

Dynamique des Structures

Abdellatif MEGNOUNIF

E-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Partie 4: Calcul d'une structure en Béton Armé.

Chapitre 11

Ferraillage – Ferraillage de la Dalle Pleine

Cours 11 Samedi 07.02.2026

1. Introduction

- ✓ L'objectif de ce chapitre est de calculer les sections d'acier nécessaires pour les éléments de la dalle pleine, (Balcons ou Paliers et volées d'escaliers) à partir de sollicitations déterminées par une analyse numérique, par ROBOT.
- ✓ On prendra comme exemple, un **balcon de la structure**.
- ✓ Le calcul sera basé sur les règles de BAEL en utilisant des logiciels disponibles tels que EXPERT BA ou SOCOTEC, ou autre...
- ✓ Les sections déterminées doivent aussi vérifiées les conditions des RPA2024,
- ✓ Le calcul comprend la détermination des armatures inférieures et supérieures dans les 02 directions d'une dalle pleine de la structure étudiée.
- ✓ La dalle pleine est un élément structurant de la structure qui permet de transmettre les charges aux poutres principales et chainages.
- ✓ La finalité de cette partie est la présentation du dossier détaillé d'exécution.

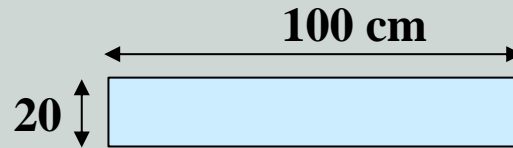
Finalité : Plans d'exécution BA



2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

C'est le ferrailage d'une dalle
(élément coque)

On choisit une section de
longueur 1 m et d'épaisseur 20 cm



$M_{x\min}$; $M_{x\max}$?
 $M_{y\min}$; $M_{y\max}$?

ELU ; *ELS* ;
ELA

En appui et en travée

**EXPERT
BA**

**Calcul des
sections
des
armatures**

A comparer
avec

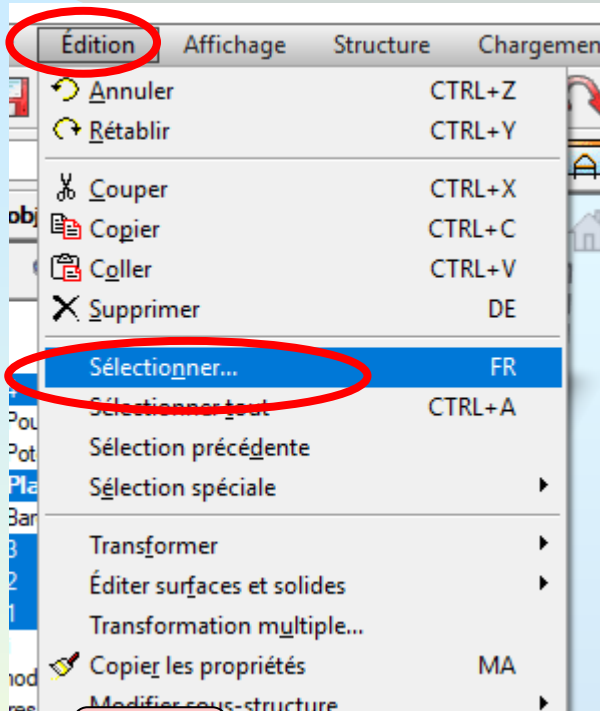
Min RPA

2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

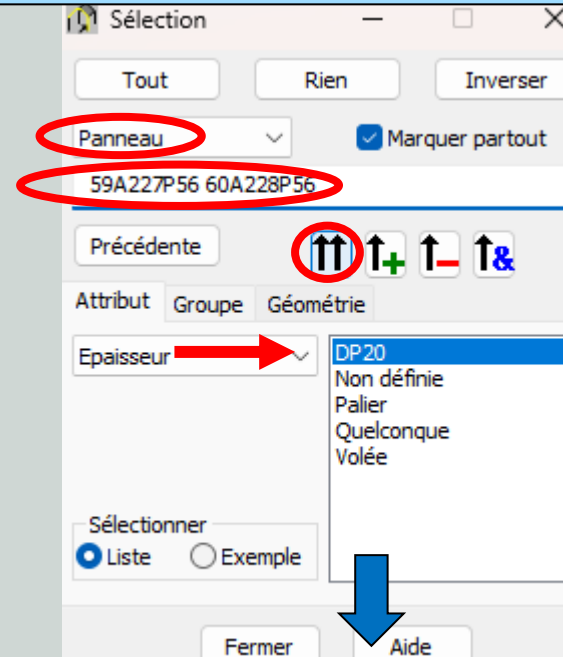
A partir de ROBOT?

Après calcul (ROBOT, on sélectionne la poutrelle et on tire les différentes sollicitations correspondantes(**Edition/Sélection spéciale/Panneaux**)

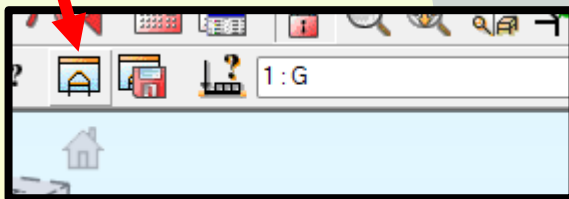
✓ **Sélectionner les dalles pleines des balcons**



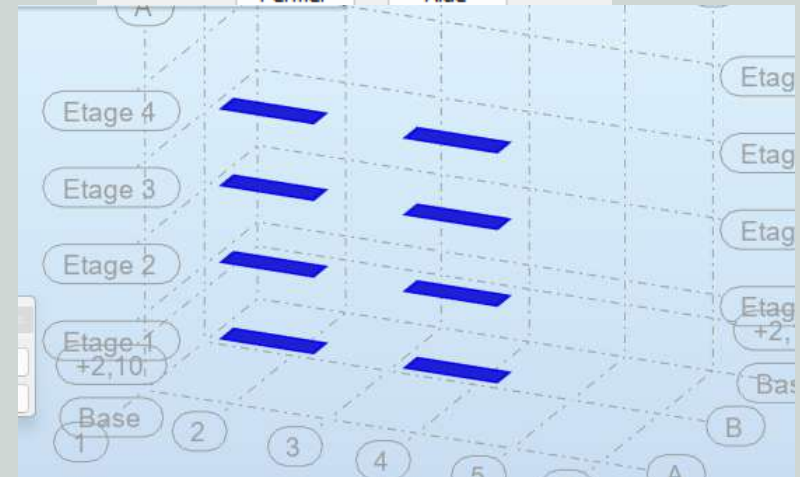
Choisir



Cliquer

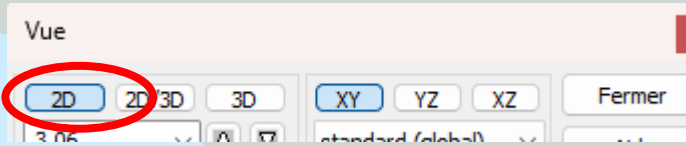


On tire alors seules les sollicitations de la dalle choisie



2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

Sélectionner la vue 2D (XY) et vérifier le repère local de la dalle par rapport au repère global

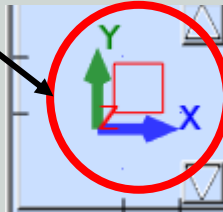


Exemple



Repère 2D local

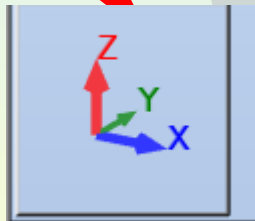
Repère 2D global



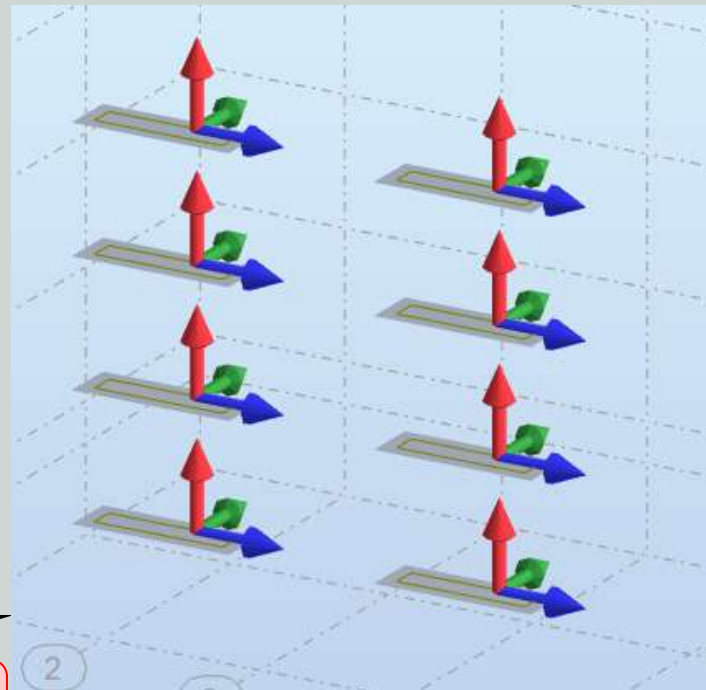
Choisir



Sinon, en 3D



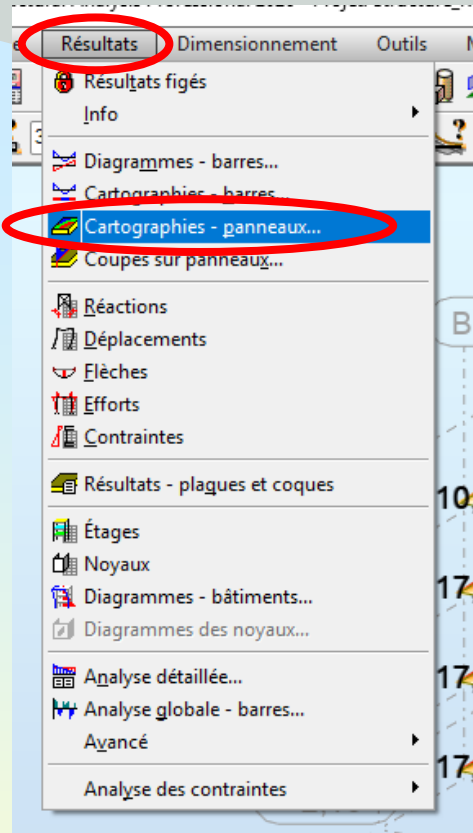
De préférence, les 02 repères doivent être confondus



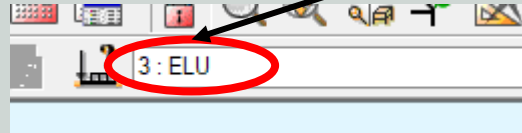
On tire alors seules les sollicitations de la dalle choisie

2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

Sélectionner les dalles pour afficher les résultats
(Résultats/Cartographie – panneaux)



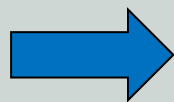
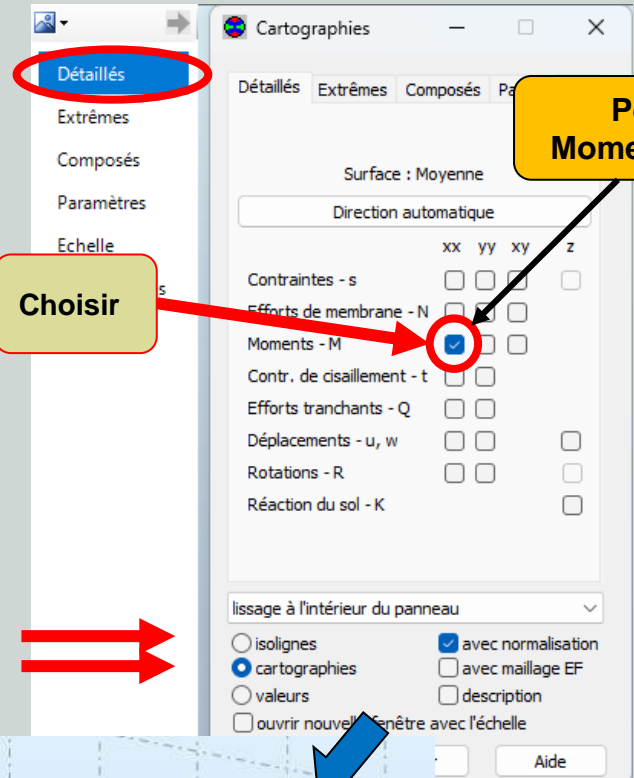
Exemple



Détaillés

Choisir

Pour Moments Mx



Même chose pour My

Même chose à l'ELS et l'ELA



2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

Après calcul (ROBOT, on sélectionne la dalle pleine et on tire les différentes sollicitations correspondantes ($M_{x\min}$, $M_{x\max}$, $M_{y\min}$ et $M_{y\max}$) (Résultats/cartographie panneaux)

Etage	ELU		ELS		ELA		Etage	ELU		ELS		ELA	
	$M_x -$	$M_x +$	$M_x -$	$M_x +$	$M_x -$	$M_x +$		$M_y -$	$M_y +$	$M_y -$	$M_y +$	$M_y -$	$M_y +$
1	-11,98	18,52	-8,63	13,44	0	22,53	1	-0,24	10,69	-0,2	7,71	0	8,34
2	-12,07	17,74	-8,69	12,88	0	22,58	2	-0,24	10,64	-0,2	7,68	0	8,43
3	-12,13	18,31	-8,73	13,28	0	21,65	3	-0,24	10,47	-0,2	7,79	0	8,25
4	-10,16	12,91	-7,45	9,48	0	14,15	4	-0,17	8,86	-0,12	5,76	0	7,15

On peut ferrailer, question pratique, la même chose suivant x et y, en prenant le maximum des max.

On choisit à ferrailer différemment suivant x et y (la différence des moments est importante)

Suivant
x

$M_x + = 22,58 \text{ KN.m/ml}$
 $M_x - = -12,13 \text{ KN.m/ml}$

Suivant
y

$M_y + = 10,69 \text{ KN.m/ml}$
 $M_y - = -0,24 \text{ KN.m/ml}$



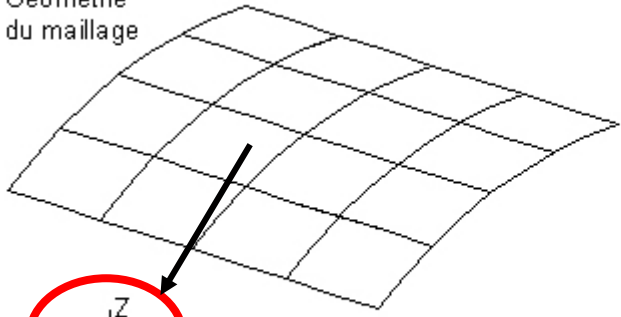
Convention de signes de ROBOT ?

2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

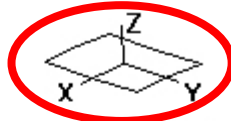
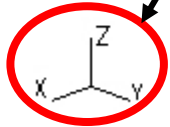
Convention des signes (ROBOT)

L'inverse des poutres

Géométrie du maillage



Repère global



Repère local initial

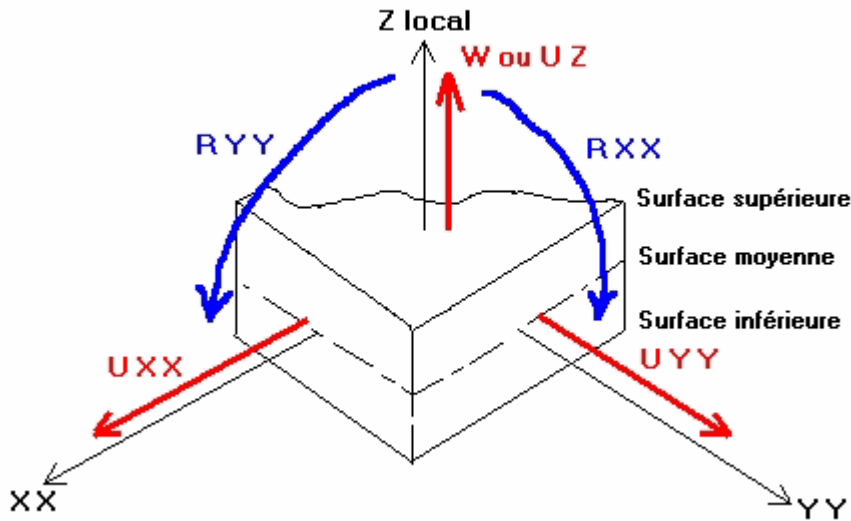


Direction de référence

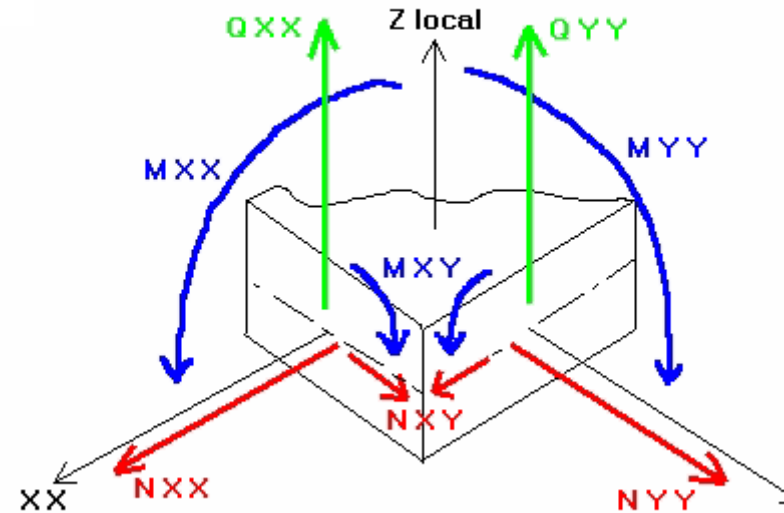
Repère local défini par l'option **Direction**

Les efforts sont donnés par ml, donc le ferrailage se calcule par ml

Conventions de signe des déplacements et rotations



Conventions de signe des efforts

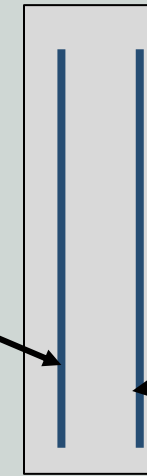
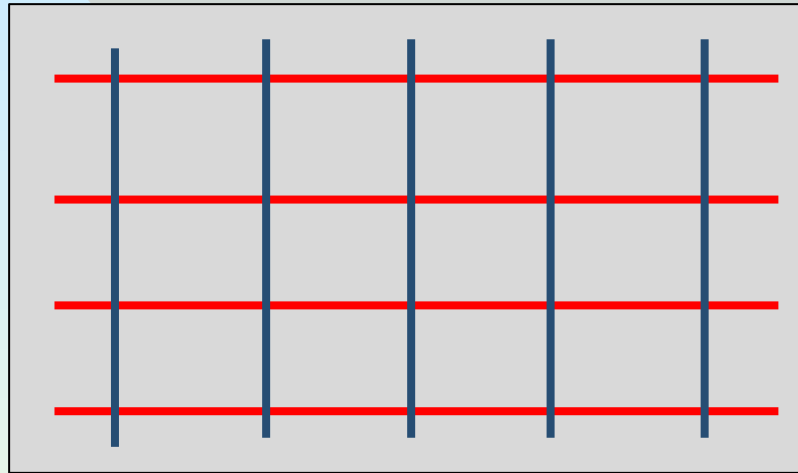
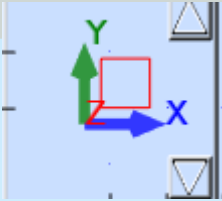


Attention aux axes

2. Détermination des efforts sur la dalle pleine

Convention des signes (ROBOT)

L'inverse des poutres



$M_y -$

$M_y +$

$M_x +$

$M_x -$

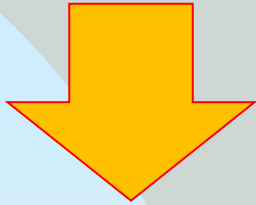
Les moments sont donnés par m_l , donc le ferrailage se calcule par m_l

On choisit une section de longueur 1 m et d'épaisseur 20 cm

Moment négatif : Armature inférieure
Moment positif : Armature supérieure

Aller à EXPERT pour calculer le ferrailage inférieur et supérieur suivant les 02 directions

**Aller vers EXPERT BA pour calculer
le ferrailage de la dalle pleine**



**Calcul du
ferrailage**

**Lancer
EXPERT BA**

3. Ferrailage de la dalle

Le ferrailage de la dalle : **Inférieure et supérieure dans les 02 directions**

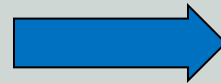
Logiciel disponible (SOCOTEC, EXPERT BA (Robot), etc.)

02 directions

Inférieur

Supérieur

Flexion simple



Tirer les moments ($M_x -$, $M_x +$, $M_y -$ et $M_y +$)

ELU
Accidentelles (08)
 $+E_x + E_y$

On s'intéresse à « $M_x +$ et $M_y +$ », pour armature supérieure et « $M_x -$ et $M_y -$ » pour armature inférieure

Des 02 combinaisons (ELU, ELA), on prend les valeurs recherchées ($M_x -$, $M_x +$, $M_y -$ et $M_y +$)



EXPERT BA



Choix d'armature pour la section de 1 m

3. Ferrailage de la Dalle

**EXPERT
BA**

Calcul en flexion simple

EXPERT BA - Flexion simple

Général | Calcul | Vérification | Expert | Flèche

EXPERT BA
Licence accordée à : , N° : 1

Analyse

Compression simple Prese en compte du flambement

Traction simple

Flexion simple

Flexion composée

Flexion déviée composée

Effort tranchant et torsion

Type de section

Conditions de fissuration : non préjudiciable Application du DTU 14.1 Paramètres

Matériaux

Béton

Classe : C25/30

fc28 : 25,0 MPa

Amatures

Type d'acier : Haute adhérence

fe : 400,0 MPa

Quitter Amatures ... Préférences ... Aide A propos...

Choisir « Flexion simple »

A remplir selon le cas

Une fois rempli, « Général », aller à l'étape « Calcul »

Calcul suivant X et Y

3. Ferrailage de la Dalle

Uniquement ELU et ELA

Suivant
X

Charges (kN/m)

ELU :	$M_{max} = 18,52$	$M_{min} = 0,00$
ELS :	$M_{max} = 0,00$	$M_{min} = 0,00$
ELA :	$M_{max} = 22,58$	$M_{min} = 0,00$

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} = 3,2$ cm² $A_{s2} = 0,0$ cm²

% d'armatures $\rho = 0,18$ %

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum $\rho_{min} = 0,12$ %

% d'armatures maximum $\rho_{max} = N/A$

Section (cm)

b = 100,0 Bloquée

h = 20,0 Bloquée

$d_1 = 2,0$ $d_2 = 2,0$

CALCULER Note

Quitter Armatures ... Préférences ... Aide A propos...

Valeurs
Mx +

A remplir
selon le cas

Valeurs
Mx -

Charges (kN/m)

ELU :	$M_{max} = 12,13$	$M_{min} = 0,00$
ELS :	$M_{max} = 0,00$	$M_{min} = 0,00$
ELA :	$M_{max} = 0,00$	$M_{min} = 0,00$

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} = 2,2$ cm² $A_{s2} = 0,0$ cm²

% d'armatures $\rho = 0,12$ %

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum $\rho_{min} = 0,12$ %

% d'armatures maximum $\rho_{max} = N/A$ Dispositions sismiques

Section (cm)

b = 100,0 Bloquée

h = 20,0 Bloquée

$d_1 = 2,0$ $d_2 = 2,0$

CALCULER Note

Quitter Armatures ... Préférences ... Aide A propos...

Appuyer, une fois
terminé les données

Même chose suivant Y

3. Ferrailage de la Dalle

Uniquement ELU et ELA

Suivant
Y

Charges (kN/m)

ELU :	$M_{max} = 10.69$	$M_{min} = 0.00$
ELS :	$M_{max} = 0.00$	$M_{min} = 0.00$
ELA :	$M_{max} = 8.43$	$M_{min} = 0.00$

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} = 2.2$ cm² $A_{s2} = 0.0$ cm²

% d'armatures $\rho = 0.12\%$

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum	$\rho_{min} = 0.12\%$
% d'armatures maximum	$\rho_{max} = N/A$

Section (cm)

$b = 100.0$ Bloquée

$h = 20.0$ Bloquée

$d_1 = 2.0$ $d_2 = 2.0$

CALCULER Note

Buttons: Quitter, Armatures..., Préférences..., Aide, A propos...

Valeurs
My +

A remplir
selon le cas

Enrobage
d=10% h

Appuyer, une fois
terminé les données

Charges (kN/m)

ELU :	$M_{max} = 0.24$	$M_{min} = 0.00$
ELS :	$M_{max} = 0.00$	$M_{min} = 0.00$
ELA :	$M_{max} = 0.00$	$M_{min} = 0.00$

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} = 2.2$ cm² $A_{s2} = 0.0$ cm²

% d'armatures $\rho = 0.12\%$

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum	$\rho_{min} = 0.12\%$	<input type="checkbox"/> Dispositions sismiques
% d'armatures maximum	$\rho_{max} = N/A$	

Section (cm)

$b = 100.0$ Bloquée

$h = 20.0$ Bloquée

$d_1 = 2.0$ $d_2 = 2.0$

CALCULER Note

Buttons: Quitter, Armatures..., Préférences..., Aide, A propos...

Valeurs
My -

Récapitulatif, Sections calculées, à
comparer avec RPA2024 et BAEL99

3. Ferrailage de la Dalle

BAEL99

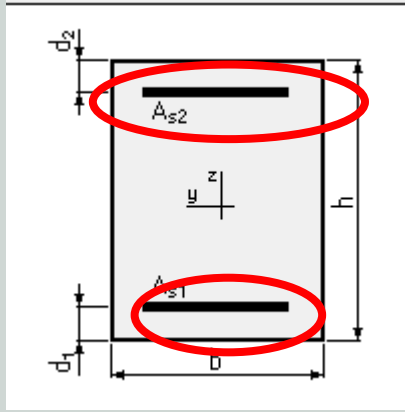
$$A_{min} = 0,23 \frac{f_{t28}}{f_e} b \cdot d$$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28}$$

$$d = 0,9 h$$

Choix des sections

Cas	Sens X		Sens Y		Amin RPA (cm2)	Amin BAEL (cm2)
	As1 (cm2)	As2 (cm2)	As1 (cm2)	As2 (cm2)		
Inférieur	2,2	0,0	2,2	0,0	10,0	1,63
Supérieur	0,0	3,2	0,0	2,2	10,0	1,63



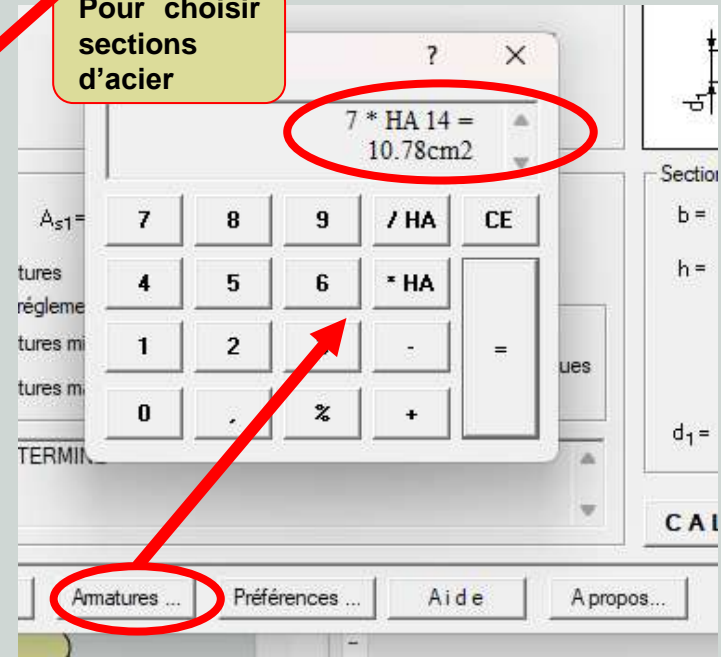
RPA2024

Armatures longitudinales

- HA.
- % minimal**
❖ 0,5 % en toute section = $0,5\% \times 100 \times 20 = 10,0 \text{ cm}^2$
 - % maximal**
❖ 4 % en zone courante = $4\% \times 100 \times 20 = 80 \text{ cm}^2$
 - ❖ 6 % en zone de recouvrement = $6\% \times 100 \times 20 = 120 \text{ cm}^2$
 - ❖ Longueur minimale des recouvrements :
50 φ en zones I, II et III
 - ❖ L'ancrage des armatures longitudinales supérieures et inférieures dans les poteaux de rive et d'angle avec des crochets de 90° (voir figure)
 - ❖ Les cadres du nœud en 2U superposés formant un carré ou rectangle.
 - ❖ Les directions de recouvrement des U doivent être alternées.

A vérifier

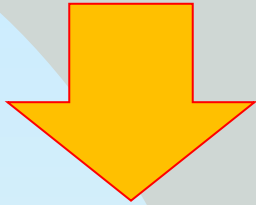
Pour choisir sections d'acier



On choisit :
 Inférieur: 7 HA 14 (e = 15 cm) (**10,78 cm2**)
 Supérieur: 7 HA 14 (e = 15 cm) (**10,78 cm2**)

Dans les 02 sens X et Y

Aller vers ROBOT pour tirer les efforts tranchants et les contraintes de cisaillement



Vérifications

Aller à ROBOT

4. Vérifications

Il faut
(BAEL)

A 5.2.2

Justifier les armatures d'effort tranchant (Oui ou non)

Ajouter des cadres avec les nappes longitudinales de la dalle

Pas d'armatures d'effort tranchant SSI

❖ Bétonnage sans reprise sur toute l'épaisseur de la dalle.

$$❖ \tau_{bu} = \frac{V_u}{b_0 d} \leq \bar{\tau}_{bu} = 0,07 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$$

A 5.2.3

Justifier du béton avec armatures d'effort tranchant

Vérifier béton à l'ELU (A 5.1.211)

Vérifier l'acier à l'ELU (A 5.1.23)

$$❖ \tau_{bu} \leq \tau_{u\text{ limite}} = \min \left(0,2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} ; 5MPa \right) \text{ (Préjudiciable)}$$

$$❖ \tau_{bu} \leq \tau_{u\text{ limite}} = \min \left(0,2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} ; 5MPa \right) \text{ (Très Préjudiciable)}$$

$$❖ \frac{A_t}{b_0 \cdot S_t} \geq \frac{\gamma_s (\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj} K)}{0,9 f_e (\cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{\gamma_s (\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj})}{0,9 f_e} \text{ (pour } \alpha=90^\circ, \text{ armature droite) (avec } f_{tj} \text{ limite} = 3,3 \text{ Mpa)}$$

Avec $\tau_{u\text{ limite}}$ à multiplier par

✓ $10h/3$ si $0,15 \leq h \leq 0,3$

✓ 1 si $h \geq 0,3$

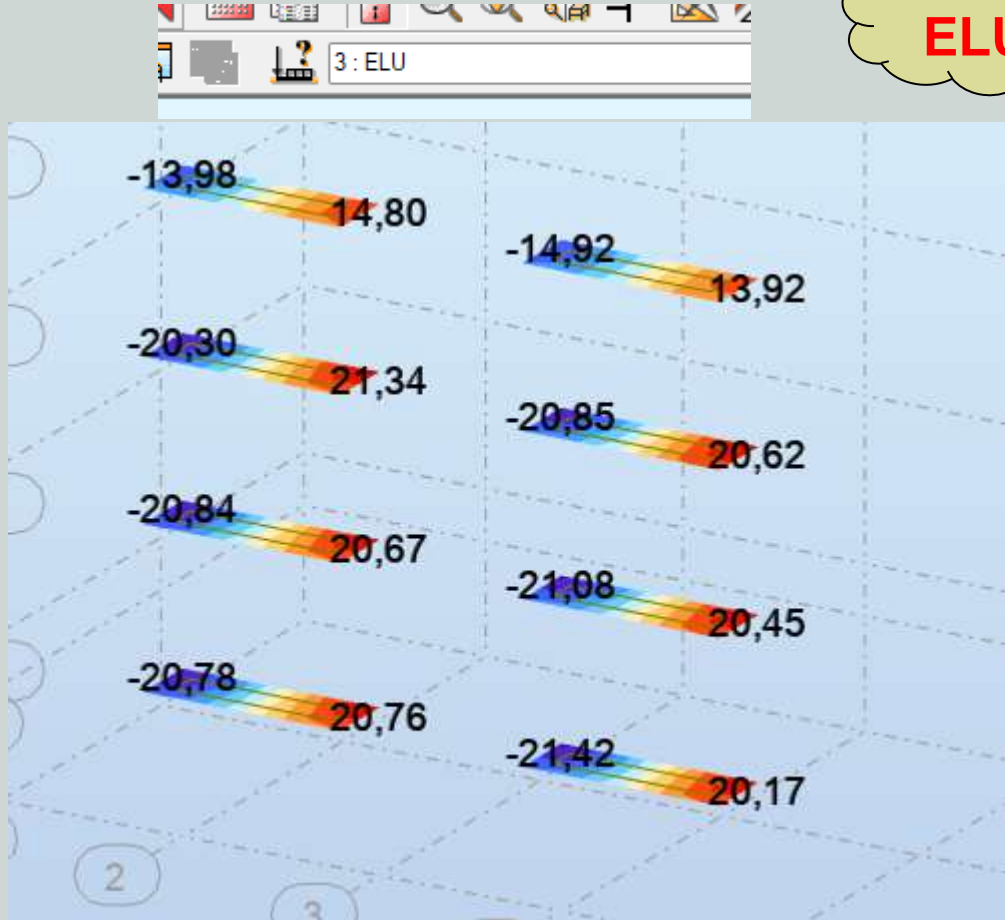
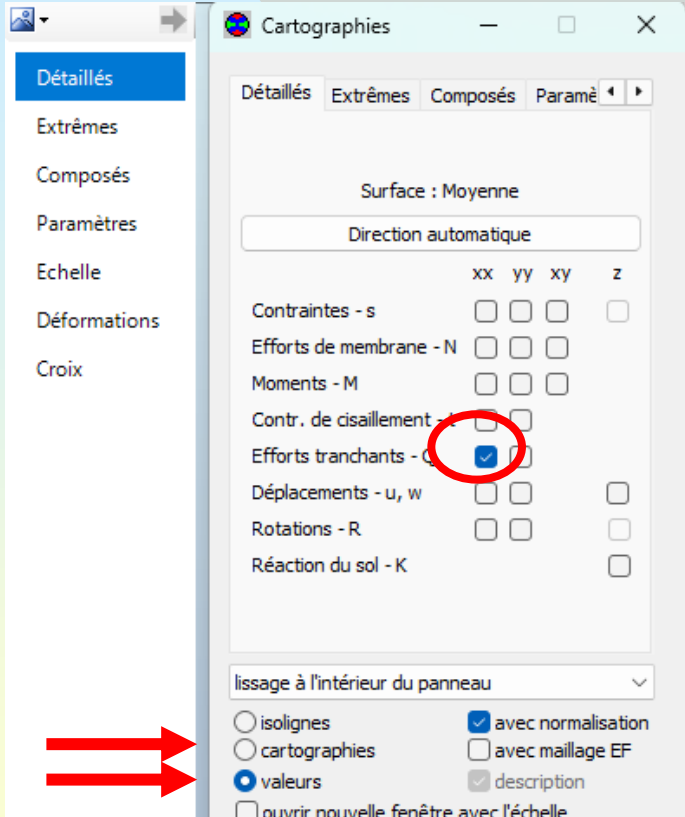
On tire de ROBOT les efforts tranchants Tx et Ty et on prend le maximum

Justification des armatures d'effort tranchant

Après calcul (ROBOT, on sélectionne la dalle pleine et on tire les différentes sollicitations correspondantes (Q_{xx} , et Q_{yy}) (**Résultats/cartographie panneaux**)

Sélectionner uniquement les dalles concernées

Q_{xx}
ELU



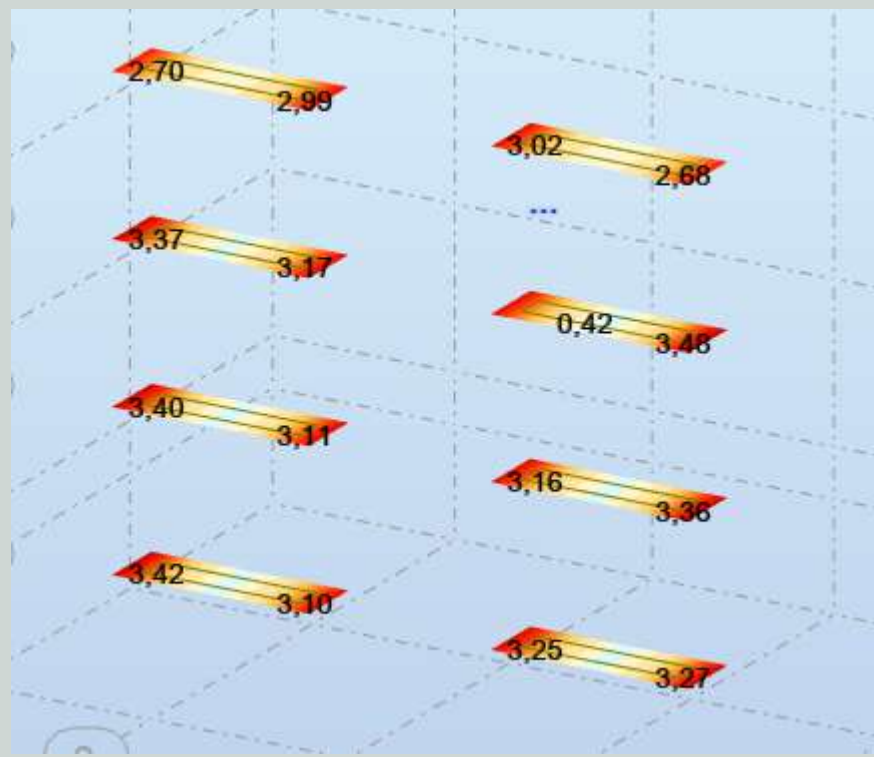
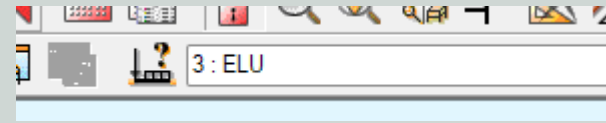
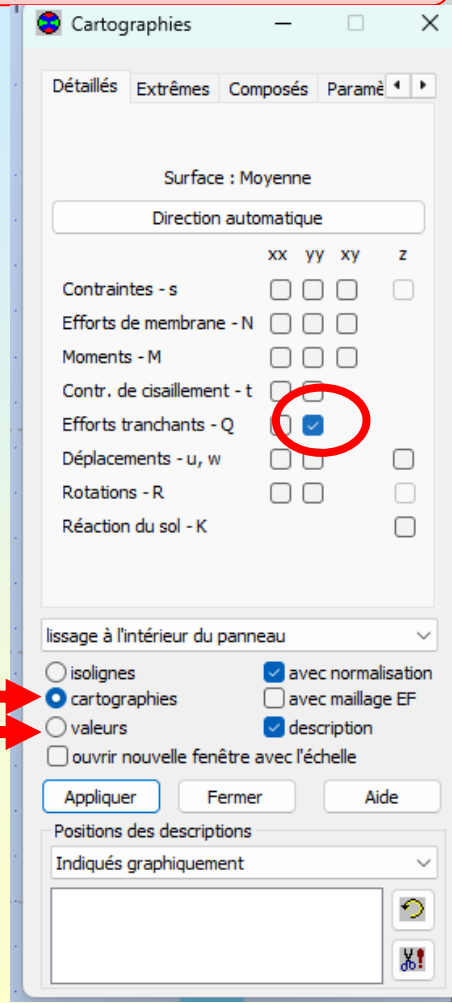
Même chose suivant Y

Justification des armatures d'effort tranchant

Après calcul (ROBOT, on sélectionne la dalle pleine et on tire les différentes sollicitations correspondantes (Qxx, et Qyy) (**Résultats/cartographie panneaux**)

Sélectionner uniquement les dalles concernées

Qyy
ELU



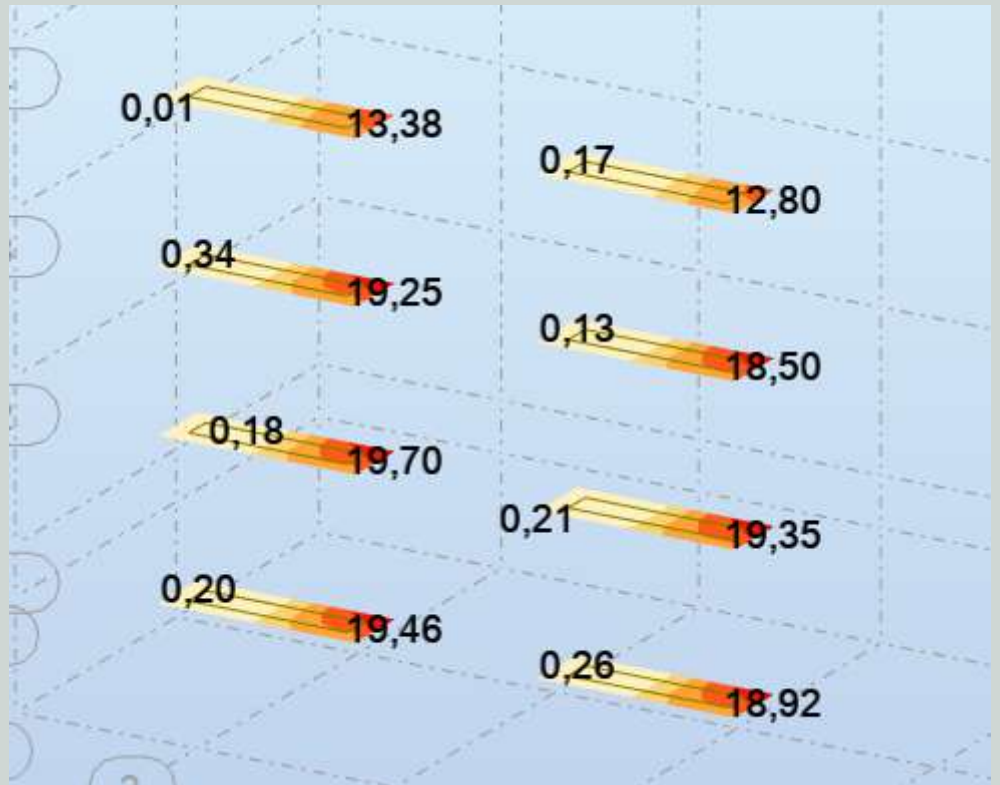
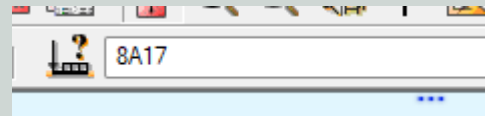
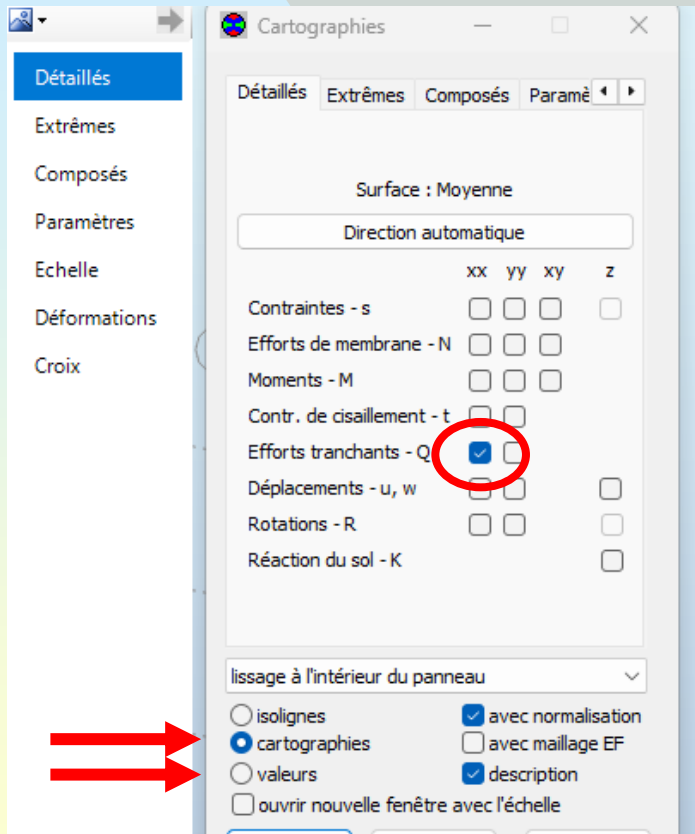
Même chose à l'ELA

Justification des armatures d'effort tranchant

Après calcul (ROBOT, on sélectionne la dalle pleine et on tire les différentes sollicitations correspondantes (Qxx, et Qyy) (**Résultats/cartographie panneaux**)

Sélectionner uniquement les dalles concernées

Qxx
ELA



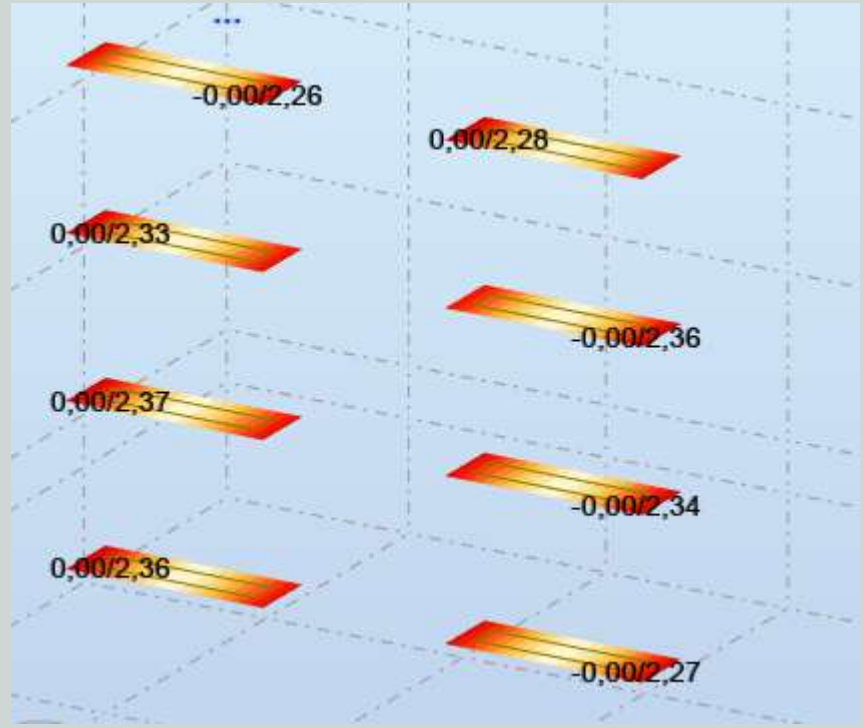
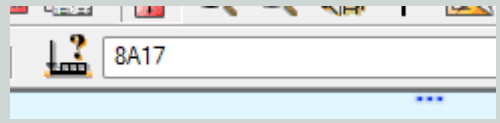
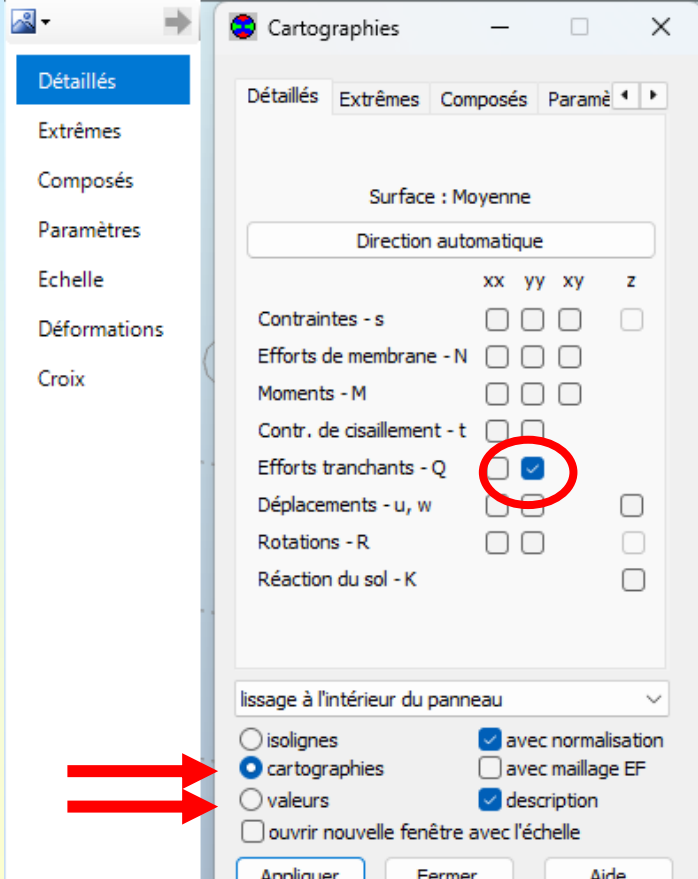
Même chose suivant Y

Justification des armatures d'effort tranchant

Après calcul (ROBOT, on sélectionne la dalle pleine et on tire les différentes sollicitations correspondantes (Qxx, et Qyy) (Résultats/cartographie panneaux)

Sélectionner uniquement les dalles concernées

Qyy
ELA



On vérifie avec les valeurs de Qxx

	ELU		ELA	
Etage	Qxx	Qyy	Qxx	Qyy
1	-21,42	3,42	19,46	2,36
2	-21,08	3,40	19,70	2,37
3	-21,34	3,48	19,25	2,36
4	-14,92	3,02	13,38	2,28

On fait les vérifications uniquement avec les valeurs de Qxx en ELU (la plus défavorable)

Défavorable

$Q_{xx} = 21,42 \text{ KN/ml}$

On vérifie avec Qxx

4. Vérifications

Vérification avec Q_{xx} uniquement ($Q_{xx} > Q_{yy}$)

$$\tau_{bu} = \frac{V_u}{b_0 d} \leq \bar{\tau}_{bu} = 0,07 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$$

$$\tau_{bu} = \frac{V_u}{b_0 d} = \frac{21420}{1000 \times 0,9 \times 200} = 0,119$$

$$\bar{\tau}_{bu} = 0,07 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 0,07 \frac{25}{1,5} = 1,167$$

On peut la tirer de
ROBOT

$$\tau_{xx} = 0,16$$

$$\tau_{bu} \leq \bar{\tau}_{bu}$$

Condition vérifiée

Dans le cas où ce n'est pas vérifié (i.e $\tau_{bu} > \bar{\tau}_{bu}$) ?

4. Vérifications

Dans le cas où ce n'est pas vérifié (i.e $\tau_{bu} > \bar{\tau}_{bu}$) ? (Ce n'est pas notre cas)

Soit on augmente la section du béton (épaisseur de la dalle)

Soit on ajoute des armatures transversales ou armatures d'effort tranchant

Dans ce cas, il faut justifier le béton avec armatures d'effort tranchant

Vérifier béton à l'ELU (A 5.1.211)

$$\diamond \tau_{bu} \leq \tau_{u\text{ limite}} = \min\left(0,2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}; 5\text{MPa}\right)$$

(préjudiciable)

Avec $\tau_{u\text{ limite}}$ à multiplier par

✓ $10h/3$ si $0,15 \leq h \leq 0,3$

✓ 1 si $h \geq 0,3$

Vérifier l'acier à l'ELU (A 5.1.23)

$$\diamond \frac{A_t}{b_0 \cdot S_t} \geq \frac{\gamma_s(\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj} \text{ K})}{0,9 f_e (\cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{\gamma_s(\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj})}{0,9 f_e}$$

(pour $\alpha=90^\circ$, armature droite) (avec f_{tj} limite = 3,3 Mpa)

02

Vérifications

Faire les 02 vérifications (juste en cas où $(\tau_{bu} > \bar{\tau}_{bu})$)

4. Vérifications

Si on choisit

D'ajouter des armatures transversales ou armatures d'effort tranchant

On justifie

Vérifier béton à l'ELU (A 5.1.211)

$$\diamond \tau_{bu} \leq \tau_{u\text{limite}} = \min\left(0,2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}; 5MPa\right)$$

(préjudiciable)

Avec $\tau_{u\text{limite}}$ à multiplier par

$$\checkmark 10h/3 \quad \text{si } 0,15 \leq h \leq 0,3$$

$$\checkmark 1 \quad \text{si } h \geq 0,3$$

Vérification 1 :
Etat limite ultime
du béton

$h = 0,20$ d'où à multiplier par $10h/3 = 0,67$

$$\tau_{u\text{limite}} = 0,67 \times \min\left(0,2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}; 5MPa\right)$$

$$= 0,67 \times \min\left(0,2 \frac{25}{1,5}; 5MPa\right) = 2,24 MPa$$

Faire les 02 vérifications (juste en cas où $(\tau_{bu} > \bar{\tau}_{bu})$)

4. Vérifications

On justifie

Vérification 2 :
Etat limite ultime
du béton

Vérifier l'acier à l'ELU (A 5.1.23)

$$\diamond \frac{A_t}{b_0 \cdot S_t} \geq \frac{\gamma_s(\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj} K)}{0,9 f_e (\cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{\gamma_s(\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj})}{0,9 f_e}$$

(pour $\alpha=90^\circ$, armature droite) (avec f_{tj} limite = 3,3 Mpa)

$$\frac{A_t}{b_0 \cdot S_t} \geq \frac{\gamma_s(\tau_u - 0,3 \cdot f_{tj})}{0,9 f_e}$$

Avec $b_0 = 100 \text{ cm}$

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 0,17 \text{ cm}$$

On fixe, A_t et on tire S_t

Exemple, on choisit un étrier
à 02 brins de HA 12. Soit $A_t =$
 $2,26 \text{ cm}^2$

$$S_t \leq 13,29 \text{ cm}$$

On prend $S_t = 12 \text{ cm}$

Soit

On choisit des étriers à 02
brins de HA 12. espacés de 12
cm

Fin du ferrailage de la dalle

Merci. Fin du Chapitre 11

www.abdellatif-megnounif.com/?action=cours



Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

Prochain Cours

Chap. 12

**Ferraillage – Ferraillage de la Semelle
Isolée**