

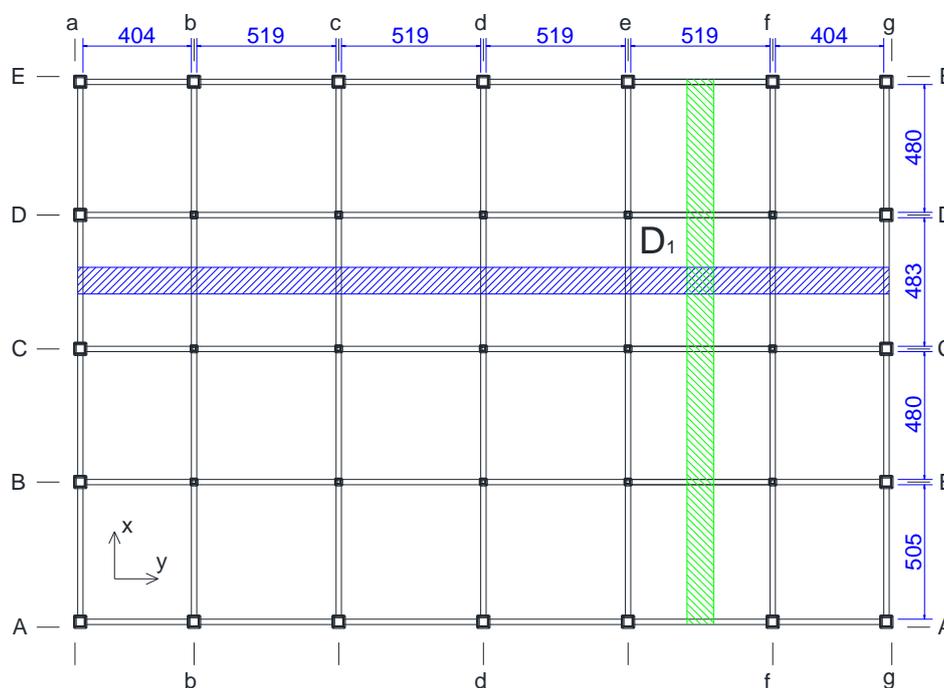
## DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS EN SUPERSTRUCTURE

Ce chapitre a pour but de dimensionner les éléments porteurs de la structure afin d'en déduire les armatures nécessaires. Les pièces dimensionnées sont ensuite soumises à des vérifications pour assurer sa stabilité, sa non déformation et, son aptitude à l'emploi. La règle BAEL 91 modifié 99 est utilisée dans tous les calculs.

Le diamètre des armatures longitudinales est au moins 12 [mm].

### IX. 1. Plancher

Le plancher sera en dalle pleine, comme il est énoncé dans les chapitres précédents.



**Figure 23.** Localisation de la dalle à étudier.

#### IX. 1. 1. Hypothèses de calcul

La méthode forfaitaire est la plus adéquate pour le dimensionnement d'une dalle. Elle prend en compte du phénomène d'adaptation du béton. Les hypothèses et conditions d'utilisation de cette méthode sont :

- des charges d'exploitations modérées :
  - les charges d'exploitation ne doivent pas dépasser le double des permanentes ;
  - les charges d'exploitation sont limitées à un maximum de 5 [kN/m] ;
- une charge localisée ne peut dépasser 2 [kN] ;
- une inertie constante est obligatoire dans chaque travée ;

- le rapport des portées successives est compris entre 0,8 et 1,25.

Le calcul de la dalle se fera comme celui d'une poutre continue d'une bande de 1m de largeur. L'encastrement du panneau à étudier sur le contour sera considéré en affectant au moment isostatique  $M_o$  des coefficients.

### Vérification des conditions d'utilisation de la méthode

Les conditions d'utilisation de la méthode forfaitaire seront vérifiées un à un dans le tableau qui suit.

Tableau 38. *Conditions d'utilisation de la méthode forfaitaire.*

		ab	bc	cd	de	ef	fg
<b>1. Charges d'exploitation &lt;2 x charges permanentes</b>							
	<b><math>q</math> [MN/m]</b>	0,008	0,010	0,010	0,010	0,010	0,008
	<b><math>g</math> [MN/m]</b>	0,015	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015
	<b><math>2g</math> [MNm]</b>	0,030	0,035	0,035	0,035	0,035	0,030
		Vérifiée					
<b>2. Charges d'exploitation inférieure à 5 [kN/m<sup>2</sup>]</b>		3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
	<b>Limite [kN/m<sup>2</sup>]</b>	5,000					
		Vérifiée					
<b>3. Charges localisées &lt; max (2 kN ; 0,25Qf)</b>		Vérifiée car il n'y a pas de charges localisée					
<b>4. Inertie constante le long de chaque travée</b>		Vérifiée, section constante					
<b>5. Rapport des portées successives compris entre 0,8 et 1,25</b>		4,44	5,39	5,39	5,39	5,39	4,44
		0,824		1,000		1,214	
		1,000			1,000		
		Vérifiée					

IX. 1. 3. Calcul des sollicitations

 IX. 1. 3. 1. *Calcul de  $M_o$* 

Les chargements du plancher ont déjà été calculés dans les chapitres précédents, à savoir :

$$g = 5,820 \text{ [kN/m}^2\text{]} ;$$

$$q = 3,700 \text{ [kN/m}^2\text{]}.$$

$$\text{D'où : } p_u = 13,407 \text{ [kN/m}^2\text{]} \text{ (à l'ELU)} ;$$

$$p_{ser} = 9,520 \text{ [kN/m}^2\text{]} \text{ (à l'ELS)}.$$

Le moment isostatique  $M_o$  est calculé selon les relations suivantes :

- si  $\alpha = \frac{l_x}{l_y} < 0,4$ , alors  $M_{ox} = \frac{pl_x^2}{8}$  et  $M_{oy} = 0$  (dalle portant dans un sens) ;
- si  $\alpha = \frac{l_x}{l_y} \geq 0,4$ , alors  $M_{ox} = p\mu_x l_x^2$  et  $M_{oy} = \mu_y M_{ox}$ .

$M_{ox}$  et  $M_{oy}$ —moments maximaux en travée par bande de largeur unité dans les sens  $l_x$  et  $l_y$  de la dalle supposée non encadrée sur appuis et non continue au-delà de ses appuis.

Comme  $\alpha = 0,97 > 0,4$ , les formules de  $\mu_x$  et de  $\mu_y$  sont dans le tableau suivant et, peuvent être lues dans l'Annexe V.

Tableau 39. *Formule de  $\mu_x$  et de  $\mu_y$ .*

	$\mu_x$	$\mu_y$
<b>Sollicitations à l'ELU et à l'ELS</b>	$\frac{1}{8(1 + 2,4\alpha^3)}$	$\alpha^3(1,9 - 0,9\alpha)$
<b>Déformations à l'ELS</b>	$\frac{1}{8(1 + 2\alpha^3)}$	$\alpha^2[1 + \frac{3}{2}(1 - \alpha)^2]$

La dalle  $D_1$  se porte dans 2 sens.

Application numérique :

$$\mu_x = \frac{1}{8(1+2,4 \times 0,93^3)} = 0,0426 ;$$

$$M_{ox} = 13,407 \times 0,0427 \times 5,03^2 = 13,323 \text{ [kNm]} ;$$

$$\mu_y = 0,93^3(1,9 - 0,9 \times 0,93) = 0,856 ;$$

$$M_{oy} = 0,856 \times 13,323 = 11,409 \text{ [kNm]}.$$

D'où :  $M_{ox} = 13,323 \text{ [kNm]}$  et  $M_{oy} = 11,409 \text{ [kNm]}$ .

### IX. 1. 3. 2. Calcul des moments réels

Soient :

-  $M_w$  et  $M_e$  respectivement les valeurs absolues des moments sur appuis de gauche et de droite :

- $M_w$  ou  $M_e = 0,15M_o$  si la poutre sur laquelle la dalle se repose est de rive ;
- $M_w$  ou  $M_e = 0,5M_o$  pour un appui voisin d'un appui de rive d'une poutre à plus de deux travées ;
- $M_w$  ou  $M_e = 0,4M_o$  pour des autres appuis intermédiaires d'une poutre à plusieurs travées.

-  $M_{tx}$  et  $M_{ty}$  - moment en travée par bande de largeur unité dans le sens  $l_x$  et  $l_y$ , compte tenu des effets d'encastrement ou de continuité. Sa valeur doit respecter les relations suivantes :

- $M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq \text{Max}\{(1 + 0,3\alpha')M_o; 1,05M_o\}$
- $\begin{cases} M_t \geq \frac{1+0,3\alpha'}{2} M_o \text{ dans le cas d'une travée intermédiaire;} \\ M_t \geq \frac{1,2+0,3\alpha'}{2} M_o \text{ dans le cas d'une travée de rive.} \end{cases}$

$$\text{Donc } M_t \geq \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{Max}\{(1 + 0,3\alpha')M_o; 1,05M_o\} - \frac{M_w + M_e}{2} \\ \frac{1+0,3\alpha'}{2} M_o \end{array} \right.$$

-  $\alpha'$  - rapport des charges d'exploitation à la somme des charges permanentes et des charges d'exploitation.

#### Application numérique :

- Suivant x :

$$M_w = 0,4M_{ox}.$$

$$M_w = 0,4 \times 13,323 = 5,329 \text{ [kNm]} ;$$

$$M_e = 0,5M_{ox}.$$

$$M_e = 0,5 \times 13,323 = 6,662 \text{ [kNm]};$$

$$\alpha' = \frac{q}{g+q} = \frac{3,700}{5,820+3,700} = 0,389;$$

$$M_{tx} \geq \text{Max} \begin{cases} 8,881 \\ 7,438 \end{cases} = 8,881 \text{ [kNm]}.$$

- Suivant y : des mêmes raisonnements que dans les calculs ci-dessus, on a :

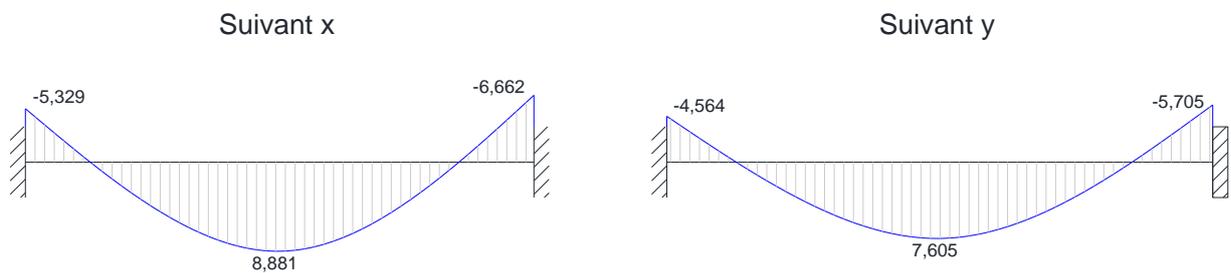
$$M_w = 0,4M_{oy};$$

$$M_w = 0,4 \times 11,409 = 5,705 \text{ [kNm]};$$

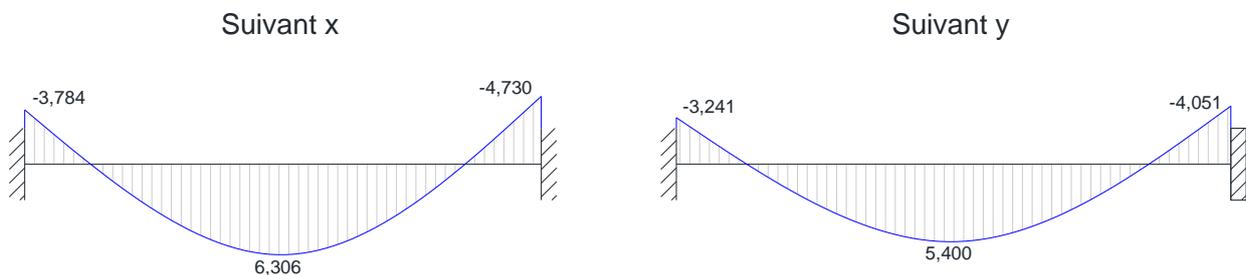
$$M_e = 0,5M_{oy};$$

$$M_e = 0,5 \times 11,409 = 4,564 \text{ [kNm]}.$$

$$M_{ty} \geq \text{Max} \begin{cases} 7,605 \\ 6,370 \end{cases} = 7,605 \text{ [kNm]}.$$



**Figure 24.** Diagramme des moments fléchissant à l'ELU [kNm].



**Figure 25.** Diagramme des moments fléchissant à l'ELS [kNm].

### IX. 1. 3. 3. Efforts tranchants

Le cas de charge uniformément répartie conduit à :

$$\begin{aligned}
 & - \text{ si } \alpha < 0,4 \text{ donc } \begin{cases} V_{ux} = p_u \frac{l_x}{2} ; \\ V_{uy} = 0 \end{cases} \\
 & - \text{ si } \alpha \geq 0,4 \text{ donc } \begin{cases} V_{ux} = p_u \frac{l_x}{2} \frac{1}{1+\alpha/2} \\ V_{uy} = p_u \frac{l_y}{3} \end{cases} .
 \end{aligned}$$

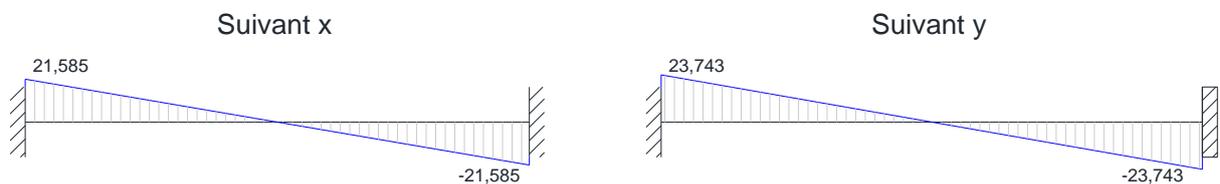
Application numérique :

- Suivant x :

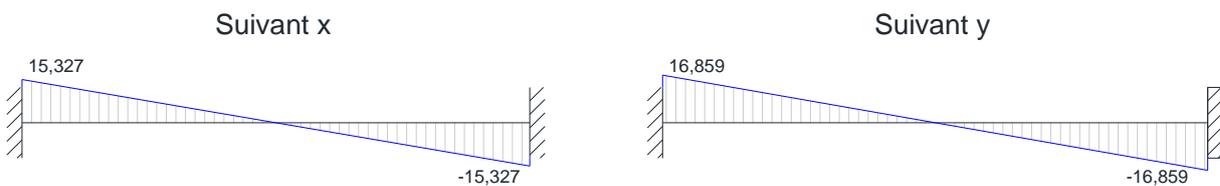
$$V_{ux} = 13,407 \times \frac{5,25}{2} \times \frac{1}{1+0,97/2} = 21,585 \text{ [kN]} ;$$

- Suivant y :

$$V_{uy} = 13,407 \times \frac{5,40}{3} = 23,743 \text{ [kN]}.$$



**Figure 26.** Diagramme des efforts tranchants à l'ELU [kNm].



**Figure 27.** Diagramme des efforts tranchants à l'ELS [kNm].

### IX. 1. 4. Détermination des armatures

#### IX. 1. 4. 1. Armatures longitudinales

Le calcul se fera en flexion simple (cf. Annexe VI).

Exemple de calcul : Appui de gauche suivant x.

- Déterminons d'abord si la dalle a besoin d'une simple ou d'une double armature.

$d = 0,9h = 0,9 \times 0,20 = 0,18 [m]$  la distance entre la fibre inférieure et le centre de gravité des armatures.

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b_0 d^2 f_{bu}} = \frac{5,329 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17} = 0,012 ;$$

Selon l'annexe VII, pour une  $f_{c28} = 25 [MPa]$  et  $\theta = 1$ , on a  $\mu_{lu} = 0,317\gamma - 0,173$ .

$$\text{avec } \gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{5,329}{3,784} = 1,408$$

$$\text{alors } \mu_{lu} = 0,273$$

Constatons que  $\mu_{bu} < \mu_{lu}$  ; ce qui suggère une section à simple armature.

- Calcul des armatures  $A_u$

$$A_u = \frac{M_u}{z_b f_{ed}}$$

$$M_u = 5,329 \times 10^{-3} [MNm] ;$$

$$f_{ed} = 434,78 [MPa] ;$$

$$z_b = d(1 - 0,4\alpha'' ) ;$$

$$\alpha'' = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) ;$$

$$\alpha'' = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,012}) = 0,015 ;$$

$$z_b = 0,18 (1 - 0,4 \times 0,015) = 0,179 [m] ;$$

$$A_u = \frac{5,329 \times 10^{-3}}{0,179 \times 434,78} \times 10^4 = 0,685 [cm^2].$$

- Section minimale d'armature

La condition de non fragilité impose les valeurs minimales suivantes :

- dans le sens  $l_x$  :  $A_{x,min} = \frac{3-\alpha''}{2} A_{y,min}$  ;
- dans le sens  $l_y$  :  $A_{y,min} = 6h$ .

$$A_{y,min} = 6 \times 0,20 = 1,200 [cm^2] ;$$

$$A_{x,min} = \frac{3-0,015}{2} \times 1,200 = 1,790 [cm^2].$$

Comme  $A_u < A_{x,min}$  ; prenons  $A = A_{x,min} = 1,790 [cm^2]$ .

- Choix des armatures

Le diamètre des armatures ne doit dépasser  $\emptyset = \frac{e}{10}$ .

$$\emptyset = \frac{0,20 \times 10^3}{10} = 20 [mm]$$

L'espace maximal est déterminé par la relation suivante :

$$s_{t,max} = \text{Min} \{(3 \times h) ; 33\}$$

$$s_{t,max} = \text{Min} \{60 ; 33\} = 33 [cm]$$

Prenons 4 HA 8 tous les 20 [cm], pour 1m de largeur ; d'où  $A_{réelle} = 2,010 [cm^2/ml]$ .

Du même schéma de calcul, toutes les armatures sont calculées et sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 40. Calcul des armatures longitudinales.

	Suivant x			Suivant y		
	w	t	e	w	t	e
$d$ [m]	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
$M_u$ [MNm]	0,005	0,008	0,006	0,005	0,009	0,007
$M_{ser}$ [MNm]	0,003	0,005	0,004	0,004	0,006	0,005
$V_u$ [MN]	0,024	-	0,024	0,022	-	0,022
$\mu_{bu}$	0,010	0,017	0,012	0,012	0,019	0,015
$\mu_{lu}$	0,273	0,273	0,273	0,273	0,273	0,273
$\alpha''$	0,012	0,021	0,016	0,015	0,024	0,018
$z_b$ [m]	0,179	0,178	0,179	0,179	0,178	0,179
$A_u$ [cm <sup>2</sup> ]	0,586	0,980	0,734	0,685	1,146	0,857
$A_{min}$ [cm <sup>2</sup> ]	1,200	1,200	1,200	1,791	1,785	1,789
$A$ [cm <sup>2</sup> ]	1,200	1,200	1,200	1,791	1,785	1,789
$\emptyset$ [m]	20	20	20	20	20	20
$s_{t,max}$ [cm]	45	45	45	33	33	33
$A_{réelle}$ [cm <sup>2</sup> /ml]	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 10	4 HA 10
	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010

#### IX. 1. 4. 2. Nécessité d'armatures d'âme

- Elles ne sont pas nécessaires si :
  - la dalle est bétonnée sans reprise dans son épaisseur ;
  - la contrainte tangentielle  $\tau_u = \frac{V_u}{bd} \leq 0,07 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$
- pour les autres cas :
  - si  $h \leq 15$  [cm], il n'y a pas d'armatures d'âme à prévoir ;
  - sinon, les armatures d'âme sont calculées comme les poutres avec des valeurs de  $\tau_u$  multiplié par  $\frac{10}{3}h$ .

Puisque la dalle sera coulée sans reprise, vérifions la deuxième condition.

$$\tau_u = \frac{0,022}{1 \times 0,18} = 0,122 \text{ [MPa]} ;$$

$$0,07 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0,07 \frac{25}{1,5} = 1,167 \text{ [MPa]}.$$

$$\text{alors } \tau_u \leq 0,07 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

Donc des armatures d'âme ne sont pas nécessaires.

### IX. 1. 5. Vérification à la flèche

Pour le cas des dalles rectangulaires appuyées sur leurs quatre côtés, il n'est pas indispensable de procéder au calcul des flèches si les conditions suivantes sont vérifiées :

$$\begin{cases} \frac{h}{l_x} > \frac{M_{tx}}{20M_{ox}} & (1) \\ M_{tx} \geq 0,75M_{ox} & (2) \\ \frac{A}{bd} \leq \frac{2}{f_e} & (3) \end{cases}$$

- $\frac{h}{l_x} = \frac{0,20}{5,03} = 0,0398$  et  $\frac{M_{tx}}{20M_{ox}} = \frac{8,881}{20 \cdot 13,323} = 0,0333$  : la condition (1) est vérifiée ;
- $M_{tx} = 8,881$  [kNm] et  $0,75M_{ox} = 9,992$  [kNm] : la condition (2) n'est pas vérifiée.

Donc il faut procéder à la vérification de la flèche.

#### IX. 1. 5. 1. *Flèche maximale admissible*

Pour  $l > 5$  m, on a  $f_{adm} = \frac{l}{1000} + 0,005$  [m].

$$\text{D'où } f_{adm,x} = \left( \frac{5,03}{1000} + 0,005 \right) \times 10^3 = 10,03 \text{ [mm]} ;$$

$$f_{adm,y} = \left( \frac{5,40}{1000} + 0,005 \right) \times 10^3 = 10,40 \text{ [mm]}.$$

#### IX. 1. 5. 2. *Calcul des flèches*

$$\begin{cases} f_i = \frac{M_{t,ser} l^2}{10E_i I_{fi}} & \text{flèche maximale sous charge de faible durée d'application;} \\ f_v = \frac{M_{t,ser} l^2}{10E_v I_{fv}} & \text{flèche maximale sous charge de longue durée d'application.} \end{cases}$$

$$I_f = \frac{1,1I_o}{1+\lambda\mu} \text{ - moment d'inertie fictif tenant compte des fissures éventuelles ;}$$

$$I_o = \frac{bh^3}{12} \text{ - moment d'inertie de la section rendue homogène ;}$$

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_i = \frac{0,05f_{t28}}{(2+3)\rho} \text{ pour les déformations instantanées} \\ \lambda_v = \frac{0,02f_{t28}}{(2+3)\rho} \text{ pour les déformations de longue durée} \end{cases} ;$$

$$\mu = 1 - \frac{1,75f_{t28}}{4\rho\sigma_s + f_{t28}} \text{ si c'est positif, sinon } \mu = 0.$$

$$\rho = \frac{A}{bd} ;$$

$\sigma_s$ \_constante de traction des armatures longitudinales correspondant au cas de charge considéré et déterminées conformément aux méthodes exposées pour l'ELS.

$$\sigma_s = 15K(d - y_1)$$

$$K = \frac{M_{t,ser}}{I} ;$$

$$I = \frac{b}{3}y_1^3 + 15A(y_1 - d')^2 + 15A(d - y_1)^2 ;$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} ;$$

$$D = \frac{15}{b}(A + A') \text{ et } E = \frac{30}{b}(Ad + A'd').$$

Exemple de calcul : Suivant x, déformation instantanée.

$$D = \frac{15}{b}(A) = \frac{15}{1}(2,010 \times 10^{-4}) = 0,0030 [m] ;$$

$$E = \frac{30}{b}(Ad) = \frac{30}{1}(2,010 \times 10^{-4} \times 0,18) = 0,0011 [m^2] ;$$

$$y_1 = -0,0030 + \sqrt{0,0030^2 + 0,0011} = 0,030 [m] ;$$

$$I = \frac{b}{3}y_1^3 + 15A(d - y_1)^2 = \frac{1}{3}0,030^3 + 15 \times (2,010 \times 10^{-4}) \times (0,18 - 0,030)^2 ;$$

$$I = 0,000077 [m^4] ;$$

$$K = \frac{0,00631}{0,000077} = 82,12 [MN/m^3] ;$$

$$\sigma_s = 15 \times 82,12 \times (0,18 - 0,03) = 184,77 [MPa] ;$$

$$\rho = \frac{2,010 \times 10^{-4}}{1 \times 0,18} = 0,0011 ;$$

$$\mu = 1 - \frac{1,75 \times 2,10}{4 \times 0,0011 \times 184,77 + 2,10} = -0,255 = 0;$$

$$\lambda_i = \frac{0,05 \times 2,10}{(2+3) \times 0,0011} = 18,81;$$

$$I_o = \frac{1 \times 0,20^3}{12} = 0,00067 \text{ [m}^4\text{]};$$

$$I_{fi} = \frac{1,1 \times 0,00067}{1 + 18,81 \times 0} = 0,00073 \text{ [m}^4\text{]};$$

$$f_i = \frac{0,0063 \times 5,03^2}{10 \times 32164,20 \times 0,00073} \times 10^3 = 0,679 \text{ [mm]};$$

$f_i < f_{adm}$  donc il n'y a pas de risque de flèche.

Du même schéma de calcul, les autres cas ont été calculés et les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 41. Calcul et vérification de la flèche de la dalle.

Travée	Suivant $l_x$		Suivant $l_y$	
	Instantanée	Longue durée	Instantanée	Longue durée
$D$ [m]	0,00301			
$E$ [m <sup>2</sup> ]	0,00109			
$y_1$ [m]	0,03007			
$I$ [m <sup>4</sup> ]	0,00008			
$K$ [MN/m <sup>3</sup> ]	82,089		70,295	
$\sigma_s$ [MPa]	184,62		158,09	
$\mu$	0		0	
$\lambda$	18,81	7,52	18,81	7,52
$I_o$ [m <sup>4</sup> ]	0,0007		0,0007	
$I_f$ [m <sup>4</sup> ]	0,00073	0,00073	0,00073	0,00073
$f$ [mm]	0,676	1,854	0,579	1,588
$f_{adm}$ [mm]	10,030		10,400	
<b>Conclusion</b>	Pas de risque de flèche			

### IX. 1. 6. Vérification au poinçonnement

Sous l'action de forces localisées, il faut vérifier la résistance des dalles au poinçonnement par effort tranchant. Notons qu'une force est localisée lorsque les dimensions de son impact sont petites par rapport aux portées de la dalle.

Dans le cas d'une charge localisée éloignée des bords de la dalle, on admet qu'aucune armature d'effort tranchant n'est requise, si la condition suivante est satisfaite :

$$Q_u \leq 0,045u_c h f_{c28} / \gamma_b$$

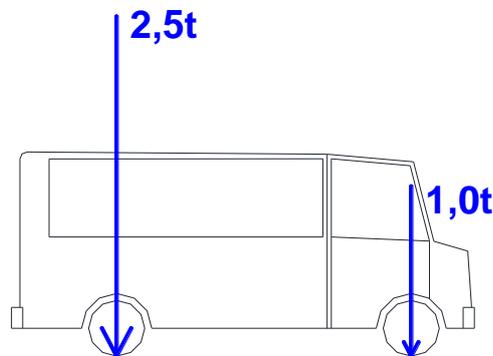
$Q_u$  charge de calcul vis-à-vis de l'état limite ultime ;

$u_c$  périmètre du rectangle d'impact à considérer au niveau du feuillet moyen de la dalle.

- Calcul de  $Q_u$

Le parking étant réservé pour des voitures légères et quelques utilitaires, le poids total en charge des véhicules ne doit dépasser 3,5t.

D'après les constructeurs de fourgon 3,5t Mercedes, on a la configuration suivante :



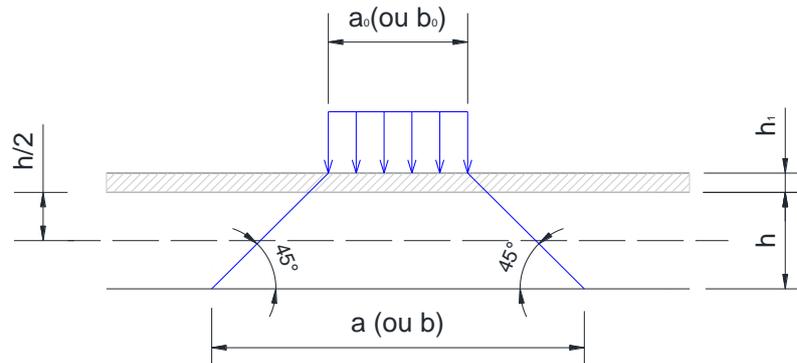
**Figure 28.** Répartition des charges sur un véhicule utilitaire.

D'après la figure ci-dessus, la charge sur l'essieu arrière atteint 2,5t, soit 1,25t pour chaque roue.

Donc :  $Q_u = 1,25 \times 10 = 12,5 [kN]$

- Calcul de  $u_c$

Toutes charges localisées appliquées à la face supérieure d'une dalle d'épaisseur  $h$ , sur un rectangle de dimension  $a_o$  parallèle à  $l_x$  et  $b_o$  parallèle à  $l_y$ , agit uniformément au niveau du foyer moyen sur un rectangle de dimension  $a \times b$ .



**Figure 29.** *Rectangle d'impact d'une charge localisée.*

Puisqu'il y a un revêtement d'épaisseur  $h_1 = 0,02$  [m], les dimensions du rectangle d'impact sont les suivantes :

- $a = a_o + h + \xi h_1$  ;
- $b = b_o + h + \xi h_1$ .

$\xi = 1,5$  correspondant à un revêtement moins résistant que le béton (exemple : béton bitumineux, enrobé, etc.)

Les roues fréquemment utilisées par les automobilistes donnent les dimensions suivantes :  $a_o = 0,30$  [m] et  $b_o = 0,40$  [m]

$$a = 0,30 + 0,20 + 1,5 \times 0,02 = 0,53 \text{ [m]} \text{ et } b = 0,40 + 0,20 + 1,5 \times 0,02 = 0,63 \text{ [m]}$$

$$u_c = 2(a + b) = 2(0,53 + 0,63) = 2,32 \text{ [m]}.$$

$$\frac{0,045u_c h f_{c28}}{\gamma_b} = \frac{0,45 \times 2,32 \times 0,20 \times 25}{1,5} \times 10^3 = 3\,480 \text{ [kN]}$$

La condition  $Q_u \leq 0,045u_c h f_{c28} / \gamma_b$  est vérifiée, ce qui élimine le risque de poinçonnement.

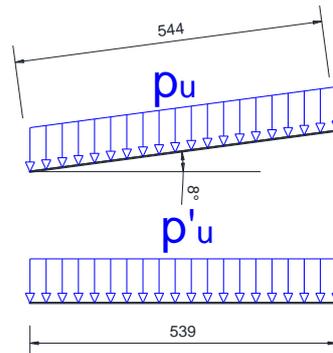
Le plan de ferrailage est présenté dans l'Annexe XII.1.

## IX. 2. Rampe

La rampe est assimilable à une dalle pleine inclinée. Le calcul de son armature se fera donc comme celui de la dalle.

La rampe est en dalle pleine de 21,76 m, encadrée à ses deux extrémités et, divisée en quatre tronçons de 5,44m.

Les charges sur la rampe sont les mêmes que celles de la dalle.



**Figure 30.** Modélisation d'une travée de la rampe.

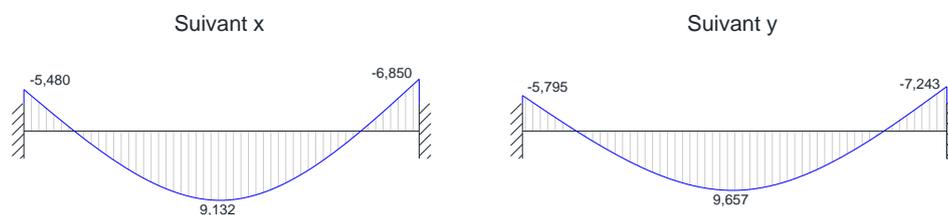
$p_u = 0,0134 [MN/m^2]$ \_ensemble des actions à l'ELU ;

$p'_u = p_u / (\cos 8^\circ)$ \_ensemble d'action équivalente à l'ELU sur la rampe ramenée à l'horizontale :  $p'_u = 0,01353 [MN/m^2]$  et  $p'_{ser} = 0,00952 [MN/m^2]$ .

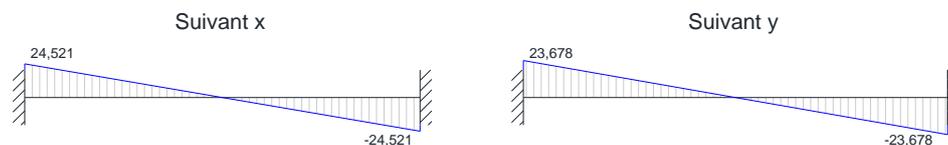
Désormais, le calcul se fera comme une dalle pleine dont  $l_x = 5,25 [m]$  et  $l_y = 5,39 [m]$ , reposant sur ses quatre côtés.

Comme le schéma de calcul de la dalle pleine précédente, les résultats sont les suivantes.

$$M_{o,x} = 14,487 [kNm] \text{ et } M_{o,y} = 13,700 [kNm]$$



**Figure 31.** Diagramme des moments fléchissant [kNm].



**Figure 32.** Diagramme des efforts tranchant [kNm].

Le calcul des armatures est récapitulé dans le tableau suivant.

Tableau 42. *Calcul des armatures longitudinales.*

	Suivant x			Suivant y		
	w	t	w	t	w	t
<b><math>d</math> [m]</b>	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
<b><math>M_u</math> [MNm]</b>	0,0055	0,0091	0,0069	0,0058	0,0097	0,0072
<b><math>M_{ser}</math> [MNm]</b>	0,004	0,006	0,005	0,004	0,007	0,005
<b><math>V_u</math> [MN]</b>	0,0245	-	0,0245	0,0237	-	0,0237
<b><math>\mu_{bu}</math></b>	0,0119	0,0199	0,0149	0,0126	0,0210	0,0158
<b><math>\mu_{lu}</math></b>	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278
<b><math>\alpha''</math></b>	0,015	0,025	0,019	0,016	0,027	0,020
<b><math>z_b</math> [m]</b>	0,179	0,178	0,179	0,179	0,178	0,179
<b><math>A_u</math> [cm<sup>2</sup>]</b>	0,704	1,179	0,882	0,745	1,247	0,933
<b><math>A_{min}</math> [cm<sup>2</sup>]</b>	1,200	1,200	1,200	1,790	1,784	1,788
<b><math>A</math> [cm<sup>2</sup>]</b>	1,200	1,200	1,200	1,790	1,784	1,788
<b><math>\emptyset</math> [m]</b>	20	20	20	20	20	20
<b><math>s_{t,max}</math> [cm]</b>	45	45	45	33	33	33
<b><math>A_{réelle}</math> [cm<sup>2</sup>]</b>	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 8	4 HA 8
<b>/ml]</b>	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010

Prenons 4 HA 8 tous les 20 [cm], pour 1m de largeur ; d'où  $A_{réelle} = 2,010$  [cm<sup>2</sup>/ml].

Comme la dalle, la rampe n'est pas susceptible d'atteindre la flèche maximale. Il n'y a pas de risque de poinçonnement.

Le plan de ferrailage est présenté dans l'Annexe XII.2.