

1. Étude d'une nervure continue N11

1.1 Introduction

Nous allons étudier la nervure N11 à 3 travées située dans le bloc C-6, du plancher haut du 1^{er} étage en déterminant les sollicitations et le ferraillage tout en faisant les vérifications nécessaires.

La nervure, par sa forme, se calcule comme étant une poutre fléchit en T. Admettant que la fissuration est peu préjudiciable la nervure sera dimensionnée en flexion simple à l'ELU sous l'action des charges permanentes et celles d'exploitation.

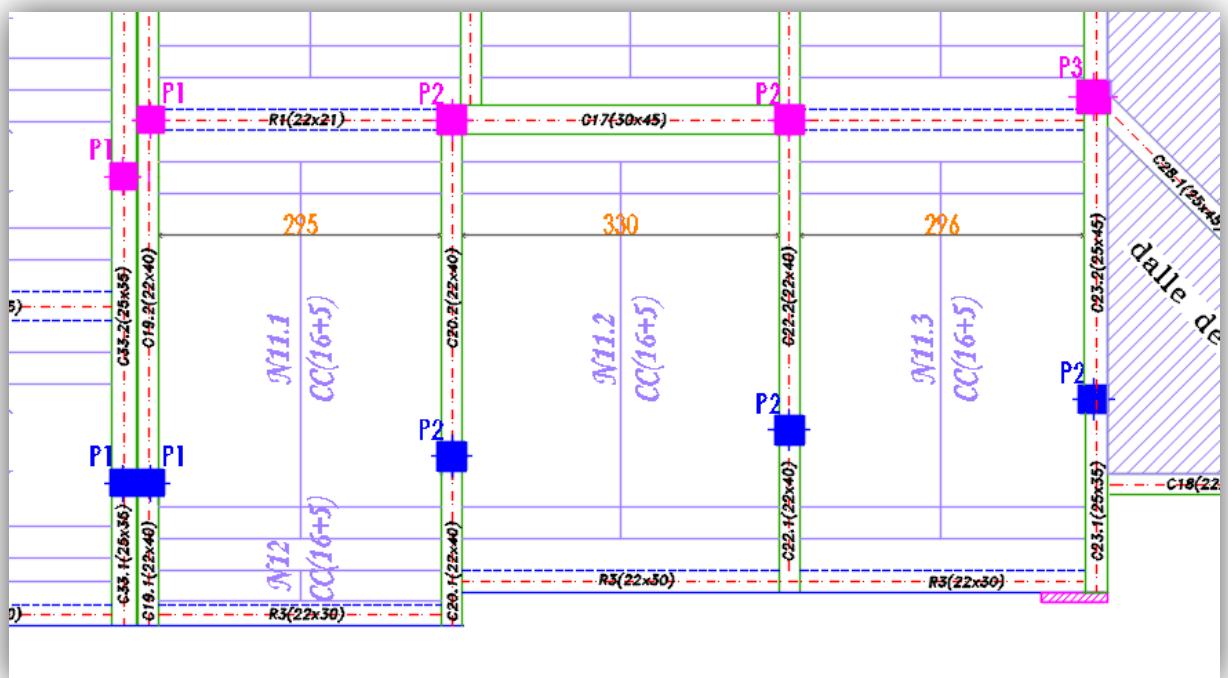


Figure 1 : Emplacement de la nervure dans le plancher

2.1 Evaluation des charges

Pour un plancher courant :

- Charge permanente : G plancher = $6,18 \text{ kN/m}^2$
- Surcharge d'exploitation : Q plancher = $1,5 \text{ kN/m}^2$

La charge supportée donc par une seule nervure du plancher intermédiaire en corps creux (16+5) :

Charges permanentes :

$$G = 6,18 \times 0,33 = 2,04 \text{ kN/m}$$

Surcharges d'exploitation :

$$Q = 1,5 \times 0,33 = 0,5 \text{ kN/m}$$

Combinaison de charge :

$$P_u = 1,35 \times 2,04 + 1,5 \times 0,5 = 3,50 \text{ kN/m}$$

$$P_s = 2,04 + 0,5 = 2,54 \text{ kN/m}$$

Donc la nervure étudiée est modélisée par une poutre continue à 3 travées :

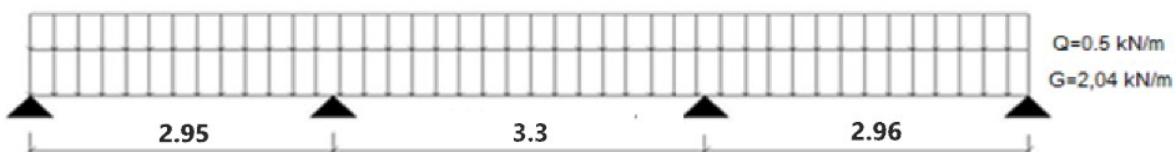


Figure 2 : Schéma de calcul de la nervure

3.1 Choix de la méthode de calcul

$$q = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < 2 \quad g = 2,04 \times 6 = 12,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ et } q = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (Vérifiée)}$$

Inertie des travées constantes dans toute la nervure (Vérifiée)

$$0,8 < \frac{L_i}{L_{i+1}} = \frac{2,95}{3,3} = 0,89 < 1,25 ; 0,8 < \frac{L_i}{L_{i+1}} = \frac{3,3}{2,96} = 1,11 < 1,25 \text{ (Vérifiée)}$$

Fissuration peu préjudiciable (Vérifiée)

→ Les conditions ci-dessus sont toutes vérifiées, on applique la méthode forfaitaire.

4.1 Calcul des sollicitations

Les moments maximaux sur appuis et en travées sont donnés forfaitairement par les formules suivantes :

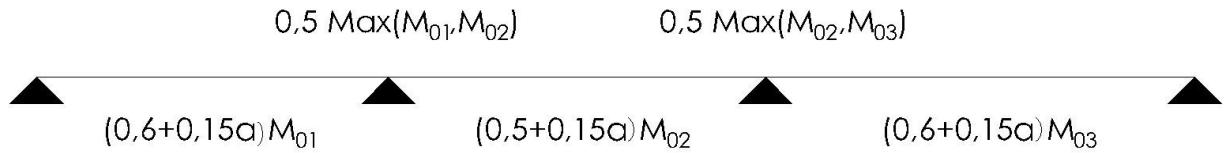


Figure 3 : *Évaluation du moment fléchissant*

a. Moments fléchissant

On récapitule les moments fléchissant à l'ELU et à l'ELS dans les travées et sur appuis dans le tableau ci-dessous :

		Formule	Travée 1	Travée 2	Travée 3
ELU	α	$\frac{q}{g+q}$	0,2	0,2	0,2
	$M_{0i}(kN.m)$	$M_{01} = \frac{Pul^2}{8}$	3,81	4,76	3,83
	$M_{ti}(kN.m)$	$(0,6+0,15 \alpha) M_{0i}$	2,40	3	2,41
ELS	$M_{ai}(kN.m)$	$0,5 \times \max(M_{02} ; M_{01})$ $0,5 \times \max(M_{02} ; M_{03})$	-	2,38	2,38
	$M_{0i}(kN.m)$	$M_{01} = \frac{Pserl^2}{8}$	2,76	3,46	2,78
	$M_{ti}(kN.m)$	$(0,6+0,15 \alpha) M_{01}$	1,74	2,18	1,75
	$M_{ai}(kN.m)$	$0,5 \times \max(M_{02} ; M_{01})$ $0,5 \times \max(M_{02} ; M_{03})$	-	1,73	1,73

Tableau 1: *Récapitulatif moment fléchissant*

– Vérification des moments en travée :

Dans le tableau ci-dessous on va vérifier les moments fléchissant en travées par la condition (FF). Lorsque la condition n'est pas vérifiée on va prendre la valeur maximale entre les deux moments.

$$M_{ti} \geq \text{Max} [1,05 M_{0i}; (1+0,3\alpha) M_{0i}] - \frac{M_{ai} + M_{ai+1}}{2} (FF)$$

		Travée 1	Travée 2	Travée 3
ELU	$M_{ti}(kN.m)$	2,40	3	2.41
	(FF)	2.85	2.67	2.87
	$M_{ti,max}(kN.m)$	2,85	3	2.87
ELS	$M_{ti}(kN.m)$	1,74	2.18	1.75
	(FF)	2.07	1.94	2.09
	$M_{ti,max}(kN.m)$	2,07	2.18	2.09

Tableau 2 : Vérification des moments fléchissant

b. Effort tranchant

Le calcul des efforts tranchant est effectué en faisant abstraction à la continuité sauf sur les appuis voisins de rive où on majore forfaitairement les efforts tranchants de la poutre de référence.

La figure suivante nous montre les coefficients de majoration adoptée :

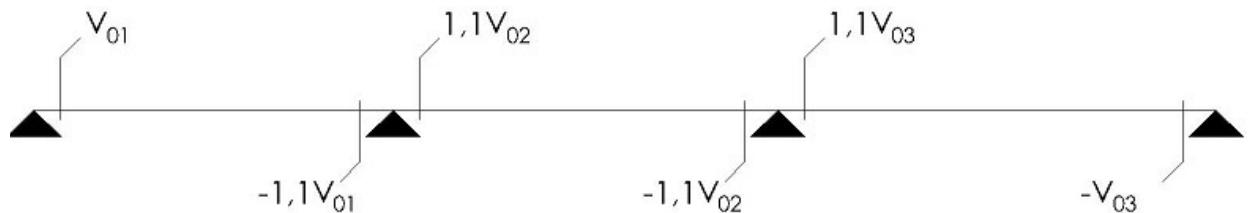


Figure 1 : Théorie de calcul de l'effort tranchant

$$V_{01} = \frac{P_u L_1}{2} = \frac{3,50 \times 2,95}{2} = 5,16 \text{ kN}$$

$$V_{02} = \frac{P_u L_2}{2} = \frac{3,50 \times 3,3}{2} = 5,76 \text{ kN}$$

$$V_{03} = \frac{P_u L_3}{2} = \frac{3,50 \times 3,78}{2} = 6,18 \text{ kN}$$

$$1,1V_{01} = 5,68 \text{ kN}$$

$$1,1V_{02} = 6,34 \text{ kN}$$

$$1,1V_{03} = 6,8 \text{ kN}$$

5.1 Ferrailages

Étant donné que la fissuration est peu préjudiciable, on calculera les armatures à l'ELU et on vérifiera les contraintes à l'ELS.

c. Armatures longitudinales

Dans ce paragraphe on va faire un calcul détaillé de la 1^{re} travée et puis on va récapituler le calcul des autres travées dans un tableau.

- Calcul des sections :

$$M_{tu} = b h_0 f_{bu} \left(d - \frac{h_0}{2} \right) = 0,33 \times 0,05 \times 12,47 \times 10^3 \times \left(0,174 - \frac{0,05}{2} \right) = 30,65 \text{ kN.m}$$

- Valeur de d estimée :

$$d = h - \left(e + \frac{\phi_l}{2} + \phi_t \right) = 21 - \left(2,5 + \frac{1}{2} + 0,6 \right) = 17,4 \text{ cm}$$

$$M_{t1} = 2,85 \text{ kN.m} < M_{tu} = 30,65 \text{ kN.m}$$

D'où l'axe neutre de la déformation est dans la table de compression.

Le calcul se fait en section rectangulaire de largeur b = 0,33 m et de hauteur h = 0,21 m.

$$\mu_{bu} = \frac{M_{t1}}{bd^2 f_{bu}} = \frac{2,85 \cdot 10^{-3}}{0,33 \times 0,174^2 \times 12,47} = 0,023 < \mu_l = 0,186$$

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \mu_{bu}} \right) = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,023} \right) = 0,03$$

$$z = d (1 - 0,4 \alpha) = 0,174 \times (1 - 0,4 \times 0,03) = 0,172$$

$$A_{st} = \frac{M_{t1}}{z f_{su}} = \frac{2,85 \times 10^{-3}}{0,172 \times \frac{400}{1,15}} = 0,48 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité :

$$v = \frac{b_0 h^2 + (b - b_0) h_0^2}{2(b_0 h + (b - b_0) h_0)} = \frac{0,07 \times 0,21^2 + (0,33 - 0,07) \times 0,05^2}{2 \times (0,07 \times 0,21 + (0,33 - 0,07) \times 0,05)} = 0,067$$

$$v' = h - v = 0,21 - 0,067 = 0,143 \text{ m}$$

$$I = b \frac{v^3}{3} - \left(\frac{b - b_0}{3} (v - h_0)^3 \right) + \left(\frac{b_0 v'^3}{3} \right)$$

$$I = 0,33 \times \frac{0,067^3}{3} - \left(\frac{0,33 - 0,07}{3} (0,067 - 0,05)^3 \right) + \left(\frac{0,07 \times 0,143^3}{3} \right) = 9,67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$A_{min} = \frac{If_{t28}}{0,81h\nu'f_e} = \frac{9,67 \cdot 10^{-5} \times 1,92}{0,81 \times 0,21 \times 0,143 \times 400} = 0,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0,2 \text{ cm}^2 < A_{st} = 0,48 \text{ cm}^2 \text{ (Vérifiée)}$$

Soit 1HA10 avec $A_{st\text{réel}} = 0,79 \text{ cm}^2$

Donc on récapitule les calculs fait au-dessus, dans chaque travée de la nervure choisie, dans le tableau suivant :

		Travée 1	Travée 2	Travée 3
A l'ELU	$M_t (\text{kN.m})$	2,85	3	2,87
	Section rectangulaire	33x21	33x21	33x21
	μ_{bu}	0,023	0,024	0,023
	A_{sc}	0	0	0
	α	0,03	0,03	0,03
	$Z (\text{m})$	0,172	0,172	0,172
	$A_{st} (\text{cm}^2)$	0,48	0,50	0,48
CNF	$v (m)$	0,067	0,067	0,067
	$v' (m)$	0,143	0,143	0,143
	$I (m^4)$	$9,67 \cdot 10^{-5}$	$9,67 \cdot 10^{-5}$	$9,67 \cdot 10^{-5}$
	$A_{min} (\text{cm}^2)$	0,2	0,2	0,2

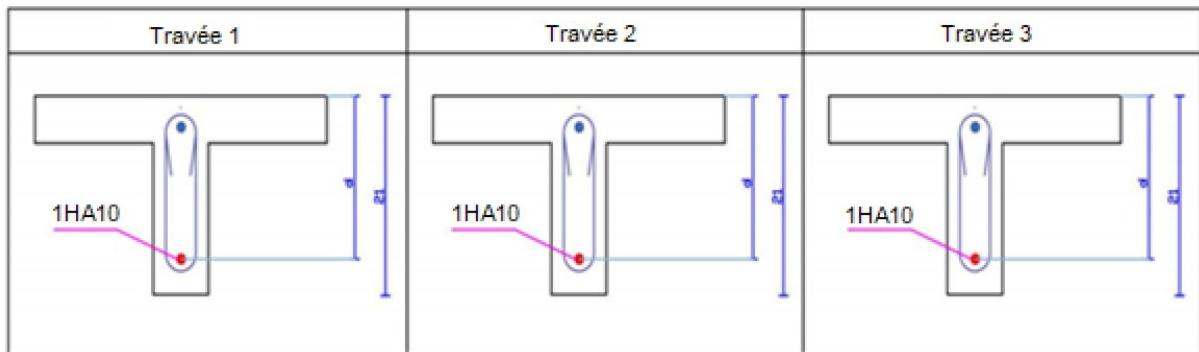
Choix	$A_{st} > A_{min} (\text{cm}^2)$	0,48	0,50	0,48
	Choix des armatures	1HA10	1HA10	1HA10
	$A_{st \text{ réel}} (\text{cm}^2)$	0.79	0.79	0.79

Tableau 3: Sections d'acier en travées

A l'ELU		Appuis 2	Appuis 3
	$M_a (\text{kN.m})$	2,38	2,38
	Section rectangulaire	33x21	33x21
	μ_{bu}	0,019	0,019
	A_{sc}	0	0
	α	0,024	0,024
	$Z (\text{m})$	0,172	0,172
CNF	$A_{st} (\text{cm}^2)$	0,4	0,4
	$v (m)$	0,067	0,067
	$v' (m)$	0,143	0,143
	$I (m^4)$	$9,67 \cdot 10^{-5}$	$9,67 \cdot 10^{-5}$
Choix	$A_{min} (\text{cm}^2)$	0,2	0,2
	$A_{st} > A_{min} (\text{cm}^2)$	0,4	0,4

	Choix des armatures	1HA10	1HA10
	$A_{st \text{ réel}} (\text{cm}^2)$	0,79	0,79

Tableau 4: Sections d'acier sur appuis



$$d_1 = h - \left(e + \frac{\phi_l}{2} + \phi_t \right) = 21 - \left(2,5 + \frac{1}{2} + 0,6 \right) = 17,4 \text{ cm}$$

$$d_2 = h - \left(e + \frac{\phi_l}{2} + \phi_t \right) = 21 - \left(2,5 + \frac{1}{2} + 0,6 \right) = 17,4 \text{ cm}$$

$$d_3 = h - \left(e + \frac{\phi_l}{2} + \phi_t \right) = 21 - \left(2,5 + \frac{1}{2} + 0,6 \right) = 17,4 \text{ cm}$$

d. Armatures transversales

Pour le calcul des armatures transversales, on va détailler le calcul pour la première travée et les résultats de calcul des autres travées seront donnés dans le tableau ci-après.

❖ Diamètre des aciers transversaux :

$$\varnothing_t \leq \min\left(\varnothing_t; \frac{h}{35}; \frac{b_0}{10}\right) = \min\left(10; \frac{21}{35}; \frac{7}{10}\right) = 6 \text{ mm}$$

Soit : $\varnothing_t = \varnothing 6$

❖ Espacement maximal :

$$S_t \leq \min(0,9d; 40 \text{ cm}) = \min(0,9 \times 17,4; 40 \text{ cm}) = \min(15,66 \text{ cm}; 40 \text{ cm})$$

Donc $S_{t_{max}} = 15 \text{ cm}$

❖ Espacement initial St_0 :

$$V_{umax} = 5,68 \text{ kN}$$

$$V_{u0} = V_{umax} \left(1 - \frac{5}{3} \frac{h}{l}\right) = 5,68 \times \left(1 - \frac{5}{3} \times \frac{0,21}{2,95}\right) = 5,01 \text{ kN}$$

$$\tau_{u0} = \frac{V_{u0}}{b_0 d} = \frac{5,01 \cdot 10^{-3}}{0,07 \times 0,174} = 0,41 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{A_t}{S_t}\right)_0 = \frac{(\tau_{u0} u_0 - 0,3 k f_{t28}) b_0 Y_s}{0,9 f_{et}} = \frac{(0,41 - 0,3 \times 1,92) \times 0,07 \times 1,15}{0,9 \times 235} = -0,63 \text{ cm}^2 \leq 0$$

$$\left(\frac{A_t}{S_t}\right)_{min} = \frac{0,4 \cdot \frac{\tau_{u0}}{2} b_0}{f_{et}} = \frac{0,4 \cdot \frac{0,41}{2} \cdot 0,07}{235} = 1,19 \text{ cm}^2/m$$

On disposera un étrier φ_6 (RL) $\Rightarrow 2$ brins φ_6

$$A_t = 2 \times \varnothing 6 = 2 \times 0,28 = 0,56 \text{ cm}^2$$

$$S_{t0} = \frac{A_t}{\dot{c} \left(\left(\frac{A_t}{S_t}\right)_0; \left(\frac{A_t}{S_t}\right)_{min} \right)} = \frac{0,56}{\dot{c}(0,63; 1,19)} = 47 \text{ cm}$$

$$\frac{S_{t0}}{2} = 24 \text{ cm} > S_{t_{max}} = 15 \text{ cm}$$

Donc l'espacement des armatures transversales tout le long de la nervure est constant

soit : $S_t = 15 \text{ cm}$. Cependant, le premier cadre est disposé à 7,5 cm du nu de l'appui ($\frac{St_0}{2}$).

❖ Répartition des armatures transversale :

On résume le calcul dans le tableau ci-dessous :

	Travée 1	Travée 2	Travée 3
$V_{u\max}$ (kN)	5,68	6,34	6,8
V_{u0} (kN)	5,01	5,67	6
τ_{u0} (MPa)	0,41	0,47	0,49
$\left(\frac{A_t}{S_t}\right)_0$ (cm ² /m)	< 0	< 0	< 0
$\left(\frac{A_t}{S_t}\right)_{min}$ (cm ² /m)	1,19	1,19	1,19
S_{t0} (cm)	47	47	47
S_{tmax} (cm)	15	15	15

Tableau 5: Répartition des armatures transversale

Répartition des armatures transversales :

Travée1 : 7.5 / 20x14 / 7.5

Travée2 : 7.5 / 21x15 / 7.5

Travée3 : 8 / 20x14 / 8

