

Dynamique des Structures

Abdellatif MEGNOUNIF

E-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

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

Chapitre 12

Ferraillage – Ferraillage de la Semelle Isolée

Cours 12 Samedi 14.02.2026



1. Introduction

- ✓ L'objectif de ce chapitre est de calculer les sections d'acier nécessaires pour les semelles isolées à partir de sollicitations déterminées par une analyse numérique, par ROBOT.
- ✓ On prendra comme exemple, une semelle quelconque. La généralisation aux autres semelles est directe.
- ✓ Le calcul sera basé sur les règles de BAEL en utilisant les formules nécessaires de calcul d'une semelle isolée...
- ✓ Les sections déterminées doivent aussi vérifier les conditions des RPA2024,
- ✓ Le calcul comprend la détermination des armatures de la semelle dans les 02 sens de flexion.
- ✓ La semelle est supposée ancrée dans un sol connu (rapport sol laboratoire) et à une hauteur d'ancrage connue (Rapport sol laboratoire).
- ✓ La finalité de cette partie est la présentation du dossier détaillé d'exécution.

Finalité : Plans d'exécution BA



2. Rappel des prescriptions des RPA2024

C'est le ferrailage de la semelle isolée avec sa longrine

On choisit le poteau le plus sollicité et on calcule sa semelle isolée

02 Possibilités

1

Longrines posées directement sur la semelle



Flexion composée

N , M_y et M_z

ELU; ELS; ELA

BAEL/ROBOT



Calcul des sections des armatures

2

Longrines posées à plus de 1,20 m



Compression

N

ELU; ELS; ELA

BAEL/ROBOT



Calcul des sections des armatures

A comparer avec

Exigences RPA

02 Possibilités

1

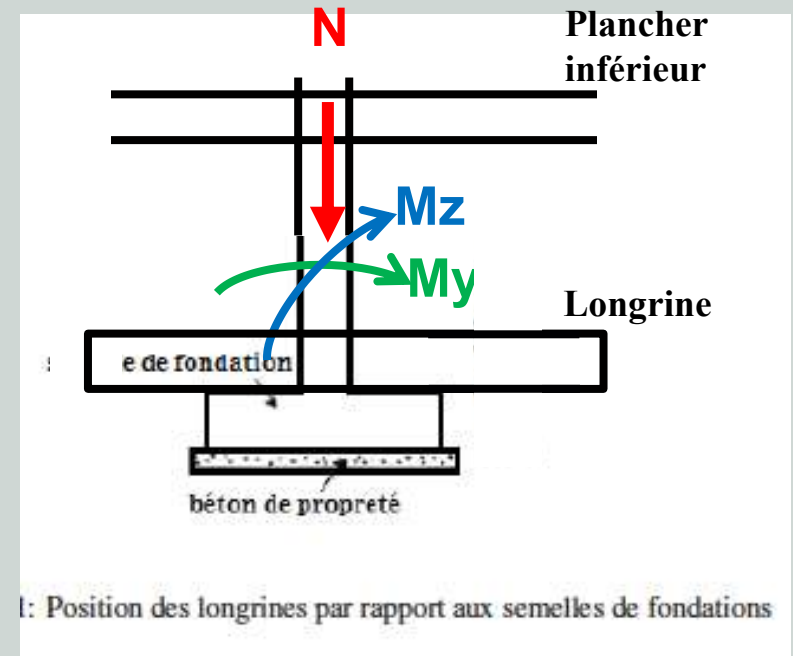
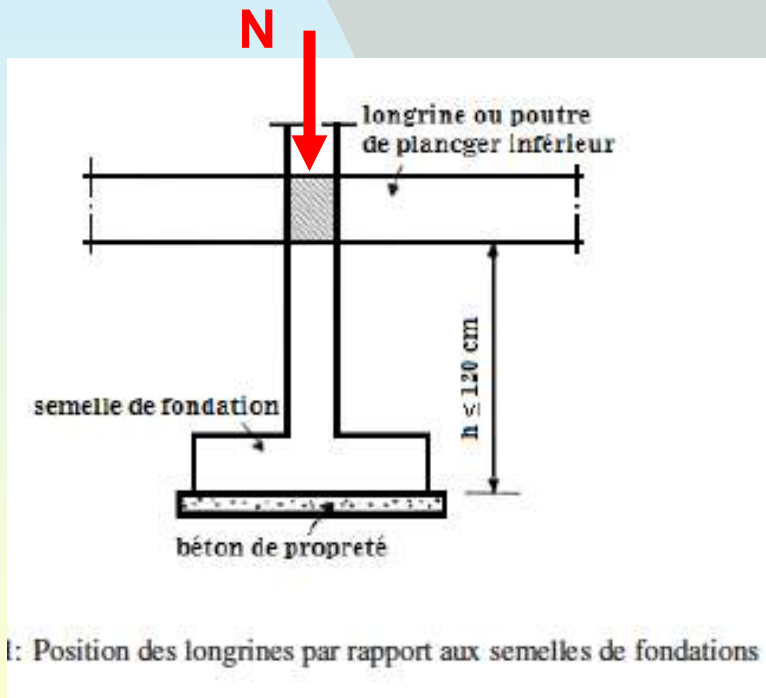
Longrines à plus de 1,20 m de la semelle

Compression

2

Longrines posées directement sur la semelle

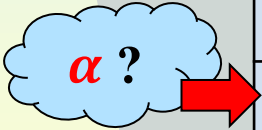
Flexion composée



2. Rappel des prescriptions des RPA2024

i. Solidarisation des points d'appui

- ✓ Longrines formant un réseau sur 02 directions.
- ✓ Dimensions minimales:
 - 25 cm x 30 cm sites de catégorie S2 et S3
 - 30 cm x 30 cm sites de catégorie S4
- ✓ Calculées pour résister à la traction : $F = \pm \alpha (A.I.S).N) \geq 20 \text{ KN}$ (N: valeur moyenne des charges verticales et « α » coefficient fonction du site.
- ✓ Fer Min = 0,6 % de la section avec des esp des cadres < min(20cm; $15\Phi_l$)

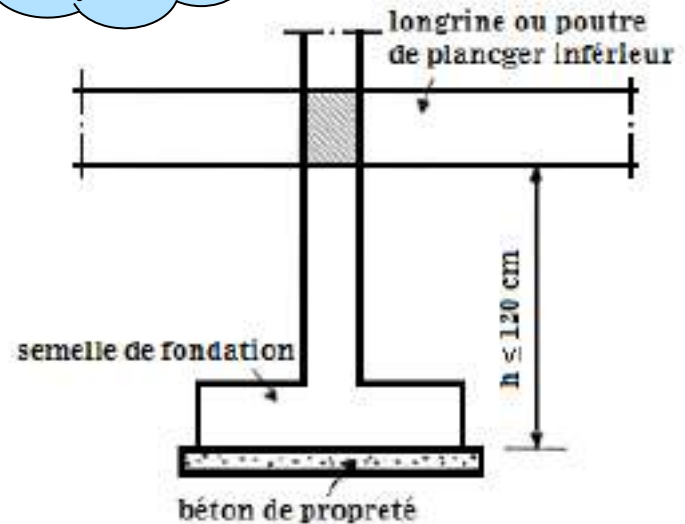
2024	Site	Toutes zones
	S1	-
	S2	0,3
	S3	0,4
	S4	0,6

i. Solidarisation des points d'appui

- ✓ Solidarisation des longrines est **obligatoire** sauf dans le cas de sol rocheux sain, non fracturé (S1) et aussi site S2 en zone I.
- ✓ Pour les structures légères (type hangar), les longrines peuvent être remplacées par un **dallage**
- ✓ Pour les structures lourdes (bâtiments élevés) avec plusieurs blocs, séparés par des joints, il est recommandé de **supprimer les joints de fondations** si le système de fondation et la qualité du sol sont les mêmes partout.
- ✓ A moins de 1,20 m, les poutres du plancher inférieure peuvent être considérées comme des longrines.

Longrine

?



1: Position des longrines par rapport aux semelles de fondations

Voile
périphérique
?

ii. Voile périphérique

- ✓ Ossatures à poteaux courts (**vides sanitaires**) doivent comporter un **voile périphérique** continu entre le niveau des fondations et le niveau de base.
- ✓ Facultatif en zones I, II et III pour les constructions individuelles ou hauteur ≤ 10 m.
- ✓ En cas de joint de rupture, le voile doit ceinturer chaque bloc.
- ✓ Voile périphérique:
 - Epaisseur ≥ 15 cm
 - 02 nappes d'armature: % min 0,10 % dans les 02 sens (hor et vert).
- ✓ Ouvertures d'effet négligeable sur la rigidité du voile

Vérification
des
fondations

Combinaisons
d'action

Fondations d'éléments
verticaux individuels
(voiles/poteaux)

$$G + \psi Q \pm \frac{R}{Q_F} E_x$$

$$G + \psi Q \pm \frac{R}{Q_F} E_y$$

Fondations communes
(Longrines/semelles
filantes, radiers...)

$$G + \psi Q \pm 1,4 E_x$$

$$G + \psi Q \pm 1,4 E_y$$

G : Charges permanentes

Q : Charges d'exploitation non pondérées

ψ : Coefficient d'accompagnement fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation (Voir poids total MSE).

Capacité portante

✓ **Fondations superficielles:**

Tenir Compte de l'application à la résistance limite du sol « Q_l » d'un coefficient de sécurité de 2,0

✓ **Fondations profondes:**

Compte tenu de l'application des coefficients de sécurité globaux « γ_R » sur la charge limite Q_l dépendant du mode de fonctionnement du pieu et de la méthode de détermination de Q_l .

$$Q_l = Q_{pl} + Q'_{sl}$$

Q_{pl} : Résistance limite en pointe

Q'_{sl} : Résistance limite en frottement latéral

Type pieu	Essai de chargement statique	Essai en place	Essai de laboratoire
Compression	1,10	1,25	2,50
Traction	1,50	1,50	2,0

Valeurs des coefficients de sécurité globaux « γ_R »



vi. Renversement/Glisement

Stabilité au renversement (Chap 5)

Stabilité au Glissement (Chap 10)

Se réfère à la stabilité d'ensemble du bâtiment ou de l'ouvrage, soumis à des effets de renversement et/ou de glissement dus aux sollicitations résultant des combinaisons d'actions.

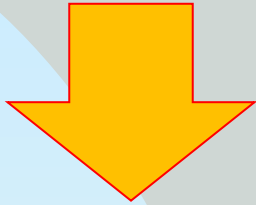
Moment de renversement (fondations) est la somme des forces latérales (niveau) multipliées par la hauteur de chacune d'entre elles, depuis le niveau de fondation.

Moment stabilisant à partir des charges verticales considérées dans le calcul de la force sismique latérale + poids des fondations et du sol au dessus.

Stabilité au renversement :
Coef Sécurité au min. **1.3**

Stabilité au glissement : Coef
Sécurité au min. **1.25**

**Aller vers ROBOT pour tirer N_{max}
du poteau le plus sollicité**



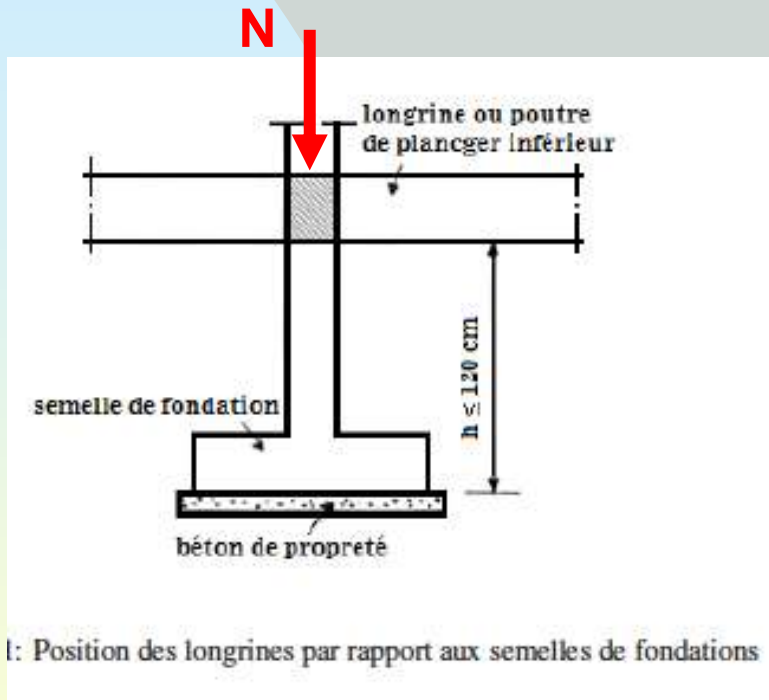
**Calcul du
ferraillage de la
semelle isolée**

**Aller vers ROBOT, tirer
 N_{max} avec M_y et M_z
correspondants (pas
forcément les max) en
ELU, ELS et ELA**

3. Efforts sur semelles

Compression

Exemple Cas de la compression uniquement (selon Rapport sol laboratoire)



Semelle ancrée à 1,50 m et longrine sur la surface

Contrainte du sol
 $\sigma_{sol} = 2 \text{ bars}$

$\gamma_{sol} = 18 \text{ KN/m}^3$

Site : S2

Il faut introduire dans ROBOT les nouvelles combinaisons des fondations des éléments individuels

Combinaisons
d'action

Fondations d'éléments
verticaux individuels
(voiles/poteaux)

Avec :

$$R=5,5$$

$$Q_F=1,1$$

$$G + \psi Q \pm \frac{R}{Q_F} E_x$$

$$G + \psi Q \pm \frac{R}{Q_F} E_y$$

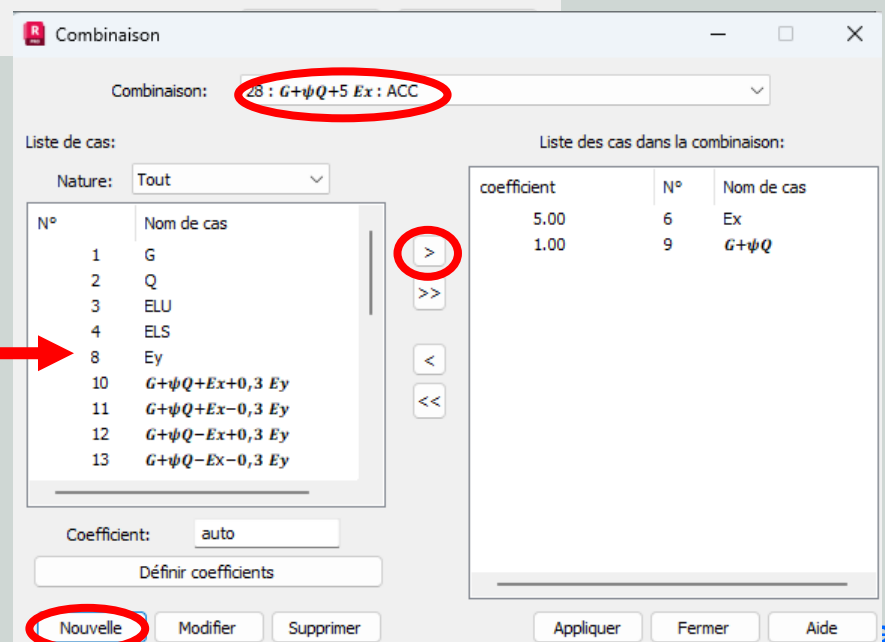
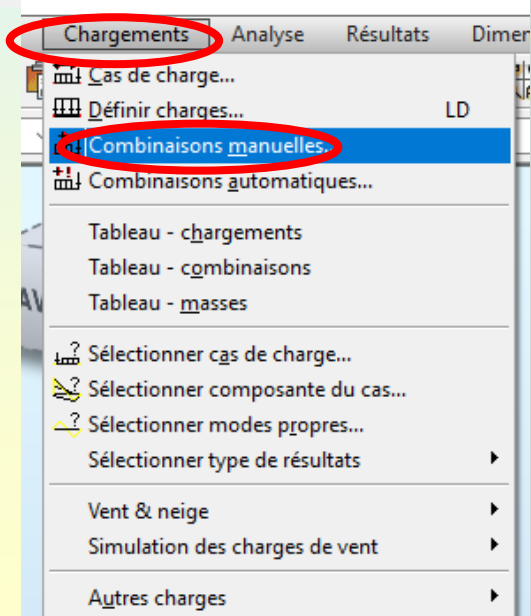
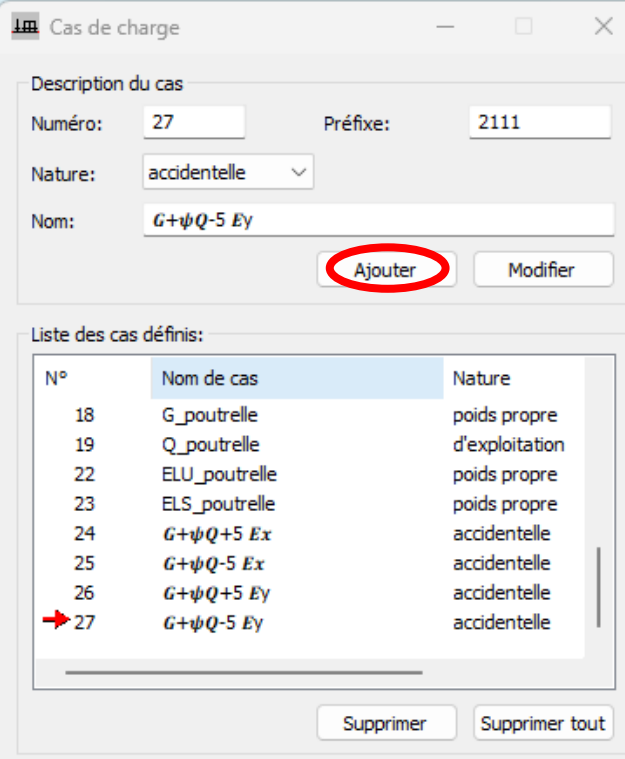
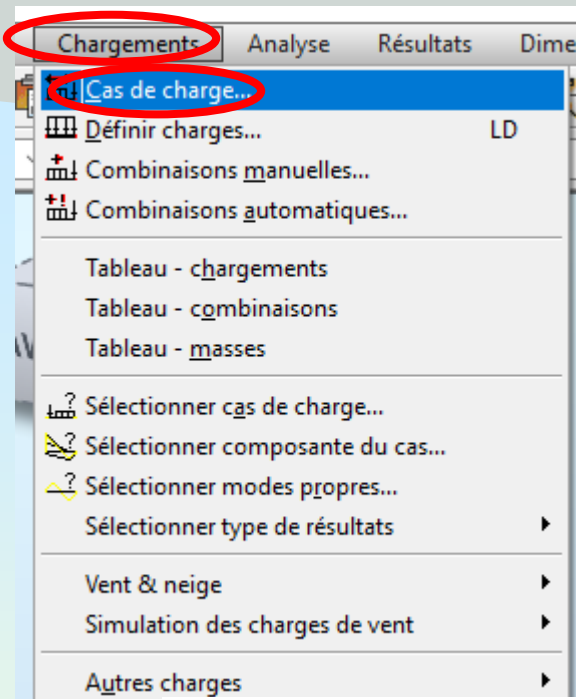
$$G + \psi Q + \frac{R}{Q_F} E_x$$

$$G + \psi Q - \frac{R}{Q_F} E_x$$

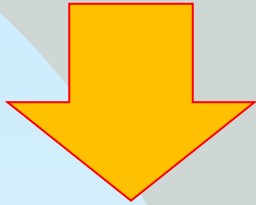
$$G + \psi Q + \frac{R}{Q_F} E_y$$

$$G + \psi Q - \frac{R}{Q_F} E_y$$

3. Efforts sur semelles



Si on veut ferrailer un groupe de poteaux de la même manière



Cas d'un groupe de poteaux

On tire les sollicitations maximales de N , M_y et M_z selon les cas

Poteau le plus sollicité (parmi un groupe de poteaux de mêmes caractéristiques)

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

Ou bien en utilisant les méthodes analytiques (Bielles, des moments et des consoles)

Flexion composée

Efforts et moments (N (F_x), M_y et M_z) (par filtre)

{ELS

Vérifications

ELU
Accidentelles (04

Ferrailage

On s'intéresse à :

✓ $N_{\max}$; $M_{y\max}$; $M_{z\max}$

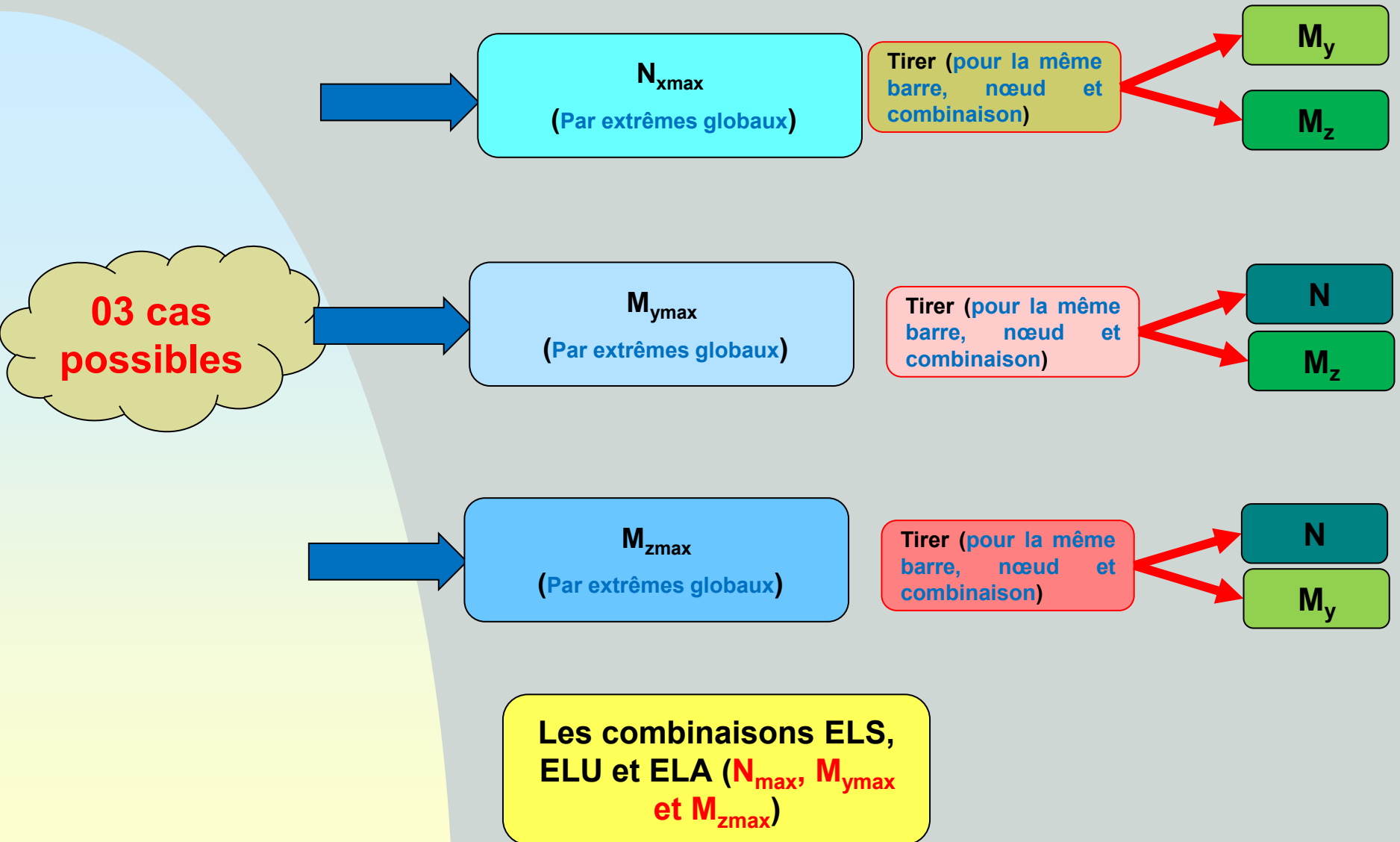
Des 02 combinaisons (ELU, ELA), on prend les valeurs recherchées ($N_{\max}$, $M_{y\max}$ et $M_{z\max}$)

EXPERT BA
Analytiques

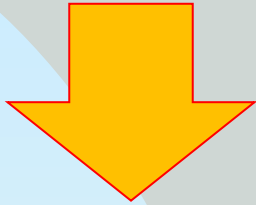
Choix d'armature pour la semelle

On tire alors seules les sollicitations des poteaux (F_x , M_y et M_z)

3. Efforts sur semelles



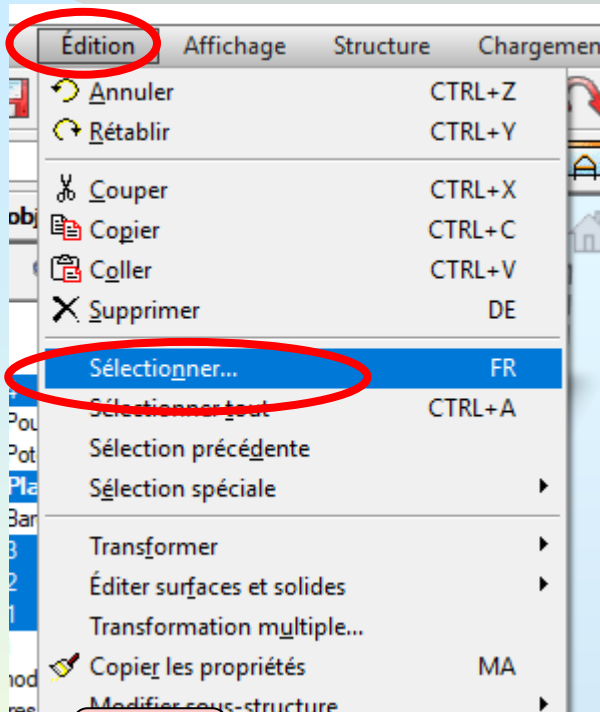
On montre ici le cas uniquement de $N_{\max}$, les autres cas ($M_{\max}$ et $Mz_{\max}$) sont similaires



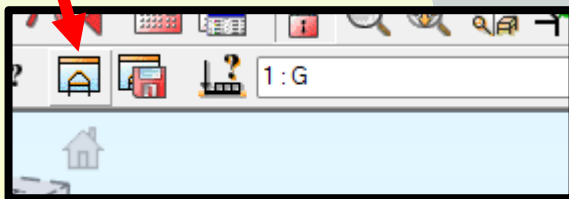
**Exemple : le cas
de $N_{\max}$**

ROBOT

A partir de ROBOT?



Cliquer



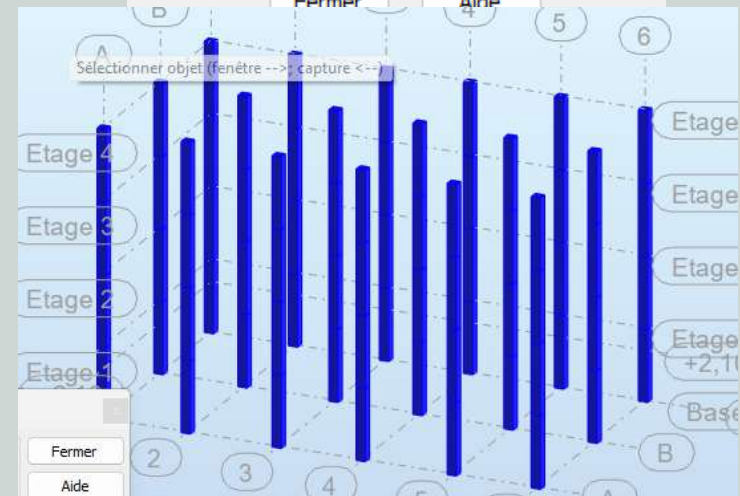
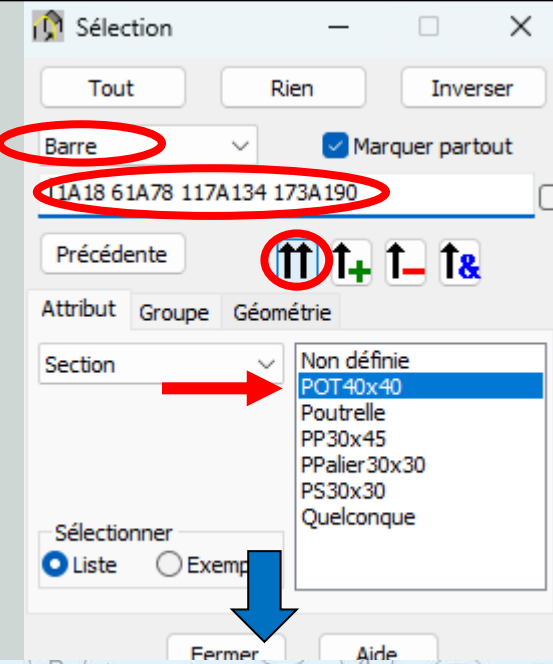
On tire alors seules les sollicitations des poteaux

Après calcul (ROBOT, on sélectionne les poteaux et on tire les différentes sollicitations correspondantes(**Edition/Sélection spéciale/Barres seules**)

✓ Sélectionner tous les poteaux



Choisir

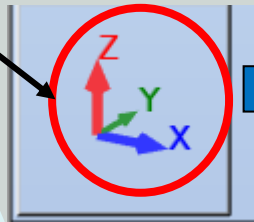


3. Efforts sur semelles

Sélectionner la vue 3D et vérifier le repère local des poteaux par rapport au repère global

Attention

Repère 2D global

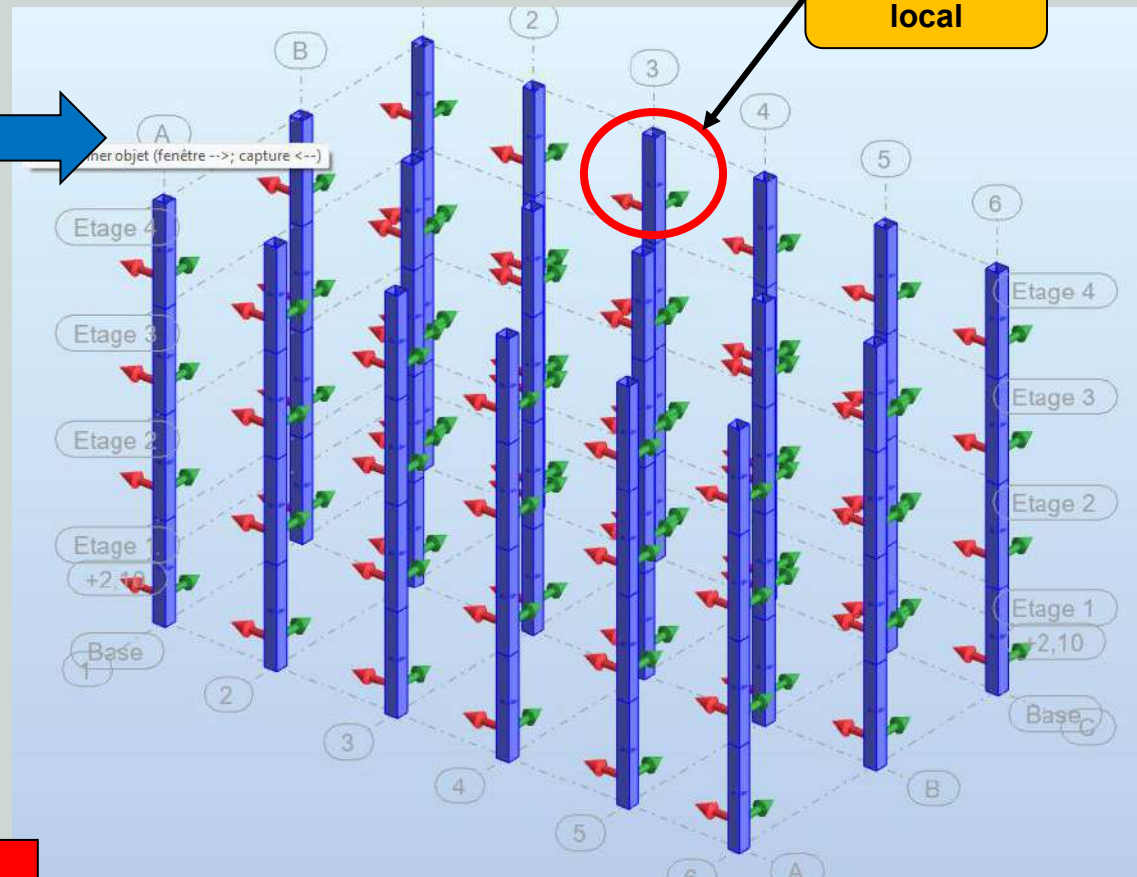


Les réactions des poteaux sont exprimées dans le repère global alors que les efforts dans les poteaux sont exprimés dans le repère local

On tire alors :
 $N = F_z$
 M_x et M_y

On tire alors les réactions (F_z , M_x et M_y) du poteau le plus sollicité

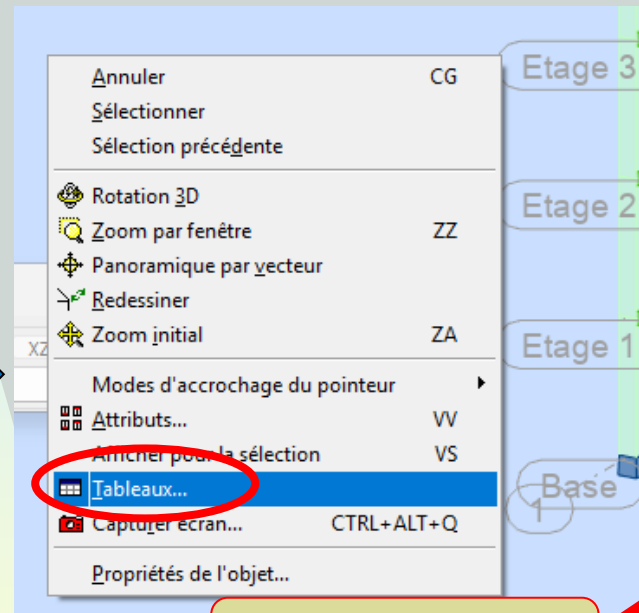
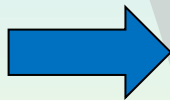
Repère 2D local



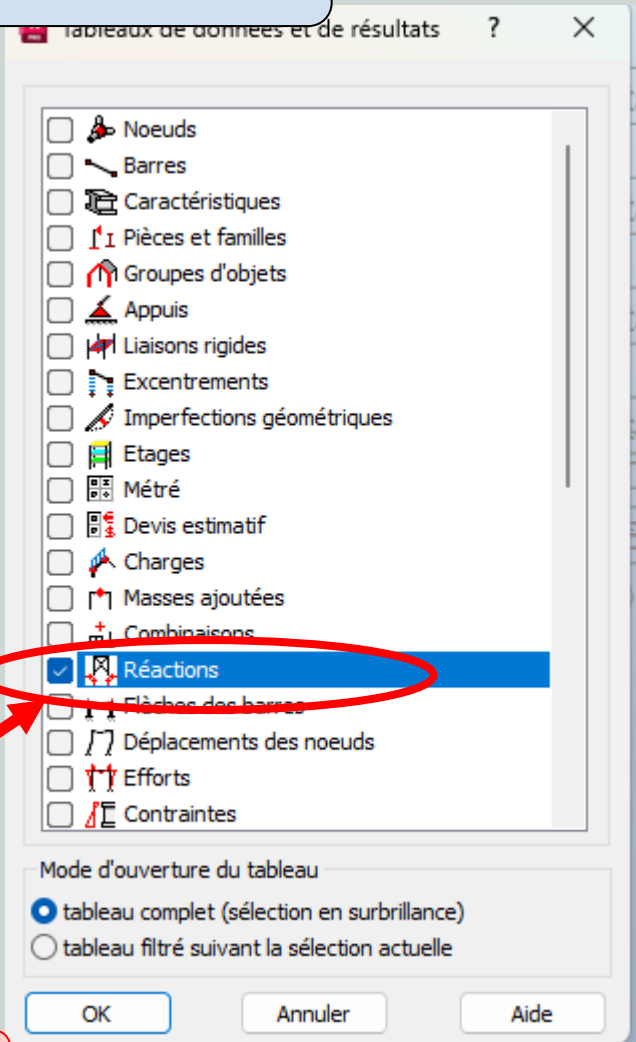
3. Efforts sur semelles

Après calcul, on peut déterminer les réactions (N, My et Mz) (**Résultats/Efforts**)

Double cliquer
sur
l'écran
principal



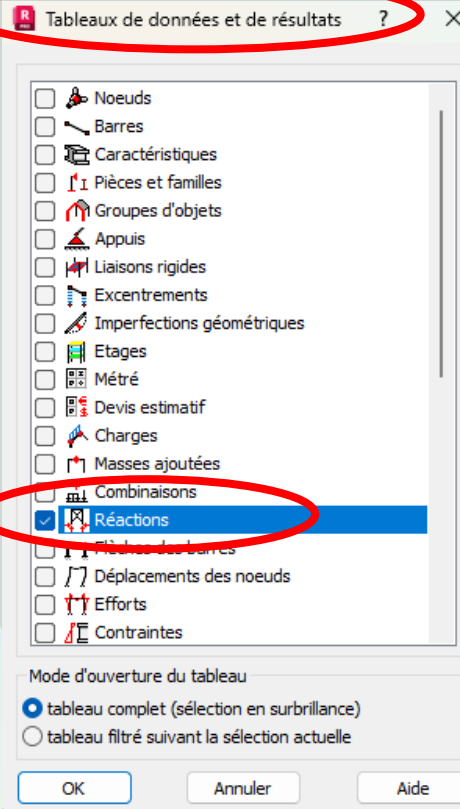
Choisir (en cochant)
Réactions



On veut sortir les réactions Fz, Mx et My
(due ELU, ELS et ELA)

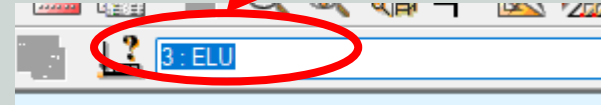
3. Efforts sur semelles

Efforts Fz
ELU

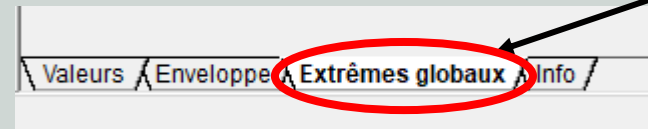


Choisir le cas de charge
: **ELU**

ELU



Choisir
« Extrêmes
globaux »



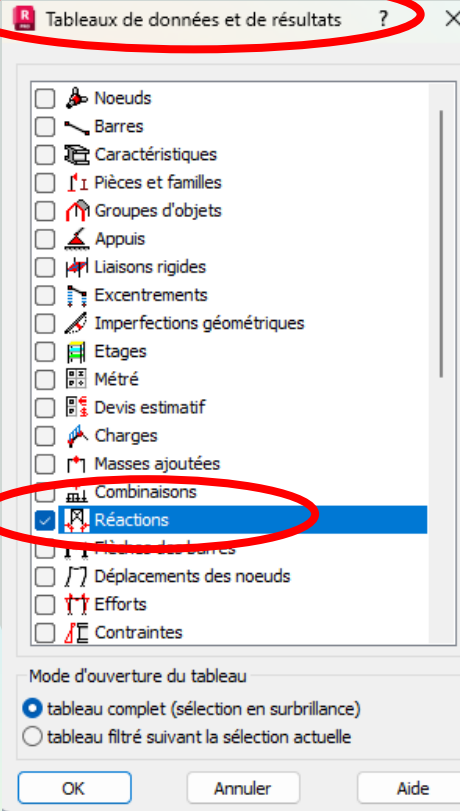
Choisir (en cochant)
Réactions

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	8,72	21,43	975,28	5,81	7,82	8,23
Noeud	9	11	26	34	426	426
Cas	3 (C)	3 (C)	3 (C)	3 (C)	3 (C)	3 (C)
MIN	-13,20	-35,51	33,85	-22,75	-6,03	-6,12
Noeud	426	426	427	11	427	427
Cas	3 (C)	3 (C)	3 (C)	3 (C)		

Prendre Fzmax et
Mx et My
correspondants

3. Efforts sur semelles

**Efforts Fz
ELS**

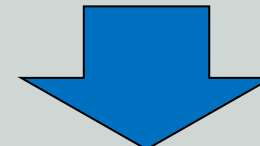
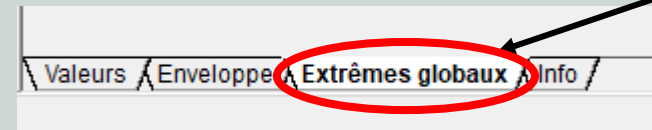


Choisir le cas de charge
: **ELS**

**Meme
chose
ELS**



Choisir
« Extrêmes
globaux »



	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	6,24	15,39	710,05	4,33	5,58	5,88
Noeud	9	11	21	34	426	426
Cas	4 (C)	4 (C)	4 (C)	4 (C)	4 (C)	4 (C)
MIN	-9,44	-25,36	24,10	-16,32	-4,30	-4,36
Noeud	426	426	427	11	427	427
Cas	4 (C)	4 (C)	4 (C)	4 (C)		

**Prendre Fzmax et
Mx et My
correspondants**

3. Efforts sur semelles

Efforts Fz
ELA

Tableaux de données et de résultats ?

24A31

Choisir le cas de charge
: **ELA (28 A 31)**

Meme
chose
ELA

☐ Noeuds
☐ Barres
☐ Caractéristiques
☐ Pièces et familles
☐ Groupes d'objets
☐ Appuis
☐ Liaisons rigides
☐ Excentrement
☐ Imperfections géométriques
☐ Etages
☐ Métré
☐ Devis estimatif
☐ Charges
☐ Masses ajoutées
☐ Combinaisons
☒ **Réactions**
☐ Réactions des barres
☐ Déplacements des noeuds
☐ Efforts
☐ Contraintes

Mode d'ouverture du tableau
☒ tableau complet (sélection en surbrillance)
☐ tableau filtré suivant la sélection actuelle

OK Annuler Aide

3: ELU
 4: ELS
 5: Modale
 6: Ex
 8: Ey
 9: $G+\psi Q$
 10: $G+\psi Q+Ex+0,3 Ey$
 11: $G+\psi Q+Ex-0,3 Ey$
 12: $G+\psi Q-Ex+0,3 Ey$
 13: $G+\psi Q-Ex-0,3 Ey$
 14: $G+\psi Q+0,3 Ex+Ey$
 15: $G+\psi Q+0,3 Ex-Ey$
 16: $G+\psi Q-0,3 Ex+Ey$
 17: $G+\psi Q-0,3 Ex-Ey$
 18: G_poutrelle
 19: Q_poutrelle
 22: ELU_poutrelle
 23: ELS_poutrelle
 24: $G+\psi Q+Ex$
 25: $G+\psi Q-Ex$
 26: $G+\psi Q+0,3 Ey$
 27: $G+\psi Q-0,3 Ey$
 28: $G+\psi Q+5 Ex$
 29: $G+\psi Q-5 Ex$
 30: $G+\psi Q+5 Ey$
 31: $G+\psi Q-5 Ey$
 Cas simplifiés
 Combinaisons
 24A31

Choisir
« Extrêmes
globaux »

Valeurs / Enveloppe / **Extrêmes globaux** / Info

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	136,89	411,30	884,27	212,03	174,89	20,23
Noeud	426	426	26	9	36	426
Cas	28 (C) (CQC)	28 (C) (CQC)	28 (C) (CQC)	30 (C) (CQC)	28 (C) (CQC)	30 (C) (CQC)
MIN	-150,92	-448,52	-366,16	-232,92	-174,28	-20,29
Noeud	426	426	426	9	42	427
Cas	29 (C) (CQC)	29 (C) (CQC)	29 (C) (CQC)	31 (C) (CQC)	29 (C) (CQC)	31 (C) (CQC)

Prendre Fzmax et
Mxmax et Mymax

On tire alors seules les sollicitations
du poteau choisi

3. Efforts sur semelles

On récapitule les efforts tirés de ROBOT

Exemple:
01 seul cas
(N_{max} ,
 $M_{y_{max}}$ et
 $M_{z_{max}}$)

	REACTIONS		
Cas	N (KN)	M_y (KN.m)	M_z (KN.m)
ELU	975,28	5,81	7,82
ELS	710,05	4,33	5,58
ELA	884,27	212,03	174,89

Autres
possibilités

On refait la même chose pour $M_{x_{max}}$ et $M_{y_{max}}$, en considérant les nœuds à l'encastrement ou bien les poteaux du premier niveau.

On travaille avec les extrêmes globaux des efforts au lieu des réactions

Voir
Chapitre 08 :
Ferraillage
des poteaux

Ainsi, on aura pour le ferraillage

3. Efforts sur semelles

Pour chaque semelle (**Dans le cas de groupes de semelles identiques**)

Cas extrêmes

Ou bien

06 Cas de chargement :

$N_{x\max}$, $M_{y\max}$ et $M_{z\max}$

$N_{x\max}$, M_y et M_z

N_x , $M_{y\max}$ et M_z

N_x , M_y et $M_{z\max}$

ELU

ELS

ELA

ELU

ELS

ELA

ELU avec ELS

ELA avec ELS

Ferraillage ?

On ferraille maintenant selon le type de comportement

Compression

$N_{\max} = 975,28 \text{ KN}$

Flexion composée

La plus défavorable (ELU et ELA) et selon $N_{\max}$, $M_{x\max}$ ou $M_{y\max}$

Prédimensionnement
Calcul de ferraillage
Vérifications



3. Efforts sur semelles

Etapes de ferrailage des semelles

Dimensionnement

✓ A, B et h

Equations de
prédimensionnement

Vérifications

- ✓ Portance Contraintes
(par rapport au sol
(Suivant X et Y))
- ✓ Non poinçonnement
- ✓ Tassement

Logiciels EXCEL disponibles

Calcul du ferrailage

Formules de BAEL

Logiciels EXCEL disponibles
Méthodes analytiques (Bielles,
consoles et des moments)

Directement par
ROBOT

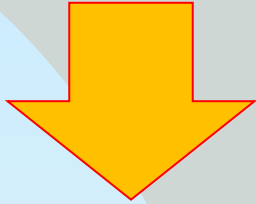
Chapitre spécial



Une fois les efforts, aller vers la première étape:
Dimensionnement



On commence à pré dimensionner les semelles (A, B et h) puis on fait les vérifications pour le choix définitif



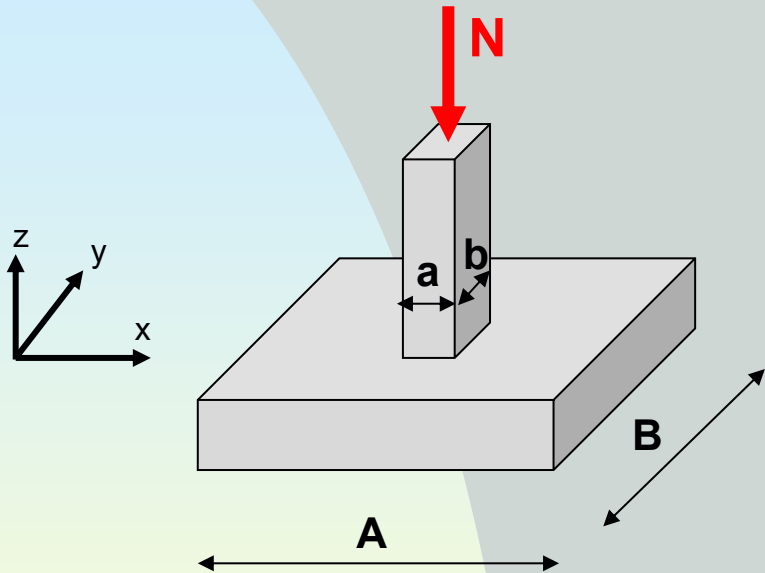
Dimensionnement des semelles

Plusieurs méthodes selon
les efforts appliqués et le
type de comportement
(Compression ou flexion
composée)

4. Dimensionnement des semelles

Compression

Exemple Cas de la compression uniquement (selon Rapport sol laboratoire)



Par homothétie

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b}$$

Il faut

$$\sigma \leq \sigma_{sol}$$

$$\frac{N_{els}}{S} \leq \sigma_{sol}$$

D'où

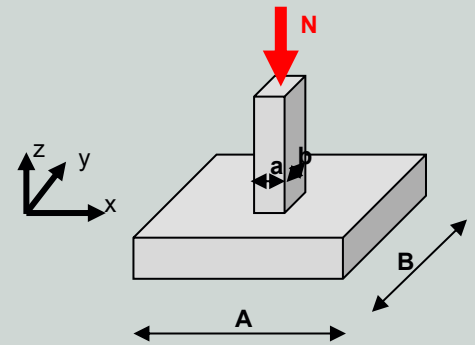
$$S \geq \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}$$

4. Dimensionnement des semelles

$$S \geq \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}$$

Or

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b}$$



$$A \cdot B \geq \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}$$

Avec

$$A = B \cdot \frac{a}{b}$$

On aura

$$B \cdot \frac{a}{b} \cdot B \geq \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}$$

D'où

$$B \geq \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}}$$

De même

$$A \geq \sqrt{\frac{a}{b} \cdot \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}}$$

Pour la
hauteur « h »

$$\min(A - a; B - b) \geq d_a = d_a \geq \sup \left[\frac{A - a}{4}; \frac{B - b}{4} \right]$$

Avec $h = d + \text{enrobage}$

d : Hauteur ultime

4. Dimensionnement des semelles

Dans le cas des sols rocheux, ces relations deviennent

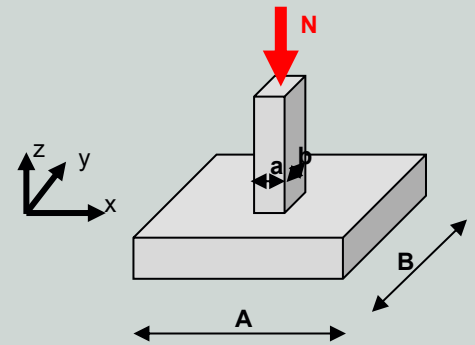
$$S \geq \frac{3}{2} \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}$$

D'où

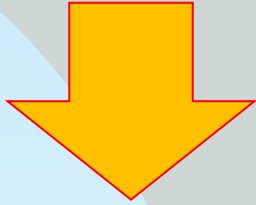
$$B \geq \sqrt{\frac{3}{2} \frac{b}{a} \cdot \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}}$$

De même

$$A \geq \sqrt{\frac{3}{2} \frac{a}{b} \cdot \frac{N_{els}}{\sigma_{sol}}}$$



Une fois, les dimensions (A, B et h)
choisies, on passe aux vérifications



Vérifications

Vérification :
Portance
Poinçonnement
Tassement

5. Vérifications

i. Vérification de portance

Condition de résistance du sol

Le calcul se fait dans les deux sens A et B (x et y)

Calcul de l'excentricité

$$e_{x_ser} = \frac{M_{x_els}}{N_{elstot}}$$

Suivant x

Ou
bien

$$e_{y_ser} = \frac{M_{y_els}}{N_{elstot}}$$

Suivant y

Avec

Nelstot = Nels (calcul)
+ PP semelle
+ PP avant poteau
+ Poids du remblai au dessus de la semelle
+ (éventuellement le poids de la chape)

03 cas

Vérifier (suivant
x et y)

$$e_{x_ser} = 0$$

Diagramme uniforme

$$e_{x_ser} \leq A/6$$

Diagramme trapézoïdal

$$e_{x_ser} > A/6$$

Diagramme triangulaire

1. Uniforme (compression simple)

$$\frac{N_{elstot}}{A \cdot B} \leq \sigma_{sol}$$

2. Trapézoïdal

$$\sigma_{ref} \leq \sigma_{sol}$$

$$\sigma_{ref} = \frac{\sigma_{min} + 3 \cdot \sigma_{max}}{4}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N_{elstot}}{A \cdot B} \left(1 - \frac{6 \cdot e_{x_ser}}{A} \right)$$

$$\sigma_{max} = \frac{N_{elstot}}{A \cdot B} \left(1 + \frac{6 \cdot e_{x_ser}}{A} \right)$$

3. Triangulaire

$$\sigma_{ref} \leq \sigma_{sol}$$

$$\sigma_{ref} = \sigma_{max} = \frac{2 \cdot N_{elstot}}{3 \cdot A \left(\frac{B}{2} - e_{x_ser} \right)} \quad \sigma_{min} = 0$$

Suivant y, changer A en B et x et y

Si pas vérifier, augmenter les
dimensions A et/ou B

Poinçonnement

Ne concerne que les semelles isolées donnant lieu à des contraintes de sol élevées

Condition de non poinçonnement

$$N'_u \leq 0,045 U_c \cdot h' \cdot \frac{F_{cj}}{\gamma_b}$$

N'_u : Charge poinçonnante

U_c : Périmètre du rectangle d'impact au niveau du feuillet moyen de la semelle (périmètre critique)

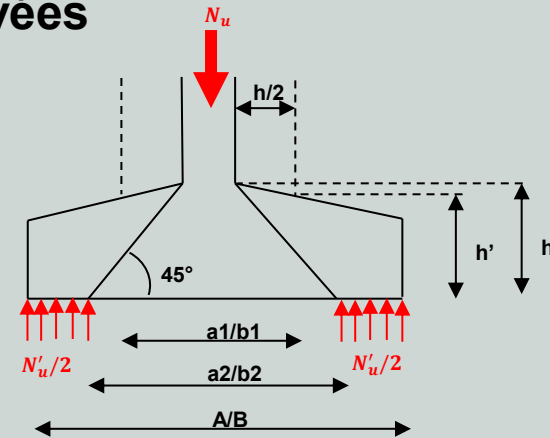
h' : épaisseur de la semelle au niveau de la section S à $h/2$ du nu du poteau.

$$U_c = 2 \cdot (a_1 + b_1) = 2(a + b + 2 \cdot h)$$

(Voir figure)

$h' = h$: pour une section rectangulaire à hauteur constante

(Voir figure)



Charge poinçonnante N'_u ?

La charge poinçonnante correspond à la résultante de la partie de la réaction du sol qui agit en dehors de la pyramide (à 45°) de la charge N_u en partant du nu du poteau.

$$\sigma_{sol} = \frac{N_u + 1,35 G_0}{A \cdot B}$$

Par équilibre de la semelle :

$$N_u + 1,35 G_0 = N'_u + \sigma_{sol} \cdot a_2 \cdot b_2$$

Avec : $a_2 = a + 2 \cdot h$

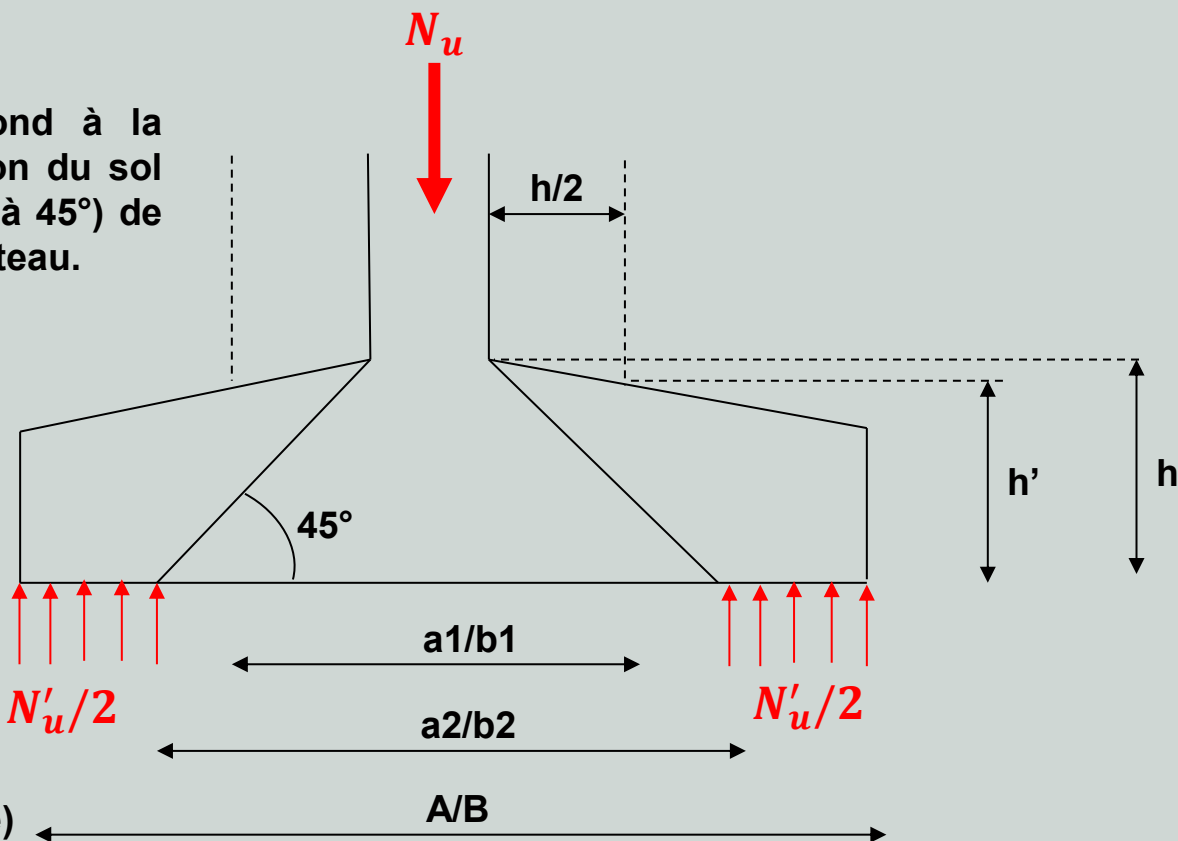
$$b_2 = b + 2 \cdot h$$

(Voir géométrie)

On aura :

$$N'_u = (N_u + 1,35 G_0) \cdot \left(1 - \frac{a_2 \cdot b_2}{A \cdot B}\right)$$

G_0 : Poids de la semelle+remblai+avant poteau



Tassement

02 types de tassements

1

**Tassement
immédiat
Si**

$$S_i = q \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{E} \cdot B \cdot C_f$$

$$q = \frac{N_{elstot}}{A \cdot B}$$

Valable pour tous
les types de sol

Théorie d'élasticité linéaire
(Loi de Boussinesq modifiée)

E : Module d'élasticité du sol

ν : Coefficient de Poisson du sol

C_f : Coefficient de forme qui dépend du rapport de
dimensions B/A

B/A	C _f
1	0,88
2	1,2
3	1,43
4	1,59
5	1,72
6	1,83
7	1,92
8	2,0
9	2,07
10	2,13
15	2,37
20	2,54

Sol	E (1000 KN/m ²)	ν
Marne	5 - 25	0,4 - 0,5
Limon	50 - 100	0,4 - 0,5
Argile	15 - 50	0,4 - 0,5
Sable	10 - 24	0,2 - 0,4
Gravier	48 - 148	0,2 - 0,4
Roche	144 - 14400	0,1 - 0,4

02 types de tassements

2

**Tassement de
consolidation
 S_c**

$$S_c = \sum \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H_i \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Valable uniquement pour les sols fins saturés (cohérents) Argiles, limons ou vases. Généralement en présence d'une nappe phréatique.

Différé dans le temps

On ne calcule pas le tassement de consolidation dans les sables purs, les graviers ou les roches (sols grenus)

Généralement, on utilise une seule couche, on supprime la sommation

Théorie de consolidation unidimensionnel de Terzaghi avec l'essai œdométrique

C_c : Indice de compression (pente de la courbe œdométrique vierge)

e_0 : Indice des vides initial du sol

H_i : Epaisseur de la sous-couche d'argile étudiée (sous la semelle)

σ'_{v0} : Contrainte verticale effective initiale au milieu de la sous-couche (due au poids des terres)

$\Delta\sigma_v$: Surcharge verticale induite par la semelle au milieu de la sous-couche.

$$\sigma'_{v0} = \gamma_{sol} \cdot z$$

$$\Delta\sigma_v = \frac{N_{sertot}}{(A + z') \cdot (B + z')}$$

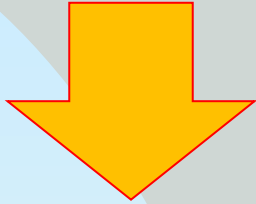
γ_{sol} : Poids volumique humide du sol

z : Profondeur jusqu'au milieu de la couche compressible (1/2 Hauteur de la couche + ancrage)

z' : Demi hauteur de la couche compressible sous semelle

Une fois les toutes les vérifications faites, on passe au ferrailage

**Si toutes les vérifications sont faites
(donc les dimensions sont finalisées),
on passe au ferrailage**



Ferrailage

**Ferrailage selon
les valeurs des
excentricités**

6. Ferrailage

Excentricité
?

Généralement 03 méthodes

- ❑ Méthode des bielles
- ❑ Méthode des consoles
- ❑ Méthode des moments

Le calcul se fait dans les
deux sens A et B (x et y)

1

Méthode
des Bielles

Le principe consiste à transformer la charge verticale (du poteau) en forces obliques comprimées (en diagonales) formant des bielles virtuelles de béton tendant à pousser de biais vers les coins inférieurs de la semelle, créant ainsi une force d'écartement horizontal à la base.

2

**Méthode
des
Consoles**

On considère la semelle comme une bi-console retournée encastrée au poteau.

Le sol pousse la semelle vers le haut

Les extrémités de la semelle se plient vers le haut d'où la face du bas de la semelle s'étire et la face de haut se comprime.

Pour déterminer les aciers, le moment est pris par rapport à l'axe vertical à « $0,15a$ » du nu du poteau

3

**Méthode
des
Moments**

Le même principe que la méthode des consoles.

On calcule directement le moment fléchissant de pliage au niveau de la jonction poteau-débords de la semelle.

Le moment est créé par la force du sol qui pousse le débord de la semelle vers le haut.



Dans quelles situations on applique ces méthodes ?

Le calcul se fait dans les deux sens A et B (x et y)

i. Applications des méthodes de calcul du ferrailage

Calcul de l'excentricité

$$e_{x_elu} = \frac{M_{x_elu}}{N_{elutot}}$$

Suivant x

Ou
bien

$$e_{y_elu} = \frac{M_{y_elu}}{N_{elutot}}$$

Suivant y

Avec

Nelutot = Nelu (calcul)
+1,35 PP semelle
+ 1,35 PP avant poteau
+ 1,35 Poids du remblai au dessus de la semelle
+ 1,35 (éventuellement le poids de la chape)

1 Si $e_{x_{elu}} = 0$

Méthode des bielles

En considérant N_{elutot}

2

**Méthode
des
moments**

Si $e_{x_{elu}} \leq \frac{A}{6}$ et $e_{x_{elu}} \leq \frac{A}{24}$

Méthode des bielles

En considérant $N' = N_{elutot} \left(1 + \frac{3 \cdot e_{x_{elu}}}{A} \right)$

Si $e_{x_{elu}} \leq \frac{A}{6}$ et $e_{x_{elu}} > \frac{A}{24}$

Méthode des moments

Si $e_{x_{elu}} > \frac{A}{6}$

Aciers calculés pour équilibrer un moment M1 appliqué dans la section située à « 0,35 a » de l'axe du poteau (coté sigma max)

(Voir ci-dessous méthode des moments pour les valeurs de M1)

Méthode des consoles

3

Méthode
des
consoles

Si

$$e_{x_{elu}} < \frac{1}{2} \left(\frac{A}{2} + 0,35 a \right)$$

Méthode des
consolesAciers calculés pour équilibrer le
moment M_{s1}

$$M_{s1} = \left(\frac{A}{2} - 0,35 a \right)^2 \frac{N_{elutot}}{2 \cdot (A - 2e_{x_{elu}})}$$

Si

$$e_{x_{elu}} \geq \frac{1}{2} \left(\frac{A}{2} + 0,35 a \right)$$

Méthode des
consolesAciers calculés pour équilibrer le
moment M_{s1}

$$M_{s1} = N_{elutot} (e_{x_{elu}} - 0,35 a)$$

Suivant y, changer A en B et
a en b, x en yDémonstration des
méthodes

**Méthode des
bielles**

Valable si la semelle n'est pas soumise à des moments de flexion ou bien si l'excentricité due au moment appliqué reste en deçà d'une certaine valeur

On suppose que toutes les bielles comprimées passent par « O » défini par :

$$\frac{A}{h_0} = \frac{A - a}{d}$$

Sol non rocheux:

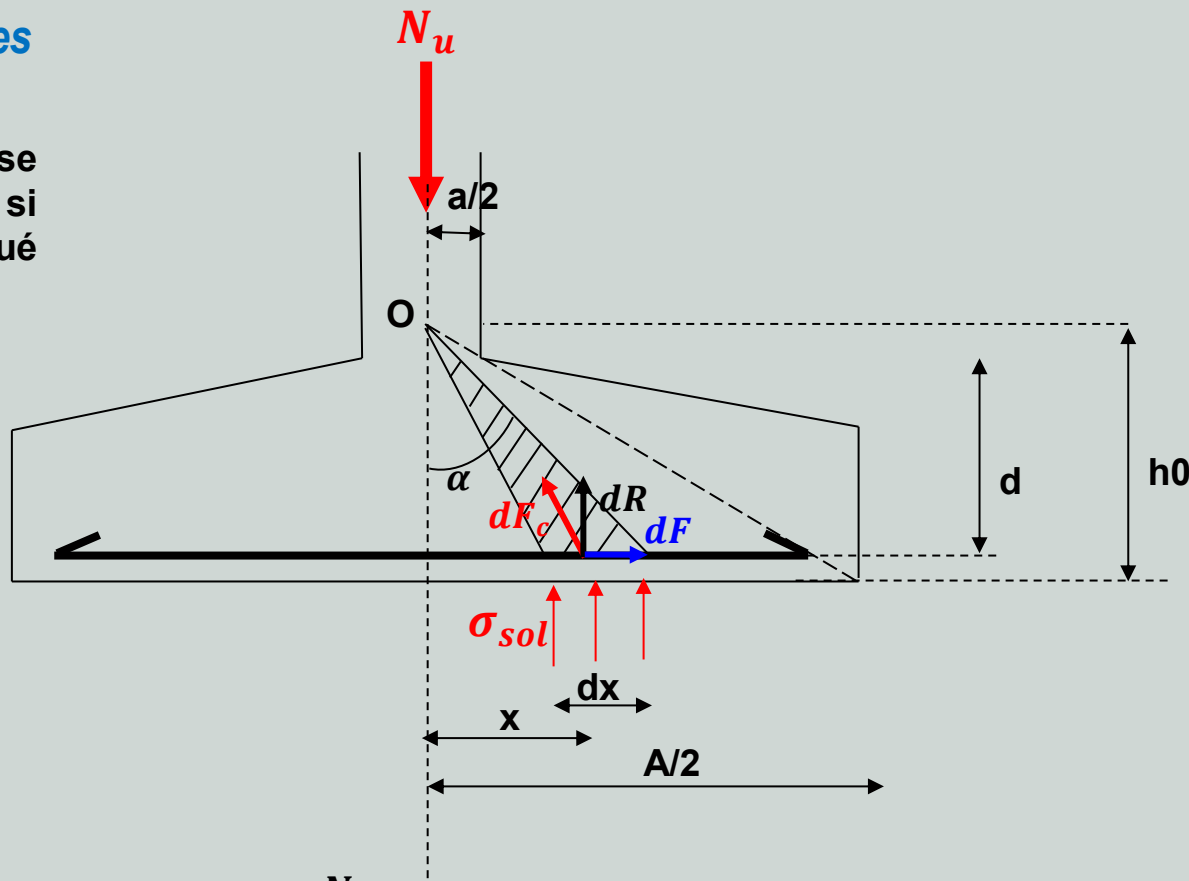
$$\sigma_{sol} = \frac{N_u}{A \cdot 1m}$$

La réaction exercée par le sol sur une tranche (dx x 1m)

$$dR = \sigma_{sol}(dx \cdot 1) = \frac{N_u}{A} \cdot dx$$

Soit, en décomposant dR en compression « dFc » et en traction « dF »

$$dF = dR \cdot \frac{x}{h_0} = \frac{N_u}{A \cdot h_0} \cdot x \cdot dx$$



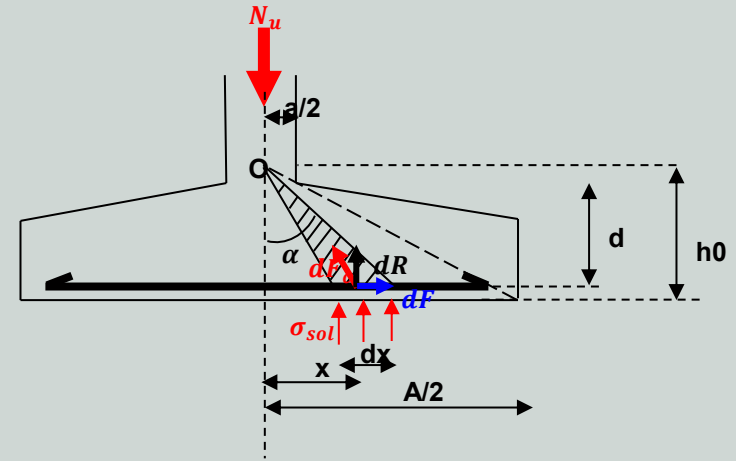
Tassement

À $x=0$, on intègre pour obtenir F

$$dF = dR \cdot \frac{x}{h_0} = \frac{N_u}{A \cdot h_0} \cdot x \cdot dx$$

$$F = \int_0^{A/2} dF = \int_0^{A/2} \frac{N_u}{A \cdot h_0} \cdot x \cdot dx$$

$$= \frac{N_u(A - a)}{8 \cdot d}$$



$$d = h - \text{enrobage} \approx 0,9 h$$

Or, la contrainte limite de l'acier

$$\sigma_s = \frac{F}{A_s}$$

On tire, donc A_s

$$A_s = \frac{F}{\sigma_s}$$

$$A_s = \frac{N_u(A - a)}{8 \cdot d \cdot \sigma_s}$$

Sol rocheux:

$$\sigma_{sol} = \frac{2 \cdot N_u}{3 \cdot A \cdot 1m}$$

As à multiplier par « 4/3 »

Suivant y , changer A en B et a en b , x en y

Contrainte limite de l'acier ?

Contrainte limite de l'acier σ_s

Dépend du type de fissuration

1. Fissuration non (ou peu) préjudiciable

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

f_e : Limite élastique de l'acier
 $\gamma_s = 1,15$ (cas courant)
 $= 1,0$ (cas accidentel)

2. Fissuration préjudiciable

$$\sigma_s = \min \left\{ \frac{2f_e}{3} ; 110\sqrt{\eta \cdot f_{ij}} \right\} \text{ (Mpa)}$$

$\eta = 1,0$ R.L
 $\eta = 1,3$ HA < 6mm
 $\eta = 1,6$ HA ≥ 6 mm

3. Fissuration très préjudiciable

$$\sigma_s = \min \{ 0,5f_e ; 90\sqrt{\eta \cdot f_{ij}} \} \text{ (Mpa)}$$

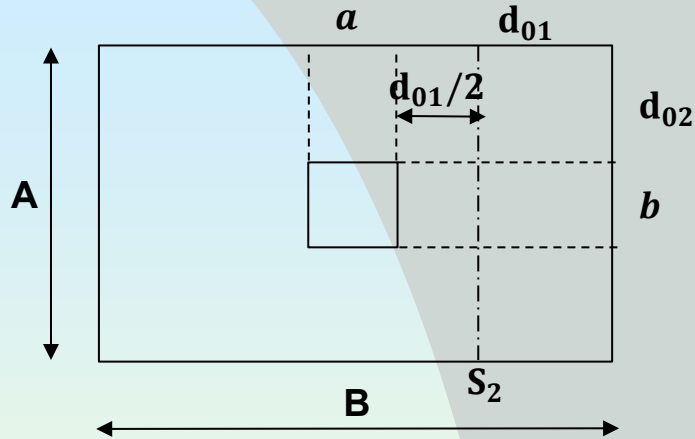


Méthode des consoles

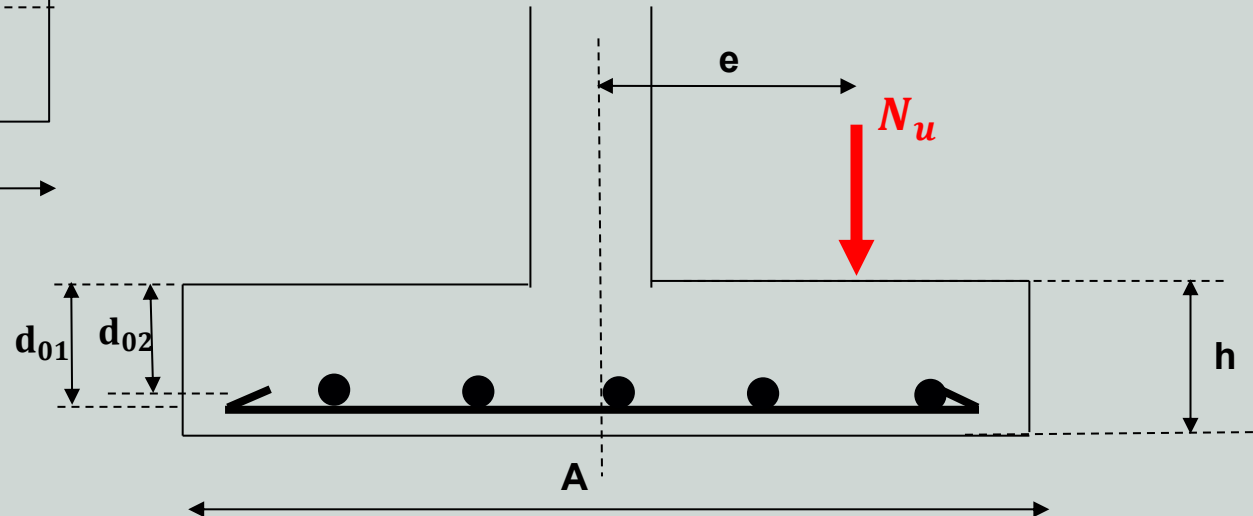
Méthode des Consoles



Applicable quelque soit l'épaisseur de la semelle



Débord de la semelle dans le plan d'application du moment ou de l'effort tranchant

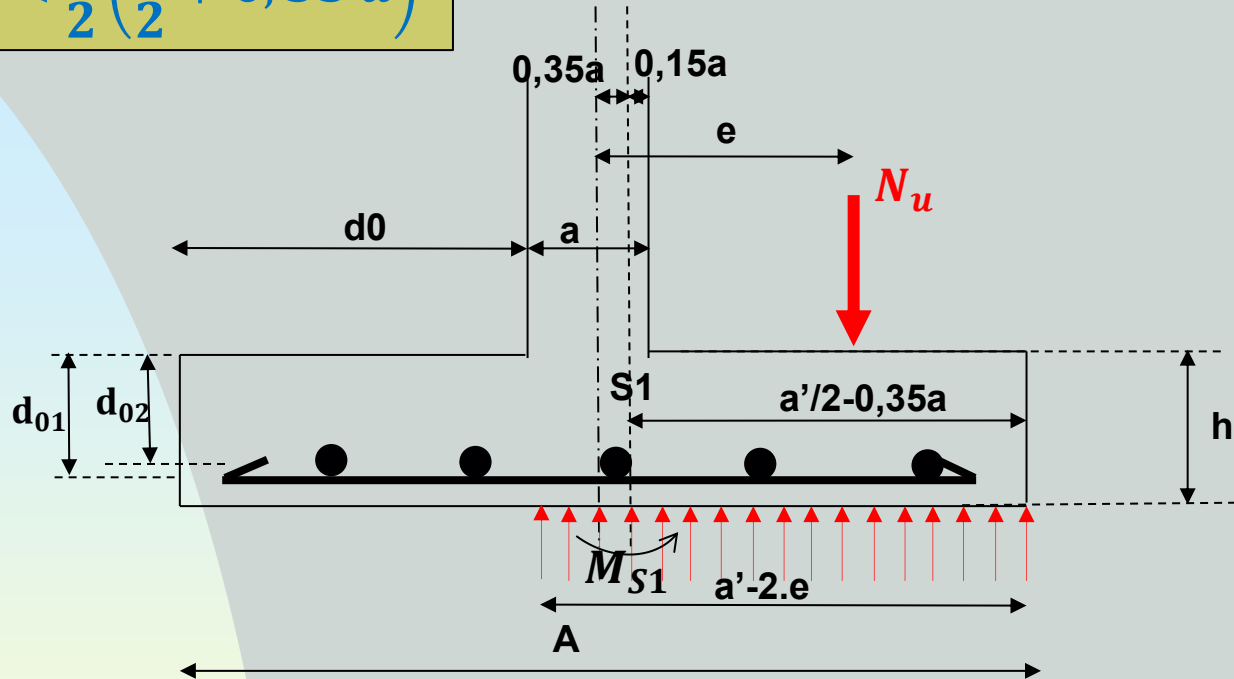


Le calcul du moment se fait selon la valeur de l'excentricité

Si

$$e_{x_elu} < \frac{1}{2} \left(\frac{A}{2} + 0,35 a \right)$$

La section S1 coupe le diagramme des réactions du sol



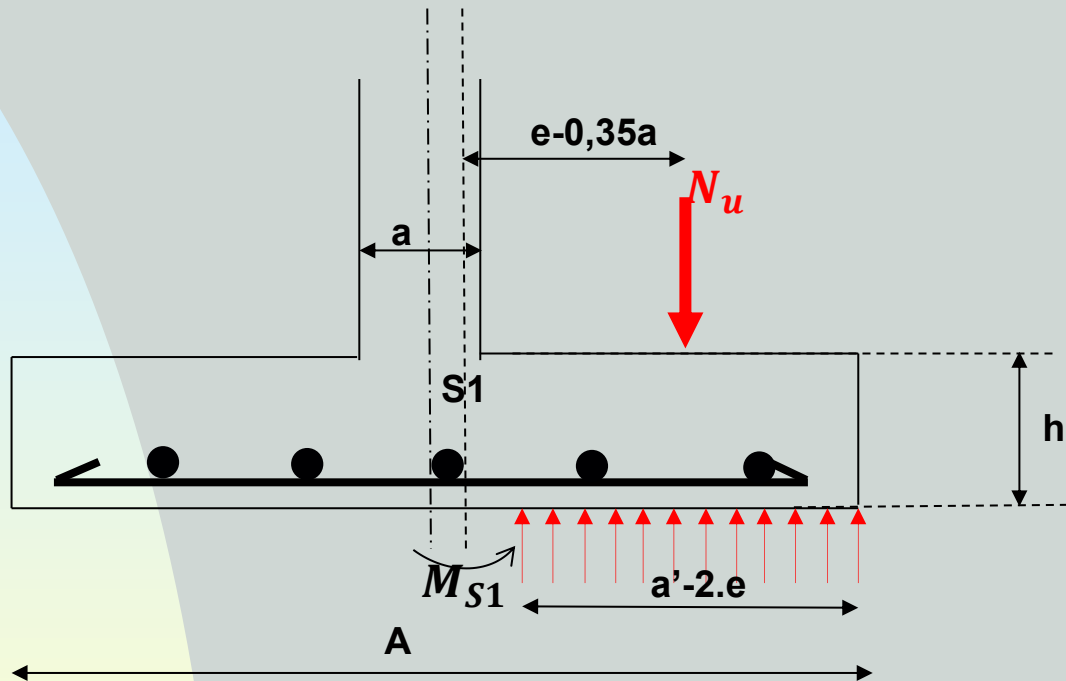
Aciers calculés pour équilibrer le moment M_{s1}

$$M_{s1} = \left(\frac{A}{2} - 0,35 a \right)^2 \frac{N_{elutot}}{2 \cdot (A - 2e_{x_elu})}$$

Si

$$e_{x_{elu}} \geq \frac{1}{2} \left(\frac{A}{2} + 0,35 a \right)$$

La section S1 ne coupe pas le diagramme des réactions du sol qui est intégralement réparti au-delà de la section S1



Aciers calculés pour équilibrer le moment M_{s1}

$$M_{s1} = N_{elutot} (e_{x_{elu}} - 0,35 a)$$

Suivant y, changer A en B et a en b, x en y

Méthode des Moments



Si

$$e_{x_{elu}} \leq \frac{A}{6} \text{ et } e_{x_{elu}} > \frac{A}{24}$$

et

Si

$$e_{x_{elu}} > \frac{A}{6}$$

Aciers calculés pour équilibrer un moment M_1 appliqué dans la section située à « 0,35 a » de l'axe du poteau (coté sigma max)

$$A_s = \frac{M_1}{d \cdot f_{su}}$$

$$M_{S1} = B \left(\frac{A}{2} - 0,35 a \right)^2 \frac{(\sigma_1 + 2\sigma_M)}{6}$$

Diagramme	σ_1	σ_M
Trapézoïdal	$\frac{N_{elutot}}{A \cdot B} \left(1 + \frac{4,2 e a}{A^2} \right)$	$\frac{N_{elutot}}{A \cdot B} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{A} \right)$
Triangulaire	$\frac{2 \cdot N_{elutot} (A + 0,35 a - 3e)}{9 \cdot A \cdot B \left(\frac{B}{2} - e \right)}$	$\frac{2 \cdot N_{elutot}}{3 \cdot B \left(\frac{A}{2} - e \right)}$

Suivant y, changer A en B et a en b, x en y

Merci. Fin du Chapitre 12

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



Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

Prochain Cours

Chap. 13

**Ferraillage – Ferraillage de la Semelle
Filante**