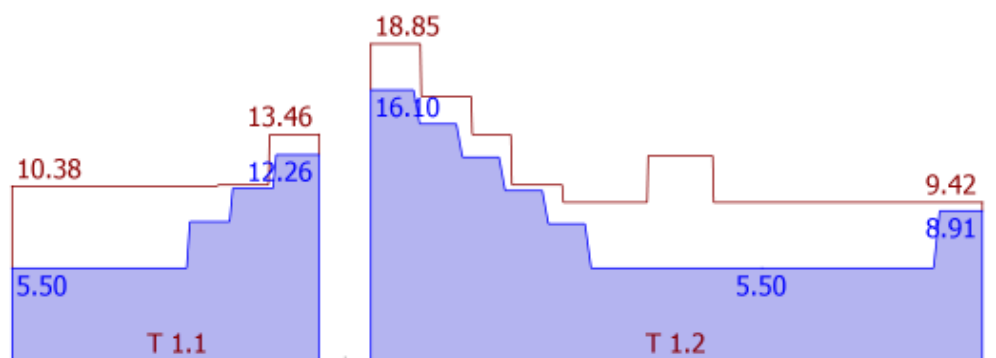
6.1 Hypothèses générales pour les aciers transversaux

Le calcul du ferrailage transversal est effectué selon l'article 6.2 de l'EN1992-1-1.

Pas de transmission directe sur appui.

Le calcul est effectué selon la longueur élémentaire $z(\cot \Theta)$ selon le §6.2.3(5) de l'EN 1992-1-1.

[cm²/m]



Aciers transversaux										
Travée - Coupe	Abscisse	Comb	$V_{Ed,red}$	$V_{Rd,c}$	$V_{Rd,max}$	A_{sw}	$A_{sw,min}$	$A_{sw,real}$	$V_{Rd,s}$	T_x
	(mm)		(kN)			(cm ² /m)			(kN)	
1 - VMax	3250	104	190.67	124.59	1106.40	12.26	5.50	13.46	208.21	91.58 %
2 - VMax	0	104	250.27	120.56	1106.40	16.10	5.50	18.85	291.50	85.86 %

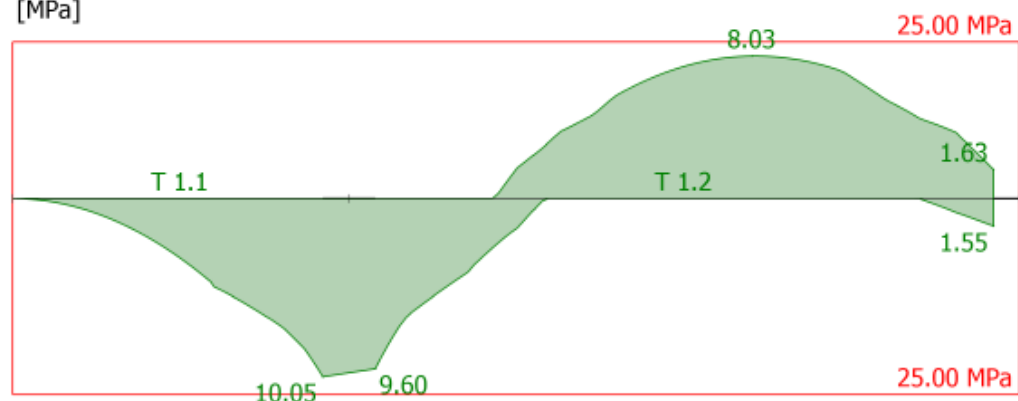
Aciers transversaux réels		
Travée	Groupe	Armatures
1	1	7 × ø6 / 272 mm
	2	2 × ø6 / 270 mm
	3	2 × ø6 / 210 mm
2	1	3 × ø6 / 150 mm
	2	3 × ø6 / 180 mm
	3	2 × ø6 / 210 mm
	4	2 × ø6 / 270 mm
	5	3 × ø6 / 300 mm
	6	3 × ø6 / 232 mm
	7	9 × ø6 / 300 mm

7 Vérification des contraintes

7.1 Enveloppe des combinaisons ELS-CRQ

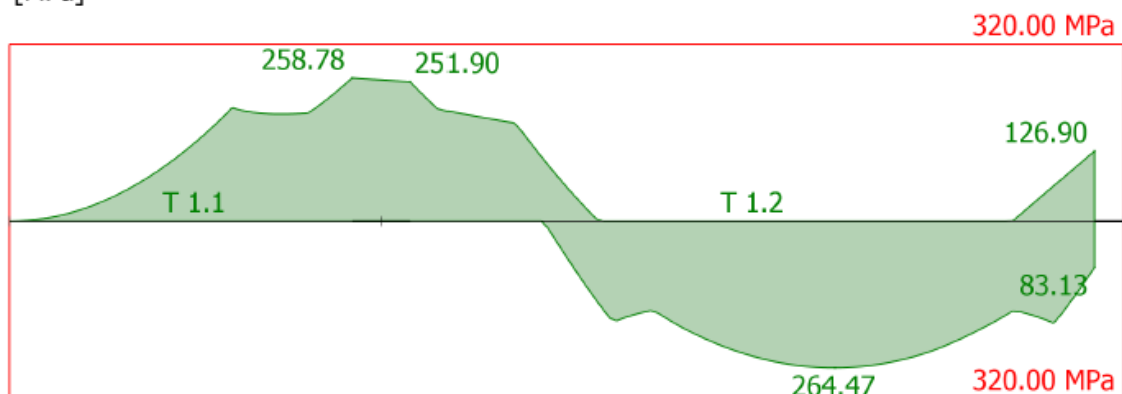
Contrainte de compression du béton

[MPa]



Contrainte de traction dans les armatures

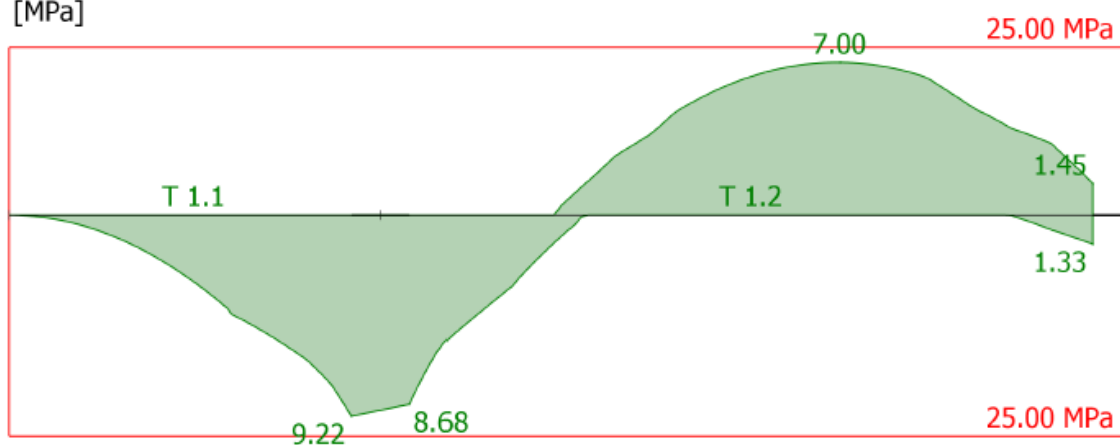
[MPa]



7.2 Enveloppe des combinaisons ELS-FRQ

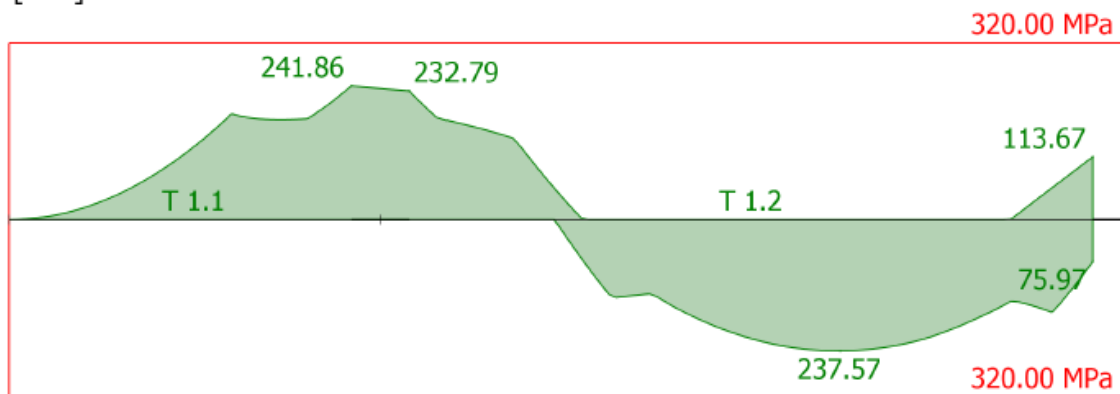
Contrainte de compression du béton

[MPa]



Contrainte de traction dans les armatures

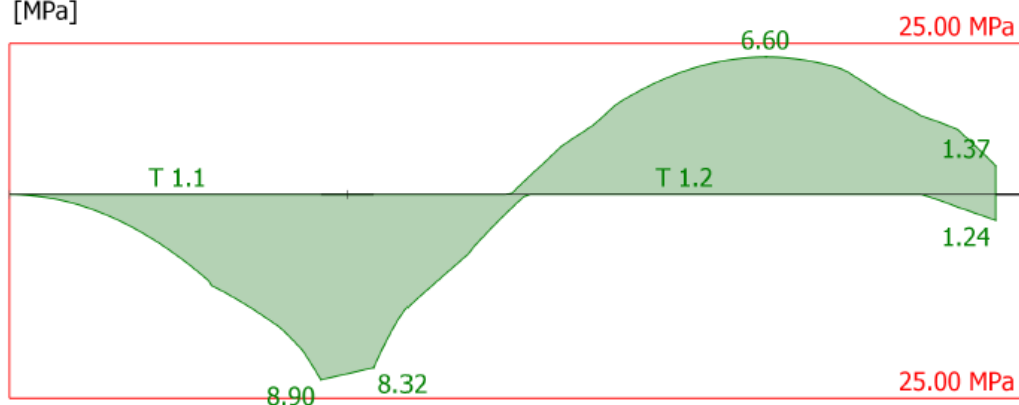
[MPa]



7.3 Enveloppe des combinaisons ELS-QP

Contrainte de compression du béton

[MPa]



Contrainte de traction dans les armatures

[MPa]

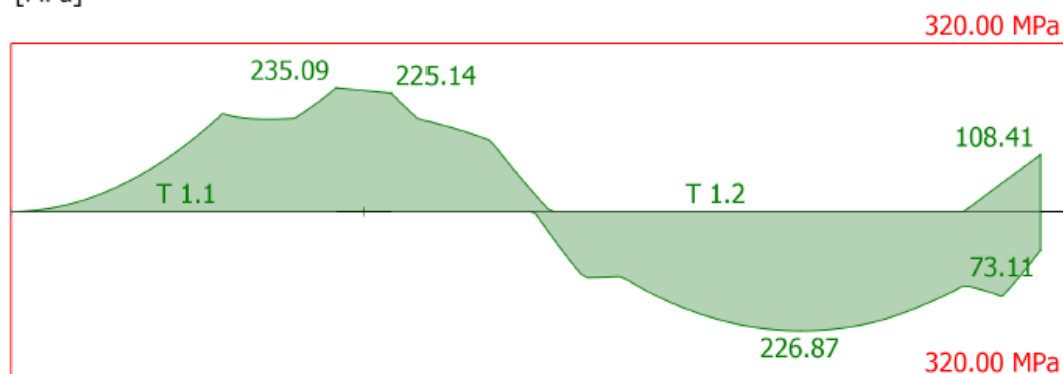


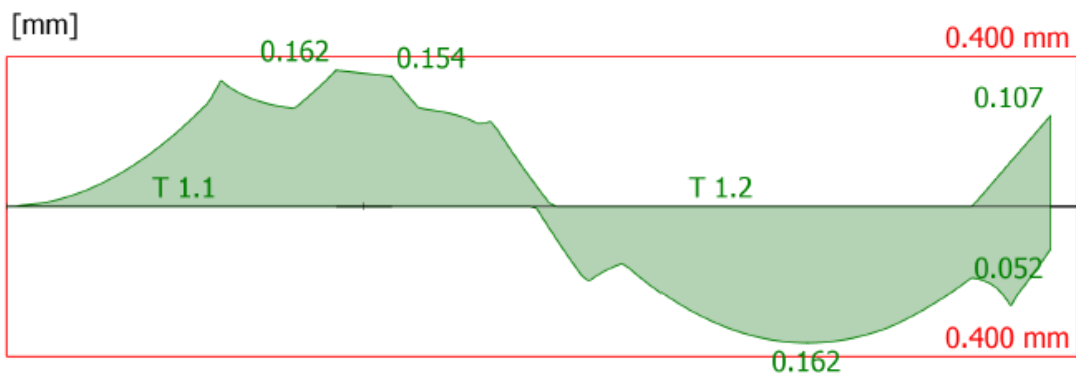
Tableau synthétique de résultats

Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification des contraintes								
Travée - Coupe	Abscisse (mm)	Type d'enveloppe	Contraintes (MPa)					
			φ_{ef}	α_e	σ_c	T_x	σ_s	T_x
1 - Contrainte Max Béton	3250	CRQ	3.28	20.87	10.05	40.20 %	258.78	80.87 %
		FRQ	3.28	21.93	9.22	36.90 %	241.86	75.58 %
		QP	3.53	22.40	8.90	35.59 %	235.09	73.46 %
1 - Contrainte Max Acier	3250	CRQ	3.28	20.87	10.05	40.20 %	258.78	80.87 %
		FRQ	3.28	21.93	9.22	36.90 %	241.86	75.58 %
		QP	3.53	22.40	8.90	35.59 %	235.09	73.46 %
2 - Contrainte Max Béton	0	CRQ	3.25	20.63	9.60	38.40 %	251.90	78.72 %
		FRQ	3.25	21.85	8.68	34.72 %	232.79	72.75 %
		QP	3.53	22.40	8.32	33.26 %	225.14	70.36 %
2 - Contrainte Max Acier	4079	CRQ	3.15	20.04	8.02	32.08 %	264.28	82.59 %
		FRQ	3.15	21.65	7.00	28.00 %	237.57	74.24 %
		QP	3.53	22.40	6.60	26.40 %	226.87	70.90 %

8 Vérification de l'ouverture de fissures

Les combinaisons spécifiques d'enveloppes ELS n'ont pas été trouvées (ELS quasi-permanent). Les vérifications ont été effectuées avec la combinaison ELS définie.



Dans le tableau ci-dessous, les données correspondantes aux enveloppes ELS sont affichées.

Vérification de l'ouverture des fissures									
Travée - Coupe	Abscisse	Position	$w_{k,top}$	$w_{k,bot}$	$S_{r,max}$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_c$	$w_{k,max}$	w_{lim}	T_x
	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(‰)	(mm)	(mm)	
1 - wk Max	3250	Supérieur	0.162	0.000	159	1.01	0.162	0.400	40.39 %
2 - wk Max	4079	Inférieur	0.000	0.162	182	0.89	0.162	0.400	40.55 %

Le calcul de l'ouverture de fissure est effectué selon EN 1992-1-1, 7.3.4 (1).

9 Réactions d'appuis

Cas de charge / combinaison		App.	Fz (kN)		My (kN · m)
			Normale	Soulèvement	
1	Permanentes 1	1	0.00	0.00	0.00
		2	-340.64	0.00	0.00
2	Surcharges d'exploitation 1	1	0.00	0.00	0.00
		2	-53.71	0.00	0.00
	Max(ELU)	1	0.00	0.00	0.00
		2	-540.43	0.00	0.00
	Max(ELS)	1	0.00	0.00	0.00
		2	-394.35	0.00	0.00