

# Volet aménagements maritimes

## Réparation de la darse Phase PROJET

**PORNICHET - 44**

Marché de conception réalisation  
pour le réaménagement des ports de  
plaisance de Pornichet



SEM CEPP

SOUS-TRAITANCE



Modifications	Indice	Date	Établi	Vérfié	Validé	Suivi des modifications	État
	A	31/07/2025	ALC	ALE	MCO	Émission initiale	
B	03/10/2023	ALC	ALE	MCO	Mise à jour		

ÉMETTEUR	ENTITÉ	NUMÉRO INTERNE	DOCUMENT	PHASE ÉTUDE	THÈME	N° DOCUMENT	INDICE	STATUT
<b>CHA</b>	<b>NA C</b>	<b>24009</b>	<b>NDC</b>	<b>PRO</b>	<b>DIM</b>	<b>008</b>	<b>B</b>	<b>PVI</b>

# SOMMAIRE

<b>HISTORIQUE DES RÉVISIONS</b>	<b>2</b>
<b>1. PRÉAMBULE</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE</b>	<b>5</b>
2.1. Données	5
2.2. Normes et règlements applicables	5
<b>3. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE EXISTANT</b>	<b>6</b>
<b>4. HYPOTHÈSES CONSIDÉRÉES</b>	<b>8</b>
4.1. Nivellement et référentiel	8
4.2. Durée d'utilisation de projet	8
4.3. Catégorie d'importance sismique	8
4.4. Actions et sollicitations	8
4.5. Combinaisons d'actions	9
4.6. Matériaux	10
<b>5. DIMENSIONNEMENT</b>	<b>12</b>
5.1. Principe de calcul	12
5.2. Phase provisoire	13
5.3. Phase définitive	17
5.4. Contraintes dans les armatures de flexion	25
5.5. Vérification des dalles au levage	26
5.6. Synthèse des armatures	30

## AIDE À LA NAVIGATION



Retour au  
sommaire



Liens vers  
Annexes



Télécharger  
un fichier

# HISTORIQUE DES RÉVISIONS

Rév.	Signataire et repérages des paragraphes modifiés
A	Rédacteur : Anne-Laure COUËTOUX du TERTRE Vérificateur : Anthony LERAY Approbateur : Milig COLLOBERT Émission initiale.
B	Rédacteur : Anne-Laure COUËTOUX du TERTRE Vérificateur : Anthony LERAY Approbateur : Milig COLLOBERT Mise à jour.

# 1. PRÉAMBULE

## Présentation générale du projet

Le projet de réaménagement du port de plaisance de Pornichet doit répondre à l'ensemble des objectifs visés par le concédant :

- Un port discret, vert, intégré dans le paysage.
- Un port ouvert à tous et à des nouveaux usages.
- Un port permettant d'assurer la sécurité des plaisanciers et des riverains.
- Un port qui prend soin de son environnement maritime, de la nature, et qui n'abîme pas la baie du Pouliguen.
- Un port accueillant que l'on a envie de faire découvrir à ses amis, sa famille.
- Un port qui dans son fonctionnement permet aux professionnels de voir leur activité facilitée et encouragée.
- Un port animé ouvert sur la culture, sur la fête.

Pour atteindre ces objectifs, le projet comporte un ensemble cohérent d'aménagements :

- La transformation du port d'échouage avec la mise en œuvre de pontons qui comprendra 550 places dont 470 sur pontons et 80 à l'échouage.
- Le rehaussement de la digue Nord-ouest du Port d'échouage d'un mètre cinquante.
- L'extension du terre-plein central et la sécurisation de la passe d'entrée du port d'échouage.
- La redéfinition du plan de mouillage du port en eaux profondes.
- La reconstruction d'un bâtiment central, afin d'y accueillir les commerces, les associations, de nouvelles activités notamment événementielle et le pôle technique et nautique.
- La création d'une capitainerie emblématique dont la vue donnera sur la baie du Pouliguen et sur les deux bassins.
- La rénovation des sanitaires sur les deux digues du port en eaux profondes, à la capitainerie.
- La création de 100 places de parking supplémentaires par la construction d'un niveau supplémentaire sur le parking actuel.

## Aménagements maritimes

Le projet de réaménagement global comprend deux volets relativement distincts :

- Un projet d'aménagements maritimes, comprenant :
  - La modernisation des bassins portuaires (à flot et à échouage).
  - Le renforcement de la digue de protection du port d'échouage.
  - L'extension du terre-plein central du port à flot.
  - La modernisation des moyens de mise à l'eau (extension de cale, réparation de la darse).
- Un projet d'aménagements terrestres, comprenant :
  - La reconstruction du bâtiment central.
  - La création d'une capitainerie.
  - La rénovation des sanitaires.
  - La création d'un parking.
  - La modernisation de l'aire de carénage.
  - La modernisation des voiries et réseaux.

**Le présent document concerne uniquement les aménagements maritimes et notamment la réparation de la darse.**

**Localisation des aménagements maritimes**



Figure 1 : Localisation des aménagements maritimes

**Modernisation des moyens de mise à l'eau**

La cale de mise à l'eau existante du port à flot sera allongée pour permettre la mise à l'eau par tout niveau de marée. Son accessibilité terrestre sera également facilitée.

**La darse, constituée de dalles bétons supportées par une structure poteaux/poutres, est aujourd'hui endommagée. L'ouvrage sera réparé.**

## 2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents listés ci-dessous concernent uniquement les études relatives au projet.

### 2.1. Données

Les données techniques de projet utiles pour la réalisation des études seront extraites des documents suivants :

- Documents CHARIER :
  - Réf. 1 CHA\_NAC24009\_NDC\_PRO\_DIM\_001 – Note générale – Phase projet (Juillet 2025).

### 2.2. Normes et règlements applicables

---

**Généralités** L'ensemble des documents applicables est précisé dans la note générale (Réf. 1).

---

#### Études

- Normes européennes et règlements généraux**
- Les normes **Eurocodes 0** : NF EN 1990 (2<sup>ème</sup> tirage 2003/04).
  - Les normes **Eurocodes 1** :
    - Pour la darse et la cale du port à flot : NF EN 1991-1-1 (3<sup>ème</sup> tirage 2009/11), son annexe nationale NF P06-111-2 (1<sup>er</sup> tirage 2004/06) et son amendement à l'annexe nationale NF P06-111-2/A1 (1<sup>er</sup> tirage 2009/03).
  - Les normes **Eurocodes 2** :
    - Pour la darse et la cale du port à flot : NF EN 1992-2 (1<sup>er</sup> tirage) et son annexe nationale NF EN 1992-2/NA (1<sup>er</sup> tirage 2007/04).

- Guides et recommandations** À défaut de normes existantes seront utilisés notamment les guides et recommandations suivantes :
- Recommandations pour le calcul aux états-limites des ouvrages en site aquatique (ROSA 2000).

### 3. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE EXISTANT

**Structure de la darse**

La darse du port à flot est une structure en béton armé composée de :

- un tablier de 25 cm d'épaisseur avec des éléments prédalles BA d'épaisseur 15 cm et d'une chape de compression non armée d'épaisseur 10 cm.
- deux poutres de roulement de l'élévateur.

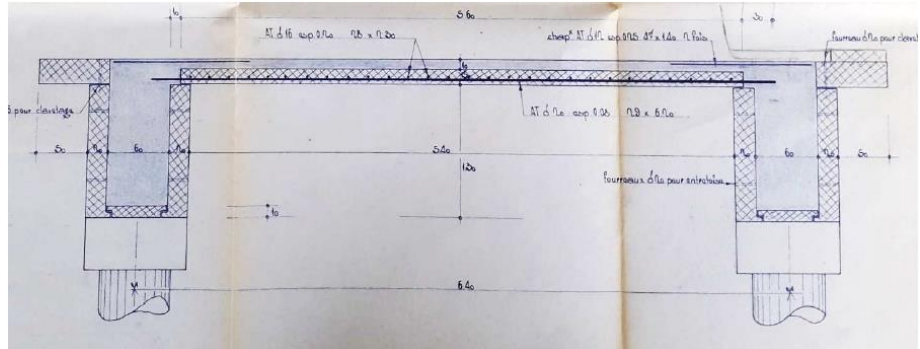


Figure 2 : Plan de coffrage/ferrailage du tablier (source : capitainerie)



Figure 3 : Darse du port à flot

**Désordres du tablier**

Les prédalles présentent des désordres structurels, elles ont plié, sans doute sous l'influence d'une charge trop importante.

Quatre des cinq prédalles ont perdu une partie de leur béton de peau, laissant apparaître les armatures structurales corrodées.

Le tablier nécessite une reconstruction.



Figure 4 : Sous face du tablier



Figure 5 : Sous face du tablier

**Poutres de roulement**

Les poutres présentent des micro-fissurations sur les faces latérales et sous-faces. L'inspection visuelle ne permet pas de conclure à des désordres structurels, mais l'utilisation des joues et dalettes préfabriquées ne permet pas non plus de conclure à l'absence de détérioration.

Les plans montrent un enrobage faible des armatures.

La présence des joues et dalettes ne permet pas de savoir si les armatures sont attaquées par la corrosion.



Figure 6 : Poutres



Figure 7 : Poutres

## 4. HYPOTHÈSES CONSIDÉRÉES

### 4.1. Nivellement et référentiel

#### Références altimétriques

Sauf indication contraire, tous les niveaux et toutes les côtes du projet sont donnés par rapport au zéro hydrographique des cartes marines (m CM), qui correspond au niveau des plus basses mers.

D'après le SHOM 2022, le zéro hydrographique du port de Pornichet se situe à **-2.927 m** sous le zéro de nivellement général de la France (NGF).

#### Références planimétriques

Pour ce projet, il sera utilisé un repérage de type **Lambert CC zone 47**.

### 4.2. Durée d'utilisation de projet

#### Durée d'utilisation de projet

Il est retenu une durée d'utilisation de la darse de 50 ans.

### 4.3. Catégorie d'importance sismique

#### Prise en compte du risque sismique

Suivant l'arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal », il est proposé de retenir les catégories suivantes par ouvrage :

- > Darse : **Catégorie II**.

### 4.4. Actions et sollicitations

#### 4.4.1. Actions permanentes

#### Poids propre (PP)

Les poids propre des différents éléments mis en œuvre sont les suivants :

- > Béton armé : 2.5 T/m<sup>3</sup>.
- > Acier : 7.85 T/m<sup>3</sup>.

#### 4.4.2. Actions variables

**Charges d'exploitation** Pour le dimensionnement des prédalles de la darse, il sera considéré un véhicule de catégorie G défini par la norme NF EN 1991-1-1 (30 kN < PTAC < 160 kN). Le tableau 6.8 (NF) de l'annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-1 définit les charges appliquées :

- Surcharge répartie : EXPr = 5 kPa.
- Essieu unique : EXPv

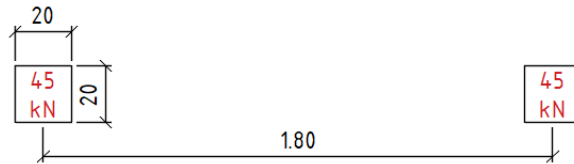


Figure 8 : Prédalles de la darse – Essieu unique (EXPv)

Ces valeurs de charges d'exploitation couvrent les effets dynamiques lorsque la vitesse est inférieure à 10 km/h.

**Il s'agit de charges dites caractéristiques au sens des Eurocodes.**

### 4.5. Combinaisons d'actions

#### Réparation de la darse

Les combinaisons étudiées seront les suivantes :

- ELS caractéristique :  $\Sigma G + Q_{k,1} + \psi_{0,i} Q_{k,i}$ .
- ELS fréquente :  $\Sigma G + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \psi_{2,i} Q_{k,i}$ .
- ELS quasi-permanente :  $\Sigma G + \psi_{2,1} Q_{k,1} + \psi_{2,i} Q_{k,i}$ .
- ELU fondamental :  $\Sigma \gamma_g G + \gamma_{Q1} Q_{k,1} + \psi_{0,i} \gamma_{Qi} Q_{k,i}$ .

Avec les coefficients partiels et d'accompagnement suivants :

Action	$\gamma_d$	$\psi_{0i}$	$\psi_{1i}$	$\psi_{2i}$
PP	1.35	-	-	-
EXPr	1.5	0.7	0.5	0.3
EXPv	1.5	0.7	0.5	0.3

Tableau 1 : Coefficients partiels et d'accompagnement

Les coefficients partiels et d'accompagnement des charges sont issus du tableau A1.1 de la norme NF EN 1990.

## 4.6. Matériaux

### 4.6.1. Béton

#### Classes d'exposition

Le tableau ci-dessous présente les classes d'exposition retenues :

	Corrosion par carbonatation (XC)	Corrosion par chlorures marins (XS)
Superstructure de la darse	XC4	XS3

Tableau 2 : Bétons – Classes d'exposition

#### Classes de résistance

Conformément à la norme NF EN 206+A2, les classes de résistance suivantes seront retenues :

- Éléments coulés en place : C35/45.
- Éléments préfabriqués : C40/50.

### 4.6.2. Armatures pour béton armé

#### Exigences générales

Les armatures de béton armé utilisées pour la construction de l'ouvrage doivent respecter les exigences générales définies dans la norme NF EN 13670/CN.

Les armatures utilisées pour le béton armé seront de type HA B500B.

La limite élastique caractéristique correspondante est  $f_{yk} = 500$  MPa pour un module d'élasticité  $E = 200\,000$  MPa.

#### Limitation des contraintes dans les armatures en conditions de service

L'Eurocode 2-1 indique que l'on peut considérer, vis-à-vis de l'aspect, une fissuration ou une déformation inacceptable est évité si, sous ELS caractéristique, la contrainte de traction dans les armatures n'excède pas  $k_3 f_{yk}$ , avec  $k_3 = 0.8$ , soit 400 MPa.

Pour des structures portuaires, une limitation à 400 MPa sous sollicitations caractéristiques semblent très faible à comparer avec la limitation à 200 MPa avec le BAEL (sollicitations rares).

Par conséquent, il sera donc vérifié une contrainte de traction dans les armatures inférieure à 200 MPa pour tous les ELS (soit  $k_3 = 0.4$ ).

## 4.6.3. Enrobage

**Enrobage**

Les valeurs d'enrobage seront déterminées sur la base des spécifications de l'Eurocode 2.

<b>ENROBAGE</b>			
<i>§4.4.1 de la norme NF EN 1992-1-1</i>			
Classe d'exposition	XS3		
Classe structurale retenue	S4		
$c_{min,b}$	25	[mm]	Enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence
$c_{min,dur}$	45	[mm]	Enrobage minimal vis-à-vis des conditions d'environnement
$c_{min}$	45	[mm]	Enrobage minimal
PAQ ?	Oui		
$\Delta c_{dev}$	5	[mm]	Majoration pour tolérances des écarts d'exécution
$c_{nom}$	<b>50</b>	[mm]	<b>Enrobage nominal</b>

Tableau 3 : Détermination de l'enrobage

**Il sera donc retenu un enrobage de 50 mm.**

## 5. DIMENSIONNEMENT

### 5.1. Principe de calcul

#### Géométrie

Il est considéré la géométrie suivante :

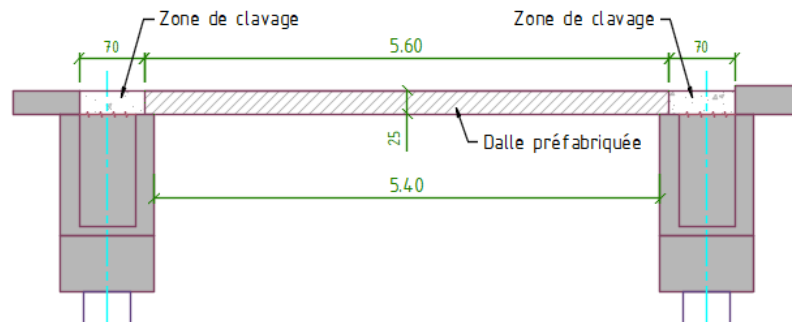


Figure 9 : Géométrie considérée

#### Sollicitations

Deux phases sont considérées pour le dimensionnement de la dalle :

- Phase provisoire : Les dalles sont sollicitées de manière isostatique sous leur poids propre. Elles sont considérées appuyées sur deux (2) côtés (poutres existantes) et libres sur les deux (2) autres côtés. La section a une hauteur de 25 cm.
- Phase définitive : Les dalles sont sollicitées de manière hyperstatique sous l'action des charges d'exploitation. Elles sont considérées encastrées sur deux (2) côtés (clavage au droit des poutres existantes) et libres sur les deux (2) autres côtés. La section a une hauteur de 25 cm.

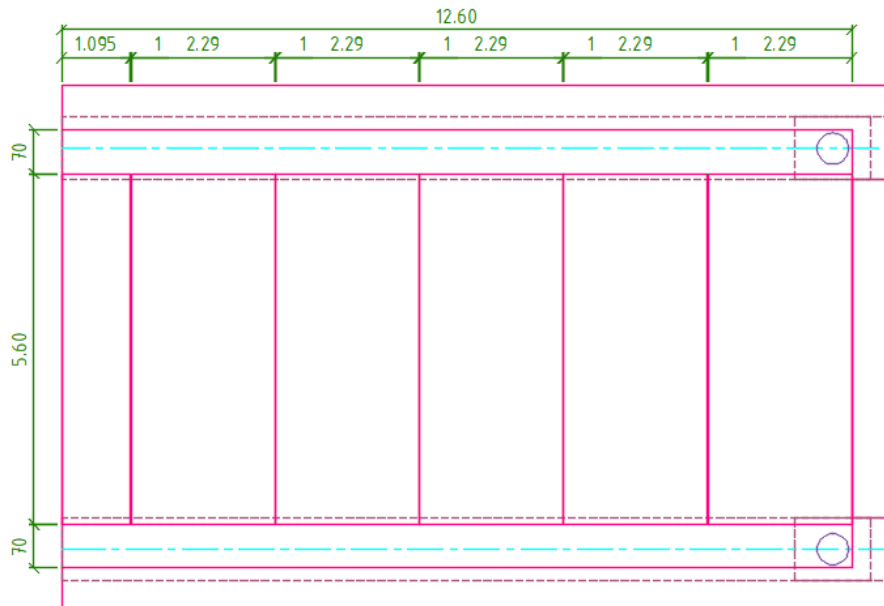


Figure 10 : Prédalles - Vue en plan

Une modélisation est réalisée avec le logiciel ROBOT RSA développé par AUTODESK pour déterminer les efforts dans les dalles.

## 5.2. Phase provisoire

### 5.2.1. Détermination des efforts de dimensionnement

#### Charges appliquées

➤ Poids propre de la dalle :  $0.25 \times 25 = 6.25$  kPa.

#### Combinaisons d'actions

À l'ELU, le poids propre de la dalle est pondéré par 1.35.

#### Efforts de dimensionnement

Les efforts selon X dimensionnent les armatures parallèles à la longueur de la dalle (5.60 m) ; les sollicitations selon Y dimensionnent les armatures parallèles à la largeur de la dalle (2.30 m).

Les cartographies suivantes présentent les efforts à l'ELS (sans pondération).

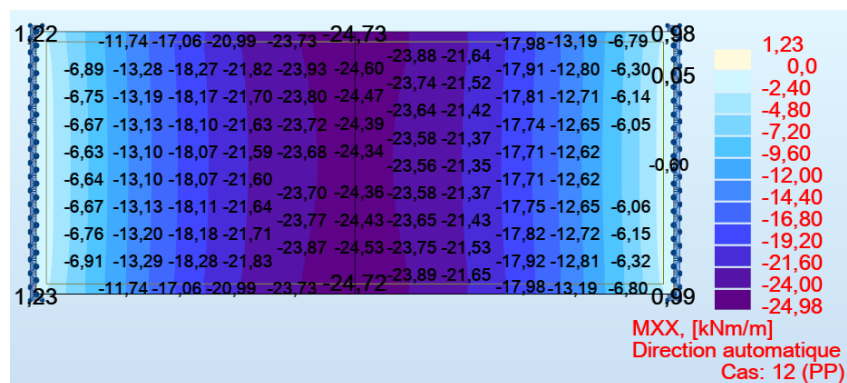


Figure 11 : Phase provisoire - ELS - MXX

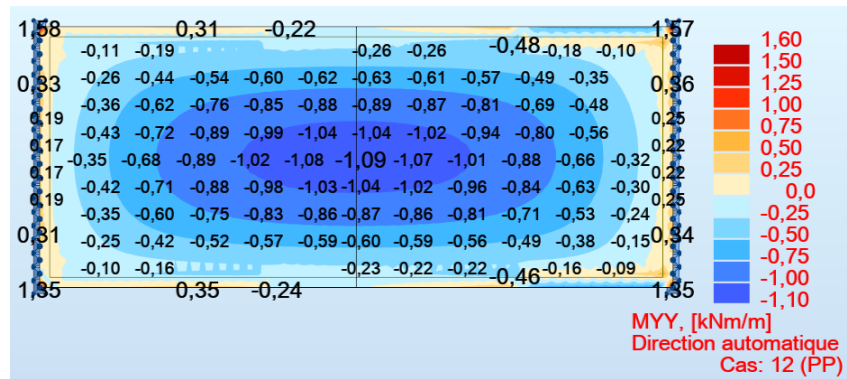


Figure 12 : Phase provisoire - ELS - MY

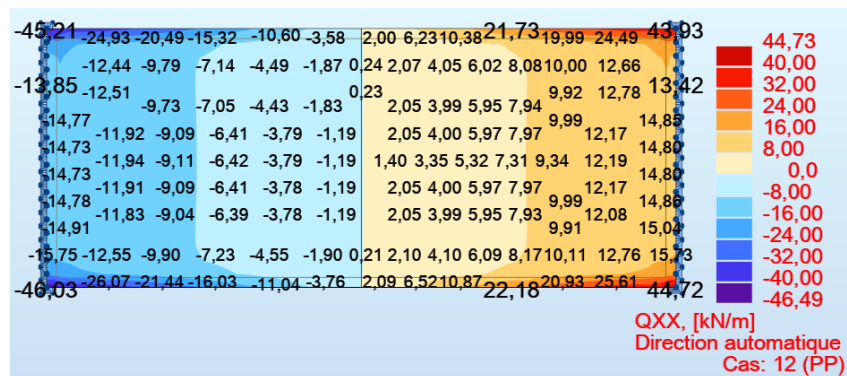


Figure 13 : Phase provisoire - ELU - QXX

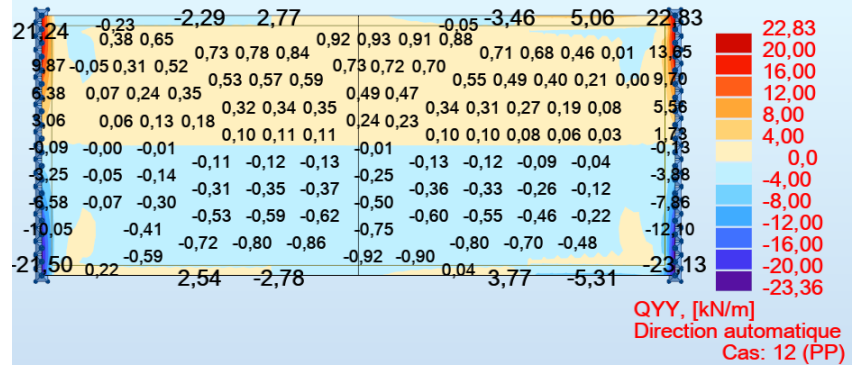


Figure 14 : Phase provisoire - ELU - QYY


Les efforts retenus sont donc les suivants :

Phase provisoire	Travée	ELS quasi-permanent / fréquent		ELS caractéristique		ELU fondamentale		
		$M_{ELS\ QP-XX}$ [kNm/ml]	$M_{ELS\ QP-YY}$ [kNm/ml]	$M_{ELS\ C-XX}$ [kNm/ml]	$M_{ELS\ C-YY}$ [kNm/ml]	$V_{Ed}$ [kN/ml]	$M_{Ed-XX}$ [kNm/ml]	$M_{Ed-YY}$ [kNm/ml]
		25	1	25	1	63	34	1

Tableau 4 : Phase provisoire - Efforts de dimensionnement

5.2.2. Calcul des sections d'acier

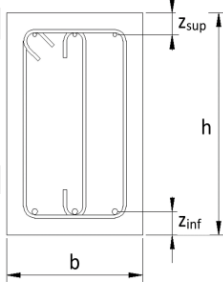
**Armatures de flexion  
- Longitudinales XX -  
Inférieures**



**FLEXION COMPOSEE EN 1992**

---

**DONNEES DE BASE**

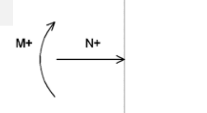
<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$	
b :	100 cm	
h :	25 cm	
$z_{sup}$ :	6,0 cm	
$z_{inf}$ :	6,0 cm	

<b>Matériaux</b>			
$f_{ck}$ :	40 MPa	$E_{cm}$ :	35 220 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa	$E_s$ :	200 000 MPa
n :	15	<i>Coefficient d'équivalence</i>	

<b>Sollicitations (ELU)</b>	<b>Sollicitations (ELS)</b>		
M :	33,72 kN.m	M :	24,98 kN.m
N :	0,00 kN	N :	0,00 kN



---

**DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER**

Dispositions constructives à l'Eurocode

<u>Section minimale :</u>	<u>Section maximale :</u>		
$A_{s,min}$ :	3,47 cm <sup>2</sup> EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)	$A_{s,max}$ :	100,00 cm <sup>2</sup> 4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))

---

Résultats à l'ELU

Par le calcul, on trouve :

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	4,16 cm <sup>2</sup>

---

Résultats à l'ELS      Inertie fissurée :  $I_{II} = 0,00053 \text{ m}^4$        $I_{II}/I = 41 \%$

<u>Choix :</u>	
$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	20,01 cm <sup>2</sup>

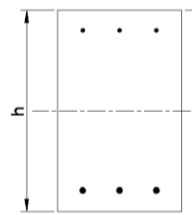
**Conclusion (ELS) en section fissurée :**

$\sigma_{s,sup}$  : Sans objet MPa

$\sigma_{s,inf}$  : -76,5 MPa

$\sigma_c$  : 3,79 MPa

x : 8,09 cm      *ht de béton comprimé*



Section réelle

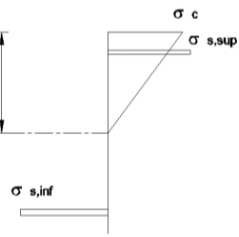


Diagramme de répartition des contraintes

La compression est comptée positivement  
 La traction est comptée négativement

Tableau 5 : Phase provisoire - Armatures longitudinales en travée - XX

**Armatures de flexion  
- Transversales YY -  
Inférieures**


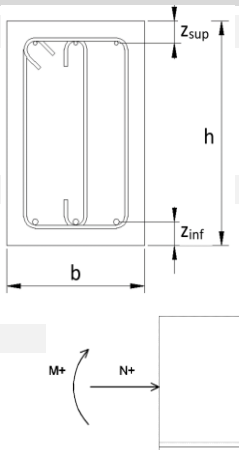
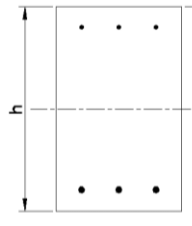
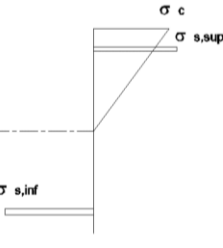
 FLEXION COMPOSEE EN 1992	
<b>DONNEES DE BASE</b>	
<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$
b :	100 cm
h :	25 cm
$z_{sup}$ :	6,0 cm
$z_{inf}$ :	6,0 cm
<b>Matériaux</b>	
$f_{ck}$ :	40 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa
$E_{cm}$ :	35 220 MPa
$E_s$ :	200 000 MPa
n :	15 <i>Coefficient d'équivalence</i>
<b>Sollicitations (ELU)</b>	<b>Sollicitations (ELS)</b>
M :	1,49 kN.m
N :	0,00 kN
M :	1,10 kN.m
N :	0,00 kN
	
<b>DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER</b>	
Dispositions constructives à l'Eurocode	
<b>Section minimale :</b>	<b>Section maximale :</b>
$A_{s,min}$ :	$A_{s,max}$ :
3,47 cm <sup>2</sup> EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)	100,00 cm <sup>2</sup> 4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))
<b>Résultats à l'ELU</b>	
<u>Par le calcul, on trouve :</u>	
$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	0,18 cm <sup>2</sup> <b>ATTENTION ! &lt; % mini</b>
<b>Résultats à l'ELS</b> Inertie fissurée : $I_{II} = 0,00015 \text{ m}^4$ $I_{II}/I = 11,8 \%$	
<b>Choix :</b>	
$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	3,93 cm <sup>2</sup>
<b>Conclusion (ELS) en section fissurée :</b> $\sigma_{s,sup}$ : Sans objet MPa $\sigma_{s,inf}$ : -15,7 MPa $\sigma_c$ : 0,30 MPa x : 4,21 cm <i>ht de béton comprimé</i>	
<p><i>La compression est comptée positivement</i>  <i>La traction est comptée négativement</i></p>	
 <p>Section réelle</p>	 <p>Diagramme de répartition des contraintes</p>

Tableau 6 : Phase provisoire - Armatures transversales en travée - YY

**Armatures mises en place**

Les armatures suivantes seront donc mises en place :

- Armatures en travée :
  - Sens XX : HA14, e = 20 cm + HA16, e = 20 cm.  
(= 17.75 cm<sup>2</sup>/ml > 4.16 cm<sup>2</sup>/ml    ⇒    OK).
  - Sens YY : HA10, e = 20 cm.  
(= 3.93 cm<sup>2</sup>/ml > 3.47 cm<sup>2</sup>/ml    ⇒    OK).

## 5.3. Phase définitive

### 5.3.1. Détermination des efforts de dimensionnement

#### Charges appliquées

- Charge d'exploitation :
  - Charge répartie : 5 kPa.
  - Essieu unique : Cette charge définie précédemment est appliquée comme une charge roulante dont l'axe de circulation est au centre de la prédalle afin d'obtenir les efforts maximaux dans la prédalle.

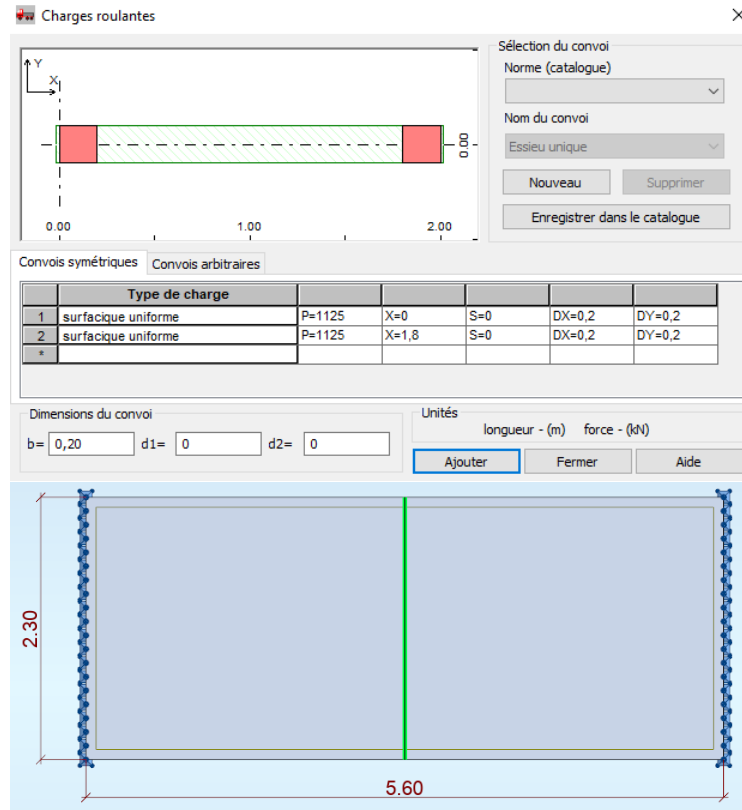


Figure 15 : Charge roulante

#### Combinaisons d'actions

Conformément au Tableau 1, les pondérations suivantes sont appliquées pour les charges d'exploitation :

- ELS quasi-permanent : 0.3.
- ELS fréquent : 0.5.
- ELS caractéristique : 1.0.
- ELU fondamentale : 1.5.

#### Efforts de dimensionnement

Les efforts selon X dimensionnent les armatures parallèles à la longueur de la dalle (5.60 m) ; les sollicitations selon Y dimensionnent les armatures parallèles à la largeur de la dalle (2.30 m).

Les cartographies suivantes présentent les efforts à l'ELS pour chaque charge d'exploitation (sans pondération).

Charge répartie

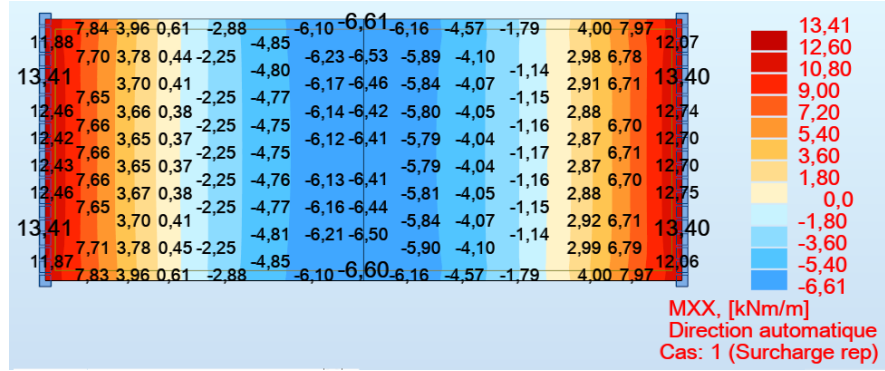


Figure 16 : Phase définitive - ELS - MXX - Surcharge répartie

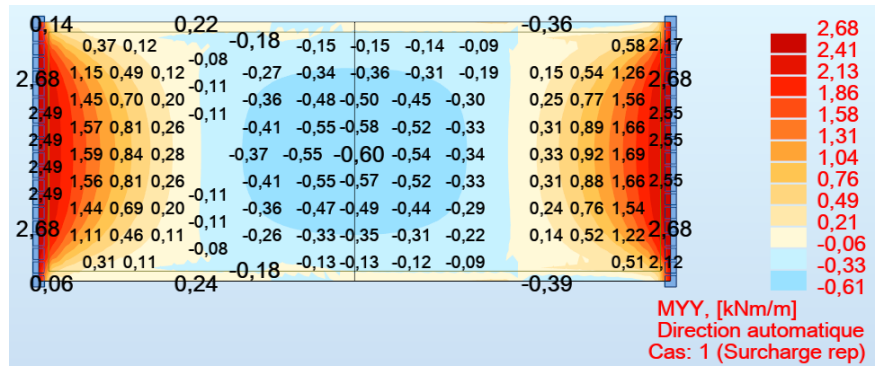


Figure 17 : Phase définitive - ELS - MYY - Surcharge répartie

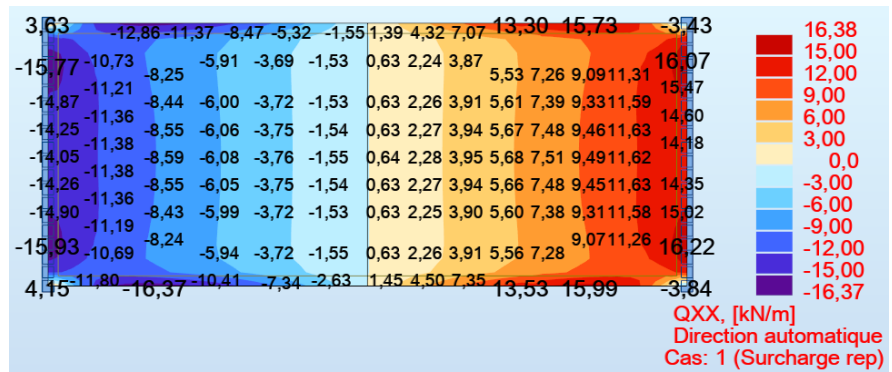


Figure 18 : Phase définitive - ELU - QXX - Surcharge répartie

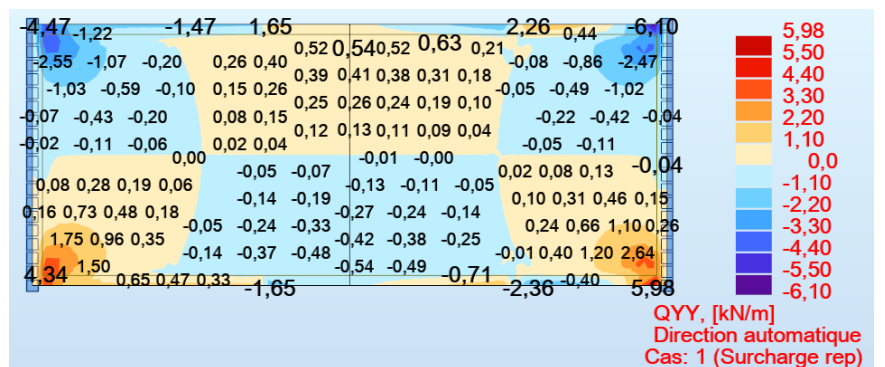


Figure 19 : Phase définitive - ELU - QYY - Surcharge répartie

Charge roulante

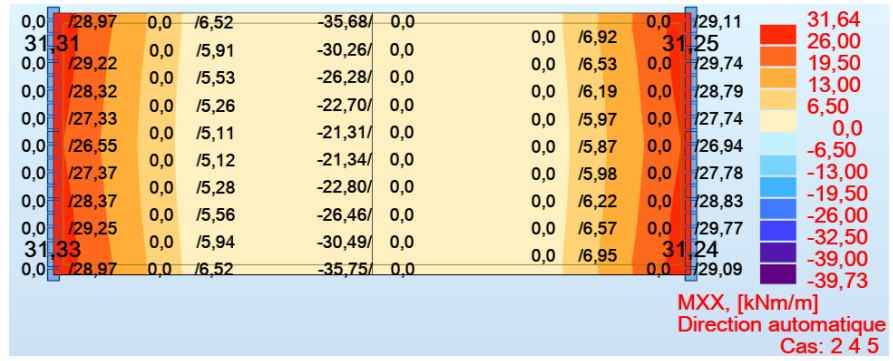


Figure 20 : Phase définitive - ELS - MXX - Charge roulante

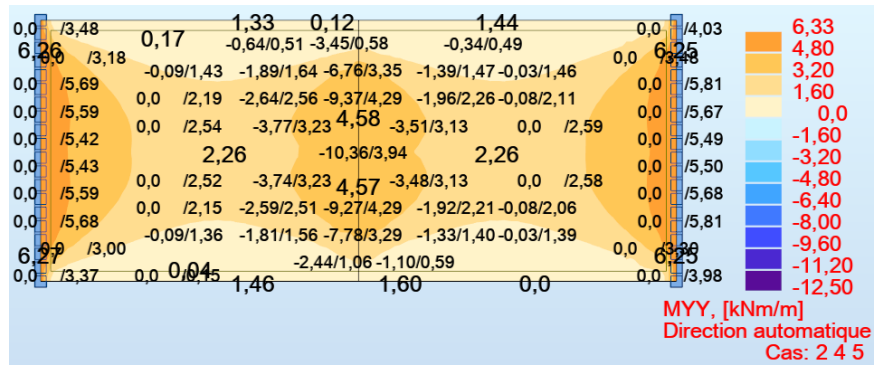


Figure 21 : Phase définitive - ELS - MYY - Charge roulante

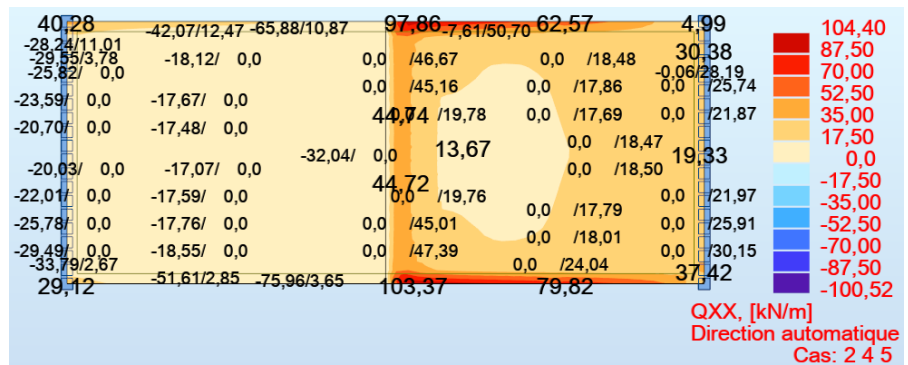


Figure 22 : Phase définitive - ELU - QXX - Charge roulante

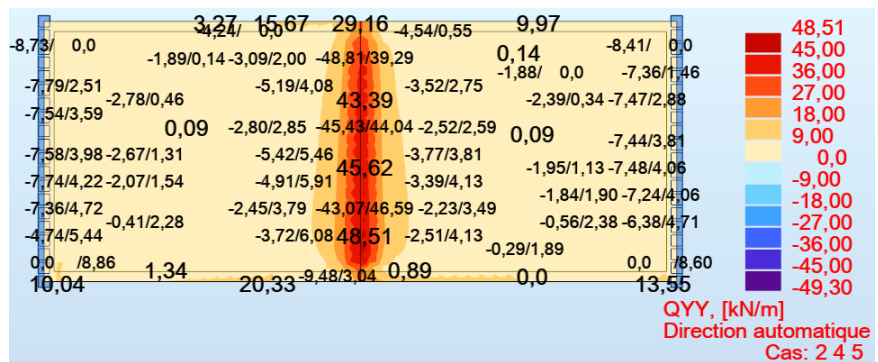


Figure 23 : Phase définitive - ELU - QYY - Charge roulante

Les efforts retenus sont donc les suivants (enveloppe des deux cas de charge) :

	ELS quasi-permanent / fréquent		ELS caractéristique		ELU fondamentale			
	M <sub>ELS QP-XX</sub> [kNm/ml]	M <sub>ELS QP-YY</sub> [kNm/ml]	M <sub>ELS C-XX</sub> [kNm/ml]	M <sub>ELS C-YY</sub> [kNm/ml]	V <sub>Ed</sub> [kN/ml]	M <sub>Ed-xx</sub> [kNm/ml]	M <sub>Ed-yy</sub> [kNm/ml]	
Phase définitive	Travée	20	6	40	13	157	60	19
	Appui	16	3	32	6		47	9

Tableau 7 : Phase définitive - Efforts de dimensionnement

5.3.2. Calcul des sections d'acier

**Armatures de flexion  
- Longitudinales XX -  
Inférieures**



**FLEXION COMPOSEE EN 1992**

DONNEES DE BASE	
<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$
b :	100 cm
h :	25 cm
$z_{sup}$ :	6,0 cm
$z_{inf}$ :	6,0 cm
<b>Matériaux</b>	
$f_{ck}$ :	40 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa
$n$ :	15 Coefficient d'équivalence
$E_{cm}$ :	35 220 MPa
$E_s$ :	200 000 MPa
<b>Sollicitations (ELU)</b>	<b>Sollicitations (ELS)</b>
M :	59,60 kN.m
N :	0,00 kN
	M : 39,73 kN.m
	N : 0,00 kN
<b>DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER</b>	
Dispositions constructives à l'Eurocode	
<u>Section minimale :</u>	<u>Section maximale :</u>
$A_{s,min}$ :	3,47 cm <sup>2</sup> EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)
	$A_{s,max}$ :
	100,00 cm <sup>2</sup> 4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))
Résultats à l'ELU	
<u>Par le calcul, on trouve :</u>	
$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	7,45 cm <sup>2</sup>
<b>Résultats à l'ELS</b>	Inertie fissurée : $I_{II} = 0,00053 \text{ m}^4$ $I_{II}/I = 41 \%$
<u>Choix :</u>	
$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	20,01 cm <sup>2</sup>
<p style="text-align: center;"><b>Conclusion (ELS) en section fissurée :</b></p> <p><math>\sigma_{s,sup}</math> : Sans objet MPa</p> <p><math>\sigma_{s,inf}</math> : -121,8 MPa</p> <p><math>\sigma_c</math> : 6,02 MPa</p> <p>x : 8,09 cm <i>ht de béton comprimé</i></p>	
<p><i>La compression est comptée positivement</i></p> <p><i>La traction est comptée négativement</i></p>	
 Section réelle	 Diagramme de répartition des contraintes

Tableau 8 : Phase définitive – Armatures longitudinales en travée – XX

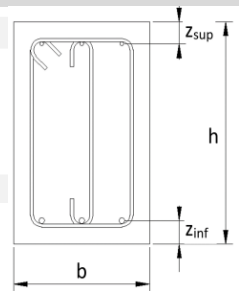
**Armatures de flexion  
- Longitudinales XX -  
Supérieures**



**FLEXION COMPOSEE EN 1992**

**DONNEES DE BASE**

<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$
b :	100 cm
h :	25 cm
$z_{sup}$ :	6,0 cm
$z_{inf}$ :	6,0 cm



**Matériaux**

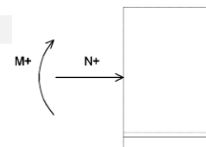
$f_{ck}$ :	40 MPa	$E_{cm}$ :	35 220 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa	$E_s$ :	200 000 MPa
n :	15	Coefficient d'équivalence	

**Sollicitations (ELU)**

M :	47,46 kN.m
N :	0,00 kN

**Sollicitations (ELS)**

M :	31,64 kN.m
N :	0,00 kN



**DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER**

Dispositions constructives à l'Eurocode

Section minimale :

$A_{s,min}$ :	3,47 cm <sup>2</sup>	EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)
---------------	----------------------	-----------------------

Section maximale :

$A_{s,max}$ :	100,00 cm <sup>2</sup>	4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))
---------------	------------------------	--------------------------

Résultats à l'ELU

Par le calcul, on trouve :

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	5,89 cm <sup>2</sup>

Résultats à l'ELS

Inertie fissurée :  $I_{II} = 0,00033 \text{ m}^4$       $I_{II}/I = 25,1 \%$

Choix :

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	10,05 cm <sup>2</sup>

**Conclusion (ELS) en section fissurée :**

$\sigma_{s,sup}$ :	Sans objet MPa
$\sigma_{s,inf}$ :	-185,9 MPa
$\sigma_c$ :	6,02 MPa
x :	6,21 cm <i>ht de béton comprimé</i>

La compression est comptée positivement  
La traction est comptée négativement

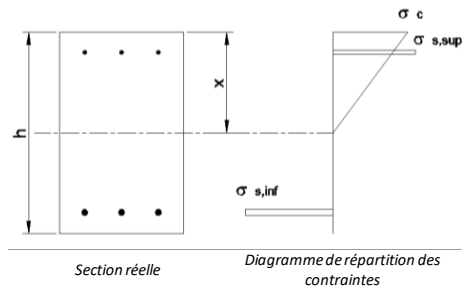


Tableau 9 : Phase définitive – Armatures longitudinales sur appui – XX

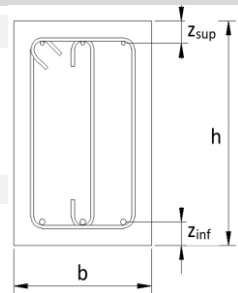
**Armatures de flexion  
- Transversales YY -  
Inférieures**



**FLEXION COMPOSEE EN 1992**

**DONNEES DE BASE**

<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$
b :	100 cm
h :	25 cm
$z_{sup}$ :	6,0 cm
$z_{inf}$ :	6,0 cm



**Matériaux**

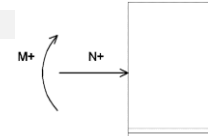
$f_{ck}$ :	40 MPa	$E_{cm}$ :	35 220 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa	$E_s$ :	200 000 MPa
n :	15	Coefficient d'équivalence	

**Sollicitations (ELU)**

M :	16,88 kN.m
N :	0,00 kN

**Sollicitations (ELS)**

M :	12,50 kN.m
N :	0,00 kN



**DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER**

**Dispositions constructives à l'Eurocode**

**Section minimale :**

$A_{s,min}$ :	3,47 cm <sup>2</sup>	EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)
---------------	----------------------	-----------------------

**Section maximale :**

$A_{s,max}$ :	100,00 cm <sup>2</sup>	4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))
---------------	------------------------	--------------------------

**Résultats à l'ELU**

**Par le calcul, on trouve :**

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	2,06 cm <sup>2</sup>

**ATTENTION ! < % mini**

**Résultats à l'ELS**

Inertie fissurée :  $I_{II} = 0,00015 \text{ m}^4$      $I_{II}/I = 11,8 \%$

**Choix :**

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	3,93 cm <sup>2</sup>

**Conclusion (ELS) en section fissurée :**

$\sigma_{s,sup}$ :	Sans objet MPa
$\sigma_{s,inf}$ :	-180,5 MPa
$\sigma_c$ :	3,40 MPa
x :	4,18 cm    ht de béton comprimé

La compression est comptée positivement  
La traction est comptée négativement

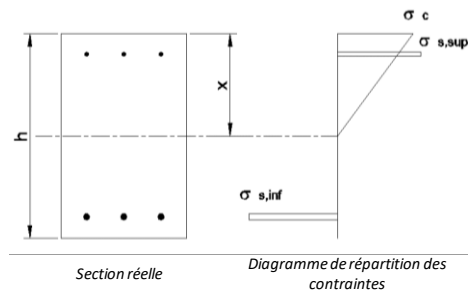


Tableau 10 : Phase définitive - Armatures transversales en travée - YY

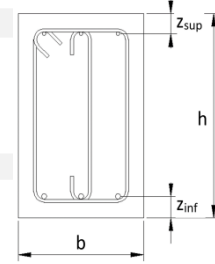
**Armatures de flexion  
- Transversales YY -  
Supérieures**



**FLEXION COMPOSEE EN 1992**

**DONNEES DE BASE**

<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$
b :	100 cm
h :	25 cm
$z_{sup}$ :	6,0 cm
$z_{inf}$ :	6,0 cm



**Matériaux**

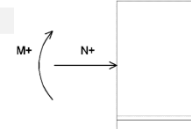
$f_{ck}$ :	40 MPa	$E_{cm}$ :	35 220 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa	$E_s$ :	200 000 MPa
n :	15	Coefficient d'équivalence	

**Sollicitations (ELU)**

M :	9,50 kN.m
N :	0,00 kN

**Sollicitations (ELS)**

M :	6,33 kN.m
N :	0,00 kN



**DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER**

**Dispositions constructives à l'Eurocode**

Section minimale :

$A_{s,min}$ :	3,47 cm <sup>2</sup>	EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)
---------------	----------------------	-----------------------

Section maximale :

$A_{s,max}$ :	100,00 cm <sup>2</sup>	4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))
---------------	------------------------	--------------------------

**Résultats à l'ELU**

Par le calcul, on trouve :

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	1,16 cm <sup>2</sup> <b>ATTENTION ! &lt; % mini</b>

**Résultats à l'ELS**

Inertie fissurée :  $I_{II} = 0,00027 \text{ m}^4$   $I_{II}/I = 20,4 \%$

Choix :

$A_{s,sup}$ :	0,00 cm <sup>2</sup>
$A_{s,inf}$ :	7,70 cm <sup>2</sup>

**Conclusion (ELS) en section fissurée :**

$\sigma_{s,sup}$ :	Sans objet MPa
$\sigma_{s,inf}$ :	-47,9 MPa
$\sigma_c$ :	1,33 MPa
x :	5,58 cm <i>ht de béton comprimé</i>

La compression est comptée positivement  
La traction est comptée négativement

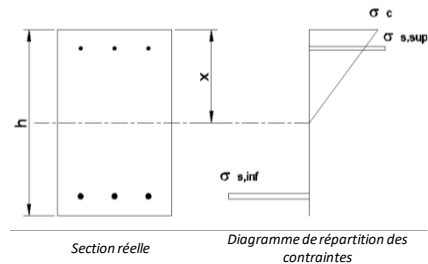



Tableau 11 : Phase définitive - Armatures transversales sur appui - YY

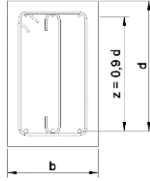
**Armatures d'effort tranchant**



**TRANCHANT EN 1992**

**HYPOTHESES**

- Les cadres sont disposés verticalement
- On ne tient pas compte de la précontrainte
- Angle de bielle limité pour éviter le calcul à la fatigue
  - ↳  $\theta \in [34^\circ; 45^\circ]$  cf EC2-2-AN §6.8.1 (102)
  - ↳  $\theta \in [22^\circ; 45^\circ]$  cf EC2-1 §6.2.3 (2)



Données de base	Données complémentaires
fck : 40 MPa	Asl : 0,00 cm <sup>2</sup>
fcđ : 26,7 MPa	↳ (Aciers longi tendus dans la section étudiée)
fywk : 500 MPa	V Ed : 156,60 kN
fywd : 435 MPa	N Ed : 0,00 kN
b : 100 cm	ELU
h : 25 cm	↳ (Action extérieure hors précontrainte)
z <sub>inf</sub> : 6,0 cm	
d : 19 cm	

Type de structure :

**VERIFICATION & DIMENSIONNEMENT**

**Effort de compression dans les bielles (courantes)**

V Ed,max : 1 276,8 kN EC2-1 §6.2.2 (6.5)

**Pas de problème d'équarissage (béton seul)**

**Capacité du béton seul à reprendre l'effort tranchant**

V Rd,c : 120,1 kN EC2-1 §6.2.2 (6.2a) et (6.2b)

**Mise en place d'armatures d'effort tranchant**

**Section minimale d'armature**

Asw/sl : 10,12 cm<sup>2</sup>/m EC2-1 §9.2.2 (9.4) et (9.5N)

**Compression dans les bielles courantes**

$\theta$  : 45° Inclinaison des bielles entre 34° et 45° → EC2-2-NA §6.8.1 (102) Note k

z : 17,10 cm EC2-1 §6.2.3 (1)

V Rd,max : 1 149,1 kN EC2-1 §6.2.3 (6.9)

**Pas de problème d'équarissage**

**CONCLUSION : ARMATURES NECESSAIRES**

A sw/sl :	<b>21,06 cm<sup>2</sup>/m</b>	EC2-1 §6.2.2 (6.8)
sl,max :	<b>14,3 cm</b>	EC2-1 §9.2.2 (9.6N)
st,max :	<b>14,3 cm</b>	EC2-1 §9.2.2 (9.8N)

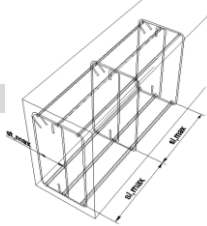


Tableau 12 : Phase définitive – Armatures d'effort tranchant

**Armatures mises en place**

Les armatures suivantes seront donc mises en place :

- Armatures longitudinales inférieures :
  - Sens XX : HA16, e = 10 cm.  
(= 20.01 cm<sup>2</sup>/ml > 7.45 cm<sup>2</sup>/ml ⇒ OK).
  - Sens YY : HA10, e = 20 cm.  
(= 3.93 cm<sup>2</sup>/ml > 3.47 cm<sup>2</sup>/ml ⇒ OK).
- Armatures longitudinales supérieures :
  - Sens XX : HA16, e = 20 cm.  
(= 10.01 cm<sup>2</sup>/ml > 7.89 cm<sup>2</sup>/ml ⇒ OK).
  - Sens YY : HA14, e = 20 cm.  
(= 7.70 cm<sup>2</sup>/ml > 3.47 cm<sup>2</sup>/ml ⇒ OK).
- Armatures d'effort tranchant : Brins HA12, e = 20 cm x 25 cm.  
(= 22.6 cm<sup>2</sup>/ml > 21.06 cm<sup>2</sup>/ml ⇒ OK).

## 5.4. Contraintes dans les armatures de flexion

Les contraintes dans les armatures sont les suivantes :

			ELS quasi permanent / fréquent				
			A <sub>théorique</sub> [cm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	σ <sub>Totale</sub> [MPa]	σ <sub>adm</sub> [MPa]	
XX	Travée	Provisoire	20,0	86	147	200	OK
		Définitive		61			
	Appui	Provisoire	10,1		93	200	
		Définitive		93			
YY	Travée	Provisoire	3,9	16	106	200	OK
		Définitive		90			
	Appui	Provisoire	7,7		24	200	
		Définitive		24			

Tableau 13 : Contraintes dans les armatures de flexion – ELS quasi-permanent / fréquent

			ELS caractéristique				
			A <sub>théorique</sub> [cm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	σ <sub>Totale</sub> [MPa]	σ <sub>adm</sub> [MPa]	
Travée	Provisoire	20,0	77	198	200	OK	
	Définitive		122				
Appui	Provisoire	10,1		186	200	OK	
	Définitive		186				
Travée	Provisoire	3,9	16	196	200	OK	
	Définitive		181				
Appui	Provisoire	7,7		48	200	OK	
	Définitive		48				

Tableau 14 : Contraintes dans les armatures de flexion – ELS caractéristique

## 5.5. Vérification des dalles au levage

### Schéma considéré

Les dalles sont levées en quatre (4) points :

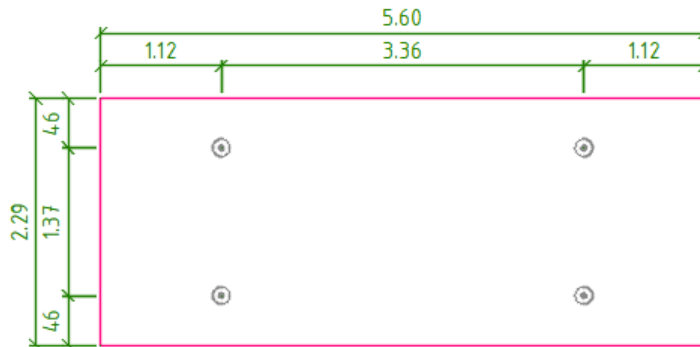


Figure 24 : Positions des points de levage

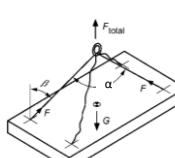
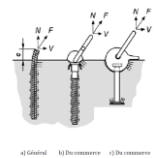
Pour la vérification des sections d'acier, il ne sera considéré que deux (2) points de levage efficaces, en diagonale.

### Choix des ancrés de levage

**CHARIER** ANCRÉS DE LEVAGE - FD CEN/TR 15728

**HYPOTHESES**

N	[-]	4
Palonnier équilibré		Non
N <sub>eff</sub>	[-]	2 Nbre de points de levage efficaces
Type de levage		Levage et transport sur terrain plat
Ψ <sub>dyn</sub>	[-]	2,00
Angle d'élingage	[°]	60
Ψ <sub>e</sub>	[-]	1,16
Type de coffrage		Bois vernis huilé
q <sub>adh</sub>	[kPa]	2,0

**CALCULS**

*Effort à reprendre par point de levage - Cas général*

Repérage	G [kN]	A <sub>r</sub> [m <sup>2</sup> ]	q <sub>adh</sub> [kPa]	Ψ <sub>dyn</sub> [-]	Ψ <sub>e</sub> [-]	N <sub>eff</sub> [u]	E <sub>dyn</sub> [kN]	E <sub>adh</sub> [kN]	F <sub>d</sub> [kN]	Ancrés [T]
Dalle 1	80,5	16,83	2,00	2,00	1,16	2	161,0	114,2	93,4	10 T
Dalle 2	38,5	9,51	2,00	2,00	1,16	2	77,0	57,5	44,7	5 T

Tableau 15 : Boucles de levage

Il sera mis en place :

- Dalle de 2.30 x 5.60 : 4 ancrés de levage de type ARTEON 10 T.
- Dalle de 1.10 x 5.60 : 4 ancrés de levage de type ARTEON 5 T.

### Charges appliquées

Les calculs sont effectués pour la dalle 1 (2.30 m x 5.60 m).

- Poids propre de la dalle : 0.25 x 25 = 6.25 kPa.
- Effort dû au décoffrage : q<sub>adh</sub> = 2 kPa.

### Combinaisons d'actions

Les combinaisons appliquées sont les suivantes :

- ELS : PP + Q<sub>adh</sub>.
- ELU fondamental : 1.35 x (PP + Q<sub>adh</sub>).

### 5.5.1. Détermination des efforts de dimensionnement

#### Efforts de dimensionnement

Les efforts selon X dimensionnent les armatures parallèles à la longueur de la prédalle (5.60 m) ; les sollicitations selon Y dimensionnent les armatures parallèles à la largeur de la prédalle (2.30 m).

Les cartographies suivantes les efforts pour chaque type de combinaison.

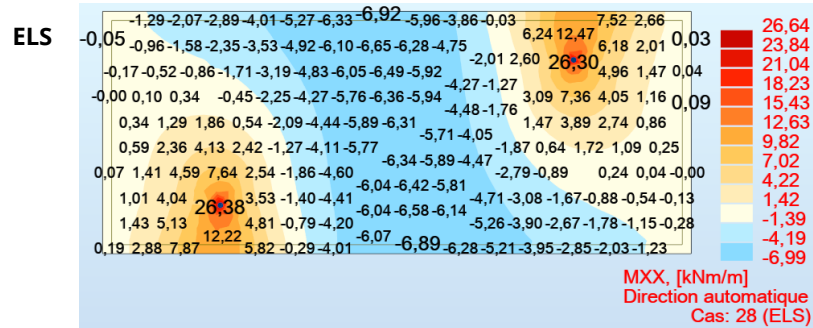


Figure 25 : ELS - MXX

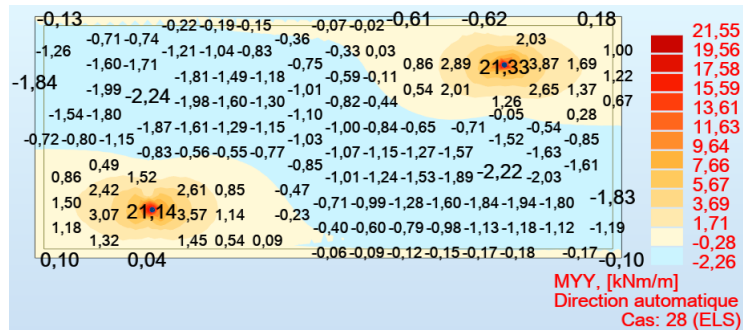


Figure 26 : ELS - MYY

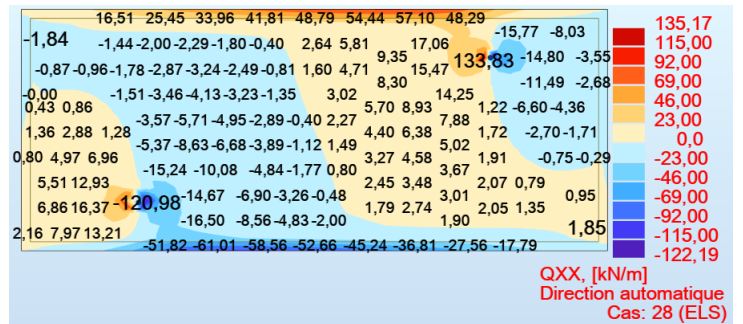


Figure 27 : ELS - QXX

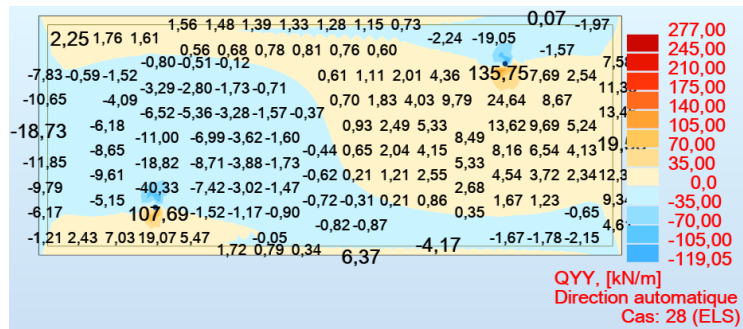


Figure 28 : ELS - QYY

**ELU fondamental** À l'ELU, les efforts ELS sont multipliés par 1.35.

Les efforts retenus sont donc les suivants :

		ELS quasi-permanent / fréquent		ELS caractéristique		ELU fondamentale		
		M <sub>ELS QP-XX</sub> [kNm/ml]	M <sub>ELS QP-YY</sub> [kNm/ml]	M <sub>ELS C-XX</sub> [kNm/ml]	M <sub>ELS C-YY</sub> [kNm/ml]	V <sub>Ed</sub> [kN/ml]	M <sub>Ed-XX</sub> [kNm/ml]	M <sub>Ed-YY</sub> [kNm/ml]
Levage	Travée	7	2	7	2	183	9	3
	Appui	27	22	27	22		36	29

Tableau 16 : Levage – Efforts de dimensionnement

5.5.2. Calcul des sections d'acier

**Armatures de flexion – Longitudinales XX – Supérieures**

**FLEXION COMPOSEE EN 1992**

---

**DONNEES DE BASE**

<b>Géométrie</b>	Inertie brute : $I = 0,0013 \text{ m}^4$
b :	100 cm
h :	25 cm
$z_{sup}$ :	6,0 cm
$z_{inf}$ :	6,0 cm

<b>Matériaux</b>	
$f_{ck}$ :	20 MPa
$f_{yk}$ :	500 MPa
n :	15 <i>Coefficient d'équivalence</i>

$E_{cm}$ :	29 962 MPa
$E_s$ :	200 000 MPa

<b>Sollicitations (ELU)</b>	<b>Sollicitations (ELS)</b>
M :	35,96 kN.m
N :	0,00 kN

M :	26,64 kN.m
N :	0,00 kN

---

**DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION D'ACIER**

Dispositions constructives à l'Eurocode

<u>Section minimale :</u>	<u>Section maximale :</u>
As,min : 2,47 cm <sup>2</sup> <small>EC2-1 §9.2.1.1 (9.1N)</small>	As,max : 100,00 cm <sup>2</sup> <small>4% (EC2-1 §9.2.1.1 (3N))</small>

**Résultats à l'ELU**

Par le calcul, on trouve :

As,sup : 0,00 cm<sup>2</sup>  
As,inf : 4,53 cm<sup>2</sup>

**Résultats à l'ELS** Inertie fissurée :  $I_{II} = 0,00027 \text{ m}^4$   $I_{II}/I = 20,4 \%$

<u>Choix :</u>	
As,sup : 0,00 cm <sup>2</sup>	
As,inf : 7,70 cm <sup>2</sup>	


**Conclusion (ELS) en section fissurée :**

$\sigma_{s,sup}$  : Sans objet MPa  
 $\sigma_{s,inf}$  : -201,7 MPa  
 $\sigma_c$  : 5,58 MPa  
 x : 5,57 cm *ht de béton comprimé*

La compression est comptée positivement  
La traction est comptée négativement

Tableau 17 : Armatures longitudinales – XX – Supérieures

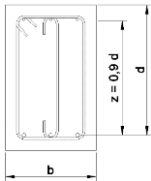
**Armatures d'effort tranchant**



**TRANCHANT** EN 1992

**HYPOTHESES**

- Les cadres sont disposés verticalement
- On ne tient pas compte de la précontrainte
- Angle de bielle limité pour éviter le calcul à la fatigue
  - $\theta \in [34^\circ ; 45^\circ]$  cf EC2-2-AN §6.8.1 (102)
  - $\theta \in [22^\circ ; 45^\circ]$  cf EC2-1 §6.2.3 (2)



Données de base	Données complémentaires
fck : 20 MPa	Asl : 0,00 cm <sup>2</sup>
fc'd : 13,3 MPa	↳ (Aciers longi tendus dans la section étudiée)
fywk : 500 MPa	V Ed : 183,26 kN } ELU
fywd : 435 MPa	
b : 100 cm	↳ (Action extérieure hors précontrainte)
h : 25 cm	
z <sub>inf</sub> : 6,0 cm	
d : 19 cm	

Type de structure :

**VERIFICATION & DIMENSIONNEMENT**

**Effort de compression dans les bielles (courantes)**

V Ed,max : 699,2 kN EC2-1 §6.2.2 (6.5)

**Pas de problème d'équarissage (béton seul)**

**Capacité du béton seul à reprendre l'effort tranchant**

V Rd,c : 84,9 kN EC2-1 §6.2.2 (6.2a) et (6.2b)

**Mise en place d'armatures d'effort tranchant**

**Section minimale d'armature**

Asw/sl : 7,16 cm<sup>2</sup>/m EC2-1 §9.2.2 (9.4) et (9.5N)

**Compression dans les bielles courantes**

$\theta$  : 34° Inclinasion des bielles entre 34° et 45° → EC2-2-NA §6.8.1 (102) Note k)

z : 17,10 cm EC2-1 §6.2.3 (1)

V Rd,max : 583,5 kN EC2-1 §6.2.3 (6.9)

**Pas de problème d'équarissage**

**CONCLUSION : ARMATURES NECESSAIRES**

Asw/sl : 16,63 cm<sup>2</sup>/m EC2-1 §6.2.2 (6.8)

sl,max : 14,3 cm EC2-1 §9.2.2 (9.6N)

st,max : 14,3 cm EC2-1 §9.2.2 (9.8N)

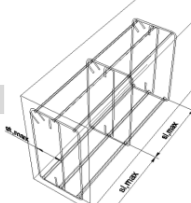


Tableau 18 : Armatures d'effort tranchant

**Armatures mises en place**

Les armatures suivantes seront donc mises en place :

- Armatures longitudinales supérieures : HA14, e = 20 cm.  
(= 7.70 cm<sup>2</sup>/ml > 4.53 cm<sup>2</sup>/ml ⇨ OK).
- Armatures d'effort tranchant : Brins HA12, e = 20 cm x 25 cm.  
(= 22.06 cm<sup>2</sup>/ml > 16.63 cm<sup>2</sup>/ml ⇨ OK).

## 5.6. Synthèse des armatures

**Schéma de principe** Il est retenu le principe de ferrailage suivant :

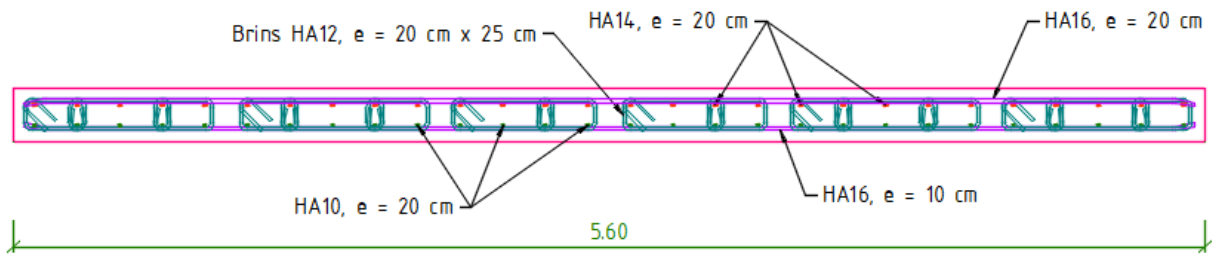


Figure 29 : Principe de ferrailage retenu