

# *Dynamique des structures*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

e-mail: [abdellatif\\_megnounif@yahoo.fr](mailto:abdellatif_megnounif@yahoo.fr)

**Chap. 01**

## **Procédure de Calcul de Structures en Béton Armé (RPA 2024)**

**COURS 01 Lundi 22.12.2025**

# 1. Introduction

- ✓ L'objectif de ce chapitre est de présenter la procédure générale utilisée pour le calcul d'une structure en béton armé.
- ✓ De l'idée, à la conception, au calcul jusqu'aux plans d'exécution finaux.
- ✓ Les détails de chaque partie seront données dans les chapitres qui suivent.
- ✓ Dans la partie modélisation, on va choisir un des logiciels disponibles, à savoir « ROBOT ». Sinon, la modélisation avec les autres logiciels tels que SAP2000, ETABS... reste globalement la même.



# STRUCTURE DU COURS

## Quatrième Partie: Calcul d'une structure en béton armé.

### 1. Procédure de calcul d'une structure en béton armé

- Introduction.
- Procédure de calcul d'une structure en BA.
  - Plans architecturaux.
  - Modélisation.
  - Analyse.
  - Ferrailage.
- Documents structurels

### 2. Modélisation – Prédimensionnement.

- Introduction.
- Présentation de l'ouvrage
- Hypothèses de calcul
- Prédimensionnement
- Vérifications (Coffrage) RPA2024
- Descente de charges



### **3. Modélisation – Dessin Robot.**

- Introduction
- Choix du type de la structure
- Configuration du projet
- Création de la structure

### **4. Analyse – Application des charges statiques (G et Q)**

- Introduction
- Rappel des charges/surcharges calculées
- Définition des cas de charges
- Définition des combinaisons de charges
- Introduction des charges permanentes « G »
- Introduction des surcharges d'exploitation « Q »
- Modélisation des niveaux supérieurs
- Introduction des conditions aux limites
- Analyse statique



## **5. Analyse – Masse sismique et analyse modale**

- Introduction.
- Choix du type d'analyse.
- Introduction de la masse sismique.
- Résultats et vérifications.

## **6. Analyse – Analyse modale spectrale.**

- Introduction.
- Rappel de calcul d'une réponse due à l'excitation du support.
- Calcul de l'effort tranchant à la base par la MSE.
- Analyse spectrale.
- Vérification de la résultante des forces sismiques à la base.

## **7. Analyse – Combinaison de charges et Justifications.**

- Introduction.
- Combinaisons des charges.
- Justifications.
- Vérification de l'hypothèse des liaisons rigides.



## **8. Ferrailage – Poteaux.**

- Introduction.
- Spécifications RPA2024 des poteaux
- Calcul des armatures longitudinales en flexion composée déviée.
- Calcul des armatures transversales.

## **9. Ferrailage – Poutres.**

- Introduction.
- Spécifications RPA2024 des poutres
- Calcul des armatures longitudinales en flexion simple.
- Calcul des armatures transversales.
- Vérifications des contraintes à l'ELS et de la flèche.

## **10. Ferrailage – Dalle en corps creux**

- Introduction.
- Modélisation de la poutrelle avec ROBOT.
- Calcul des armatures longitudinales de la poutrelle.
- Calcul des armatures transversales de la poutrelle
- Vérifications des contraintes à l'ELS et de la flèche.



## **11. Ferrailage – Dalle pleine/palier/volée.**

- Introduction.
- Détermination des efforts sur la dalle pleine (ROBOT).
- Ferrailage inférieur et supérieur de la dalle.
- Vérifications.

## **12. Ferrailage – Semelle isolée**

- Introduction.
- Rappel des prescriptions RPA2024.
- Ferrailage de la semelle isolée.
- Vérifications (poinçonnement, contraintes de sol)

## **13. Ferrailage – Semelle filante.**

- Introduction.
- Prédimensionnement.
- Détermination des efforts par ROBOT.
- Vérifications des contraintes, non poinçonnement et non renversement.
- Ferrailage de la semelle filante



## 14. Ferrailage – Radier.

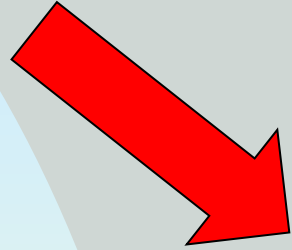
- Introduction.
- Modélisation du radier par ROBOT
- Détermination des efforts dans le radier
- Ferrailage du radier
- Vérifications.

## 15. Ferrailage – Voiles.

- Introduction.
- Vérification des pourcentages voiles/poteaux
- Modélisation des voiles par ROBOT.
- Détermination des efforts dans les voiles par ROBOT
- Ferrailage des voiles.
- Vérifications et disposition RPA2024



**D'abord**



**C'est quoi un projet  
et comment on va le  
gérer ?**

## 1. Introduction

*Projects is one of the oldest and most respected accomplishments of mankind. We stand in awe of achievements of the builders of pyramids, the architects of ancient cities, the masons and craftsmen of great cathedrals and mosques; of the might and labor behind the Great Wall of China, and other wonders of the world.*

**Peter W. G. Morris, the management of projects.**

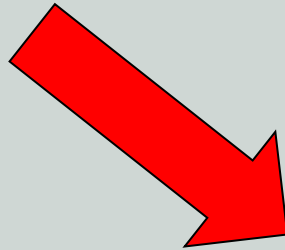
*Gérer des projets est l'une des plus anciennes et des plus respectées réalisations de l'humanité. Nous demeurons admiratifs devant les exploits des bâtisseurs des pyramides, des architectes des cités anciennes, des maçons et artisans des grandes cathédrales et mosquées ; devant la force et le labeur qui se cachent derrière la Grande Muraille de Chine et les autres merveilles du monde.*



### Définition

*Un projet est un effort ponctuel complexe, non routinier limité par le temps, le budget, les ressources et les spécifications de performance conçues pour satisfaire les besoins du client.*

### Caractéristiques d'un projet



Comme tout effort organisationnel, l'idée principal est de satisfaire le client, mais au delà de ceci, les caractéristiques principales d'un projet sont:

1. Avoir un objectif établi
2. Un cycle de vie défini avec un début et une fin.
3. Interdépendance (implication de plusieurs départements et professionnels.
4. Unicité (faire quelque chose qui n'a jamais été faite auparavant)
5. Exigences spécifiques de temps, cout et performance
6. Résolution des conflits

### Caractéristiques d'un projet

#### 1. Objectif défini

Projets ont un objectif bien défini: construire un bâtiment à 12 étages pour le 1er janvier ou bien construire une station de dessalement dans les 08 prochains mois, ou bien construire un pont reliant un point A à un point B en 06 mois.

#### 2. Cycle de vie défini

Puisqu'il y a un objectif spécifique, donc il y a un temps limite de réalisation qui est contraire aux tâches traditionnelles. Souvent, les individus passent d'un projet à un autre et ne restent pas dans le même travail.

#### 3. Interdépendance

Les projets exigent généralement des efforts combinés de plusieurs spécialistes. Ingénieurs avec financiers, agent de marketing, spécialiste en qualité... Ils travaillent ensemble.

### 4. Unicité

- ❑ **Projet non routinier et a certains éléments uniques. Accomplir quelque chose qui n'a jamais été faite auparavant (ça exige la résolution d'un problème qui n'a jamais été résolu).**
- ❑ **Même les projets de construction classiques nécessitent certaines sortes de personnalisation qui les rendent uniques.**

### 5. Exigences temps, coût et performance

- ❑ **Exigences de temps, coût et performance lient le projet. Les projets sont évalués selon ce qui a été réalisé, avec quel coût et combien de temps ça a pris.**
- ❑ **Ces 03 contraintes impose un degré élevé de responsabilité qui se trouve typiquement dans tous les travaux.**
- ❑ **Ces 03 constituent la pierre importante du MP, qui consiste à les balancer tous les 03 pour une meilleure satisfaction des clients.**

## Objectifs d'un projet



### 1. Performance (Portée / Spécifications)

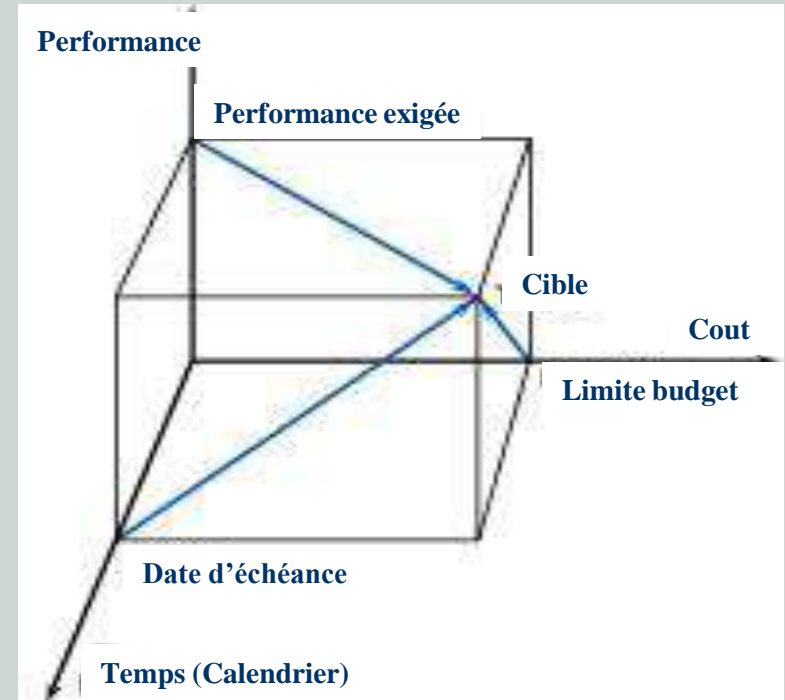
- ✓ Que veut le client
- ✓ Exigences externes (codes réglementaires)

### 2. Cout / Budget

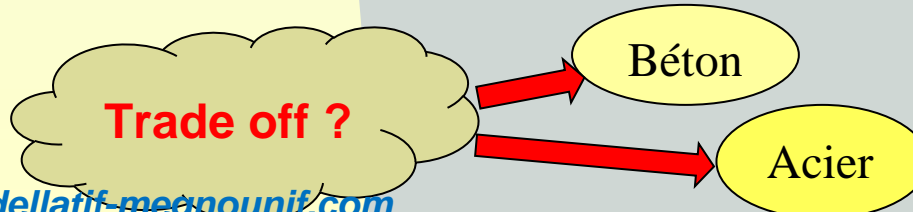
- ✓ Ce que le client est prêt à payer
- ✓ Combien le projet a été budgétisé

### 3. Calendrier / Temps

- ✓ Ce qui a été promis
- ✓ Ce que le plan du business exige.

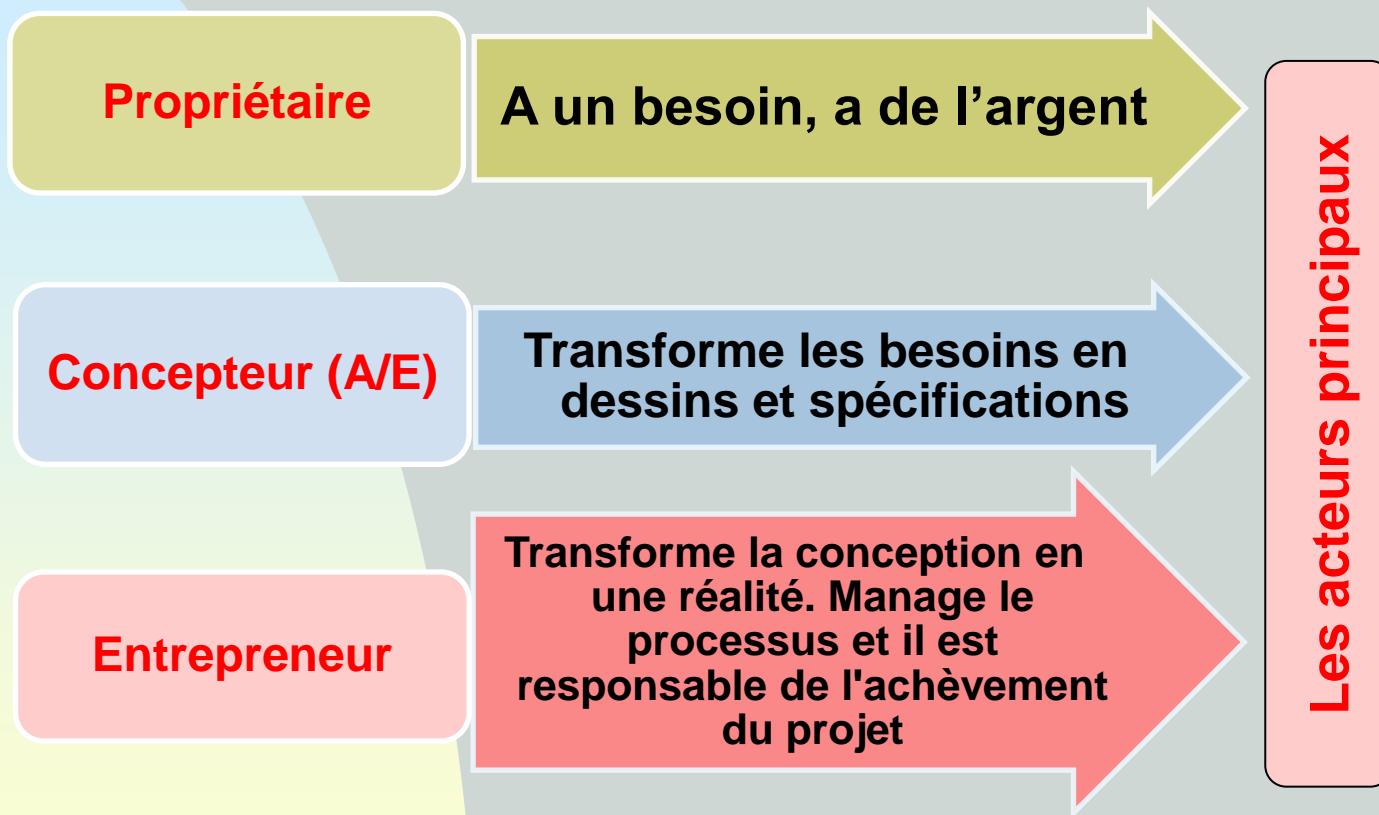


Les attentes du client ne sont pas une cible supplémentaire mais sont partie inhérente des spécifications du projet.



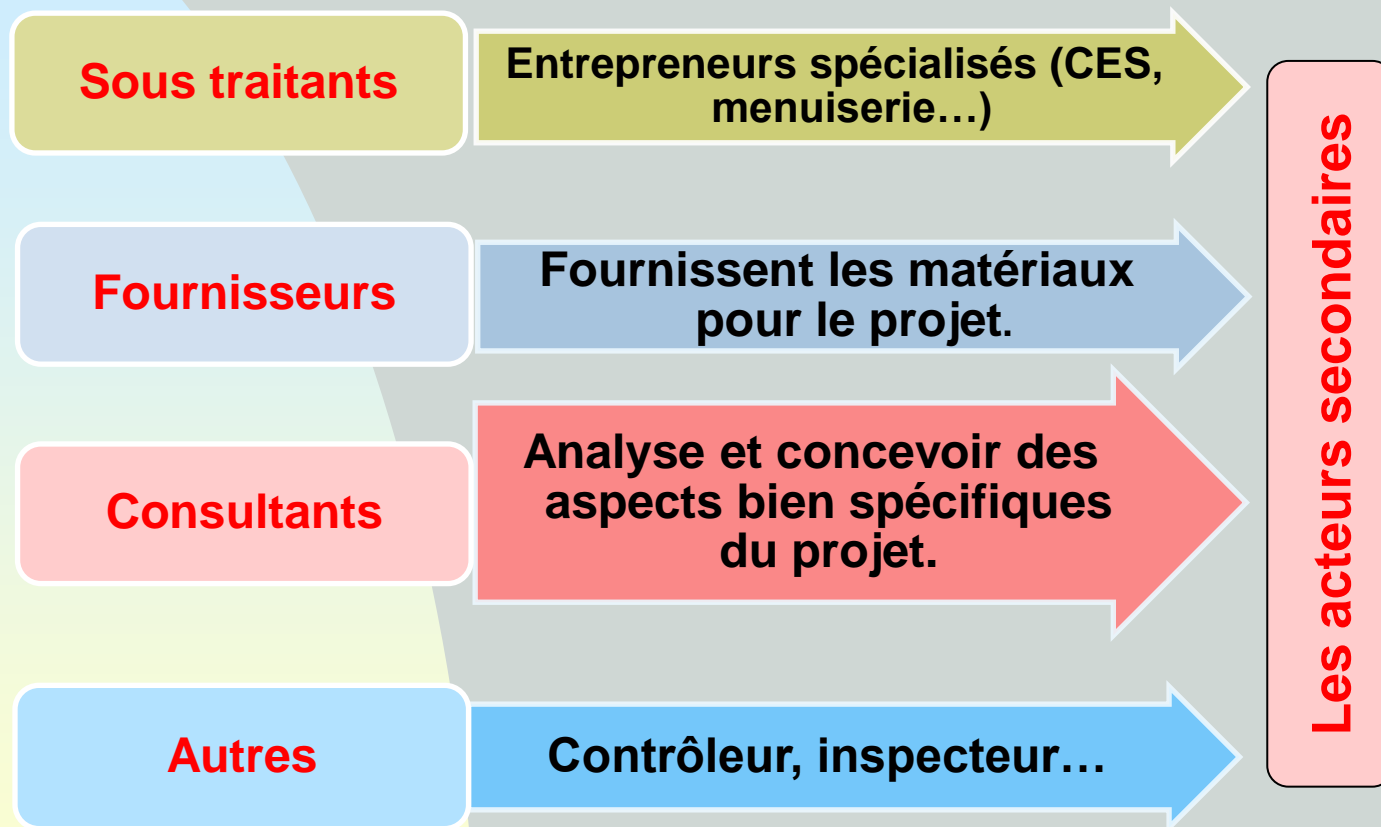
**Et vous  
êtes qui ?**

# *Participants Principaux*



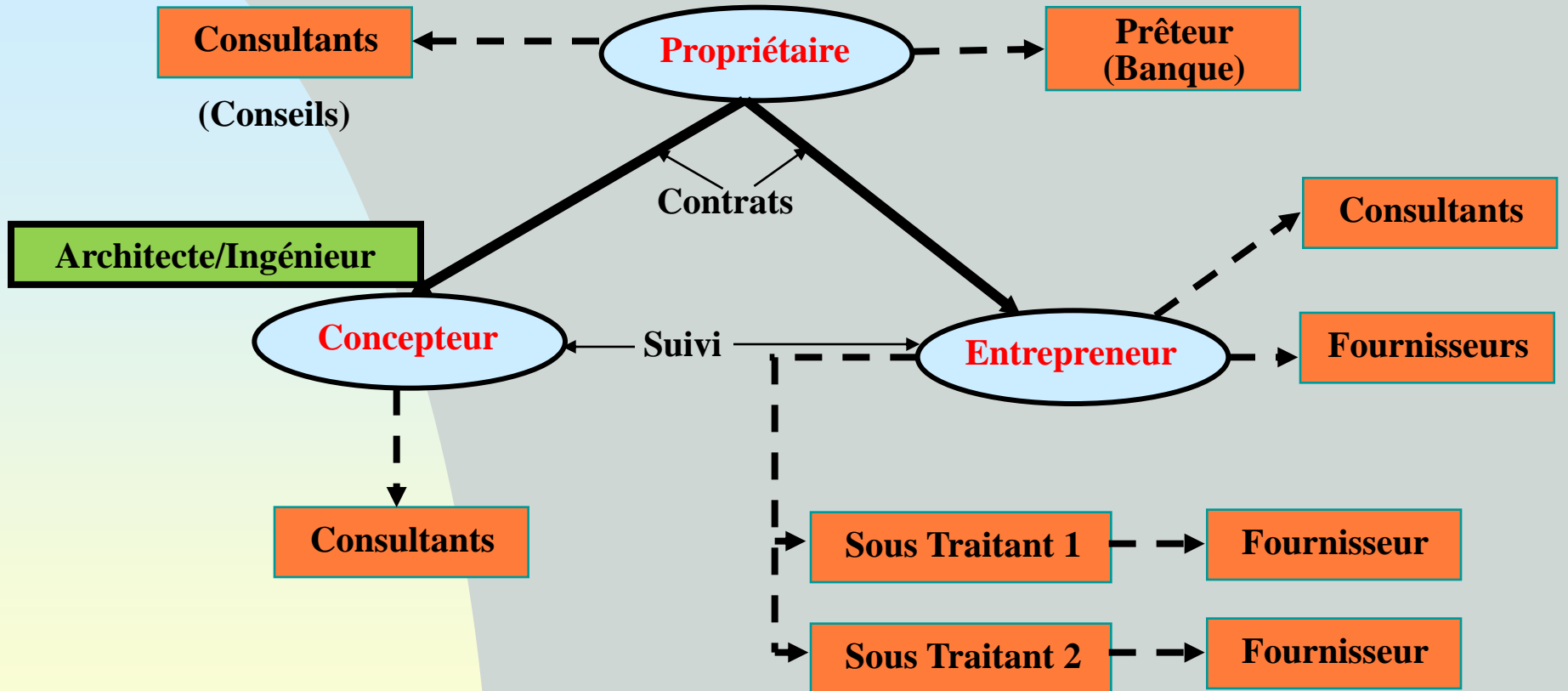
Et vous  
êtes qui ?

# Participants Secondaires




**Vous vous situez où ?**

# Systeme d'elaboration de projet





**Cycle de vie  
d'un projet**



**Cycle de vie  
d'un projet**

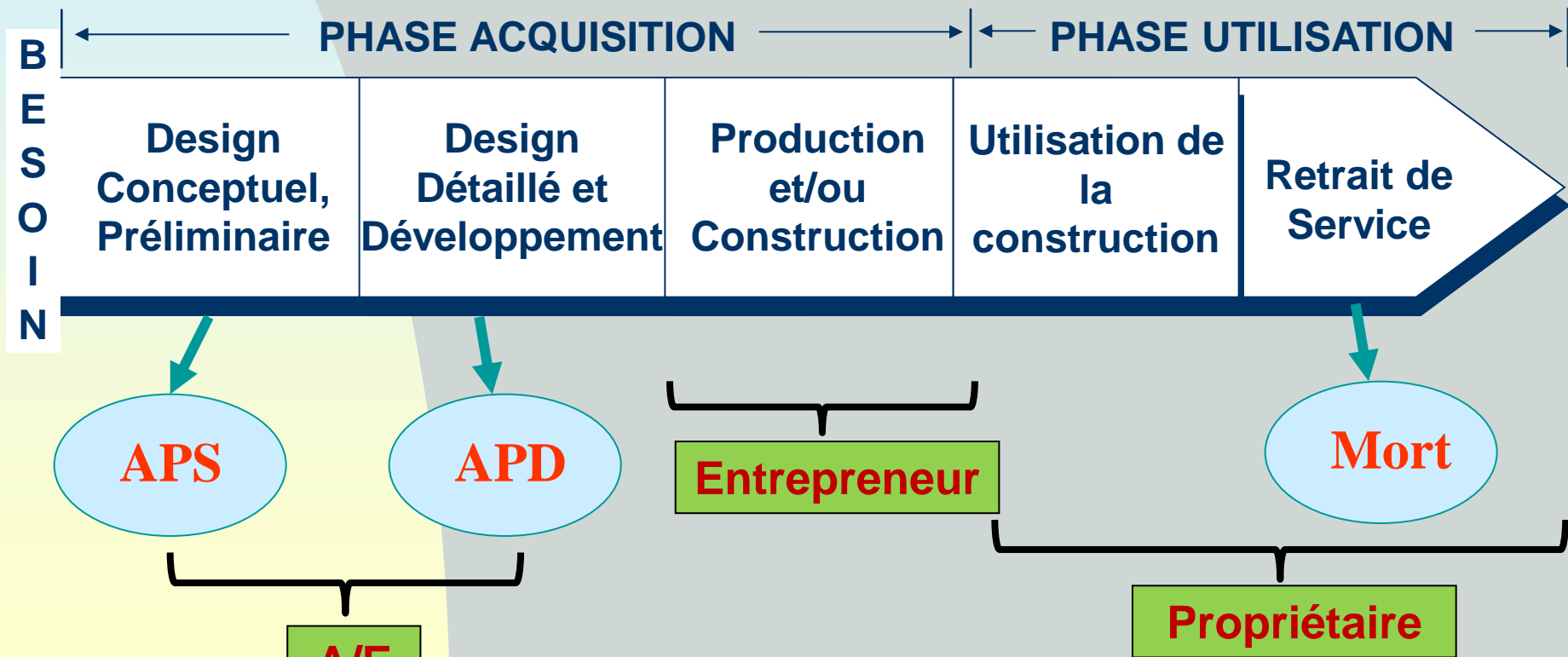
**Un projet , comme un être humain, traverse généralement plusieurs phases**

- 1. Naissance,**
- 2. Adolescence,**
- 3. Maturité,**
- 4. Vieillesse et**
- 5. Mort.**



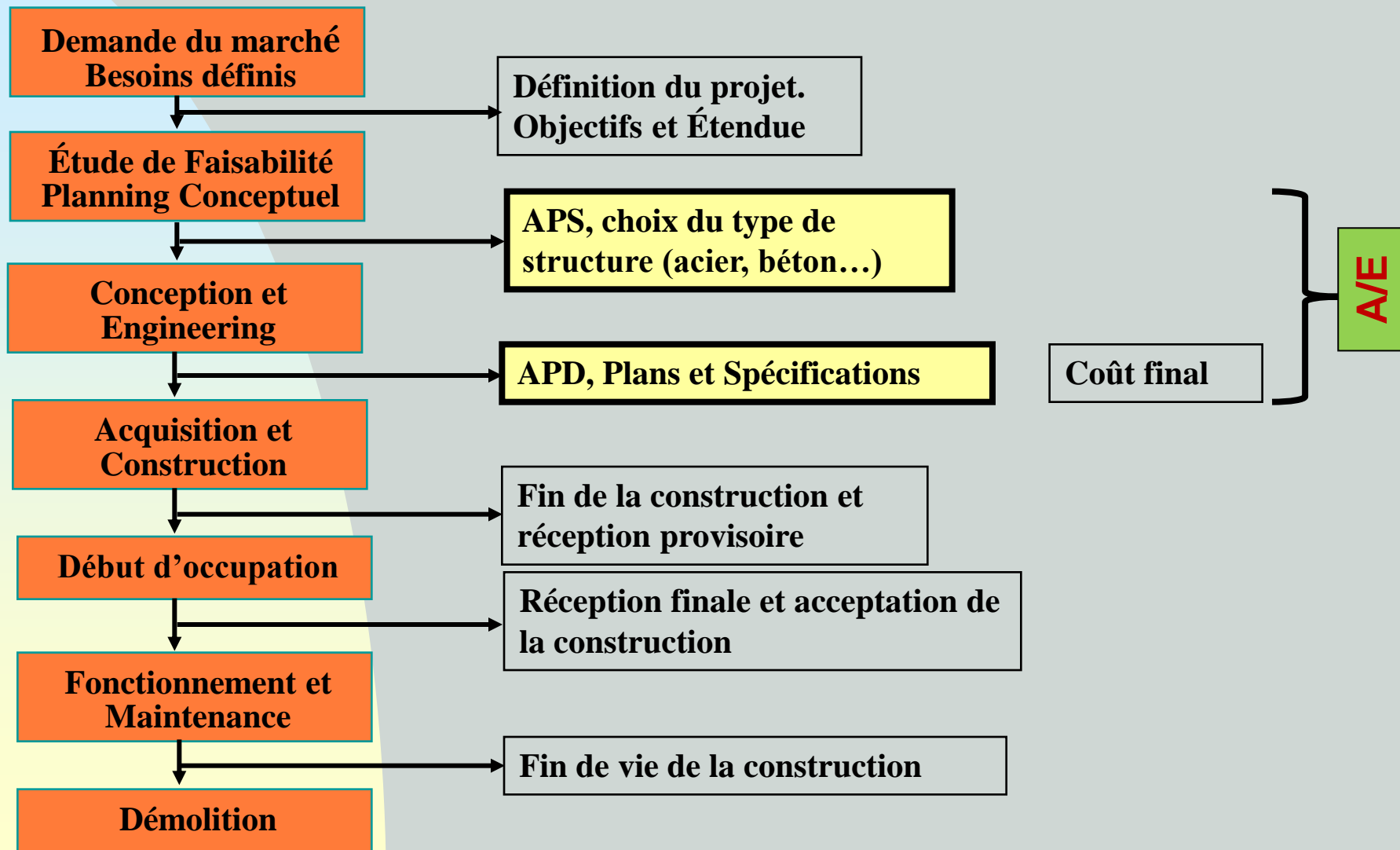
**Producteur**

**Client**



# Cycle de vie d'un projet

(Vu par le propriétaire)



# Taches par participant

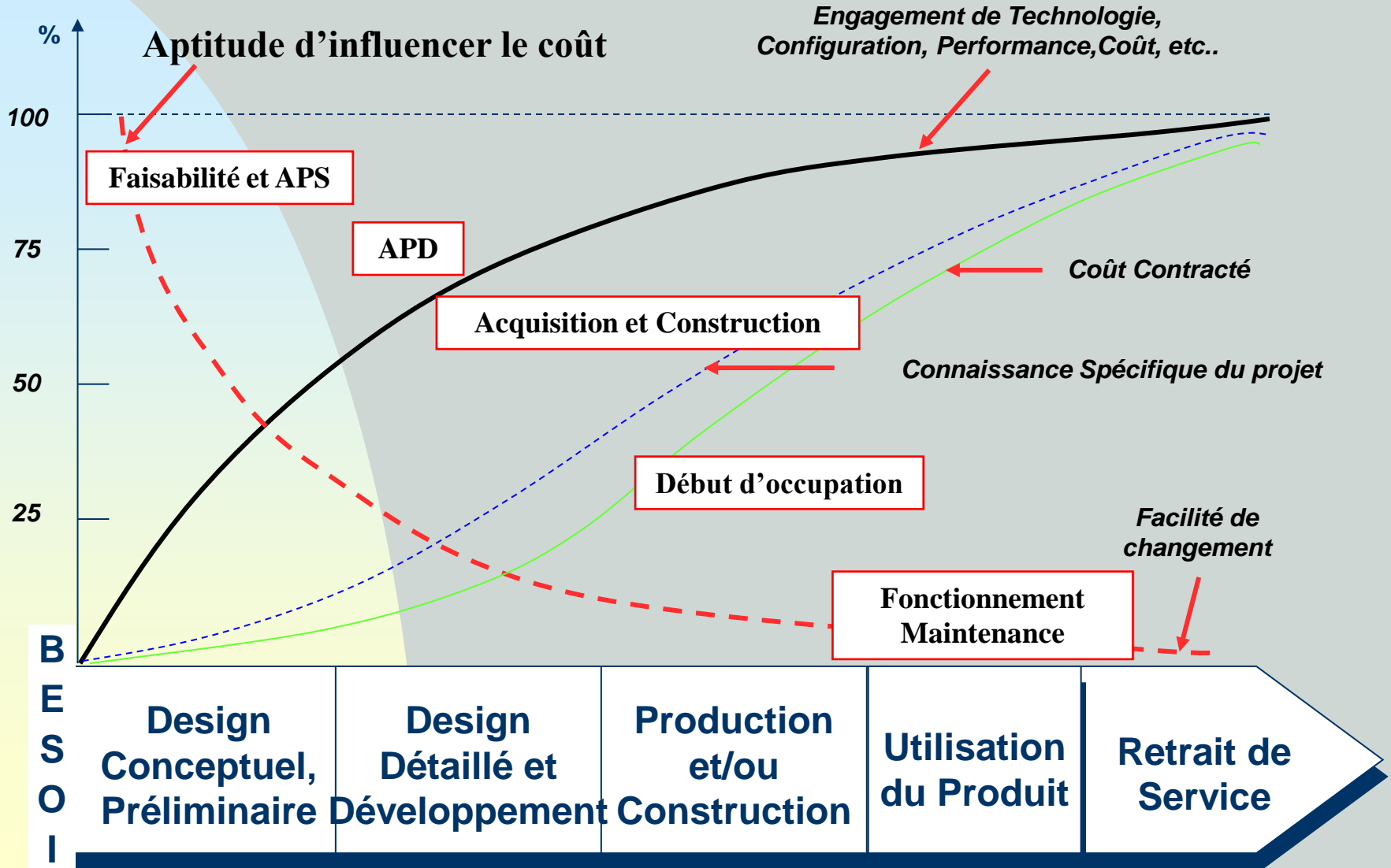
	Propriétaire	Concepteur	Entrepreneur
Besoins	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Étude de faisabilité	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
APS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
APD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estimation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Soumission	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Attribution	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Construction	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Réception provisoire	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fonctionnement	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Démolition	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A/E

# Cycle de vie d'un projet (en cumulant les efforts)

Si on cumule les efforts, on obtient des courbes en « S »

L'aptitude de contrôler le coût d'un projet diminue au fur et à mesure qu'on passe de la conception vers la construction. Les changements doivent être opérés très tôt que tard. Ça devient très coûteux de faire des changements.



## 2. Procédure de calcul de structures en BA

Les grandes étapes sont :

1. Lecture et compréhension des plans architecturaux  
(Design préliminaire, Conception structurelle)
2. Modélisation
3. Analyse
4. Ferrailage

**Etape 1**



**Design  
préliminaire**

## 2. 1 Design préliminaire

Une série de réunion de coordination architecte/ingénieur génie civil (structure)

Objectif



Fixer la solution structurelle pour la vérifier en analyse numérique

### Compatibilité structure/architecture

- ✓ Trames,
- ✓ Portées,
- ✓ Noyaux (escaliers, ascenseurs)

### 3. Vérification (visuelle) de la régularité

- ✓ En plan,
- ✓ En élévation (éviter étage faible/souple)

### 2. Validation du système porteur.

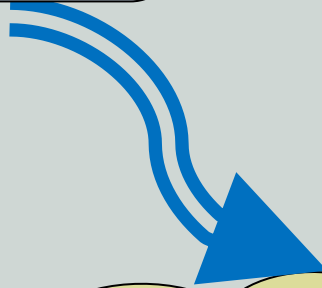
Définition du système de contreventement et de son implantation

- ✓ Portiques auto stables,
- ✓ Voiles,
- ✓ Mixtes

Finalité de l'étape 1

A l'issue de cette étape, la structure est arrêtée du point de vue conceptuel.

**Etape 2**



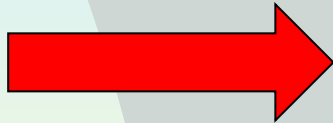
**Modélisation**

## 2. Procédure de calcul de structure en BA

## 2. 2 Modélisation

Commence d'abord par préparer les données du modèle (Pré-dimensionnement structurelle, descente de charges,...)

Objectif



Représenter fidèlement le comportement structurel

Plusieurs sous étapes

**Partie importante de calcul de structure**

**Les grandes étapes de la modélisation sont :**

- 1. Pré dimensionnement structurel**
- 2. Modélisation proprement dite (Dessin avec caractéristiques sur logiciel de calcul structurel (ROBOT, SAP, ETABS,...))**

**Finalité de l'étape 2**

**Modèle reflétant la structure réelle, prêt à être analysé**

## 2. 2. 1 pré dimensionnement structurel

(Détails Chapitre 02)

1. Pré dimensionnement structurel
2. Modélisation proprement dite (Dessin avec caractéristiques sur logiciel de calcul structurel (ROBOT, SAP, ETABS,...))

Permet de contrôler la faisabilité, limiter les déformations et éviter des sections irréalistes au calcul détaillé

Objectif



Obtenir des dimensions réalistes.

Pré dimensionnement conditionne

Qualité du modèle

Généralement d'abord selon BAEL



Puis RPA

1. Pré dimensionnement structurel
2. Modélisation proprement dite (Dessin avec caractéristiques sur logiciel de calcul structurel (ROBOT, SAP, ETABS,...))

## Estimation des sections :

### Eléments Verticaux

#### Poteaux

- ✓ Section minimale
- ✓ Ratio d'élançement acceptable

#### Voiles

- ✓ Epaisseur minimale
- ✓ Longueur suffisante pour assurer le contreventement

### Eléments Horizontaux

#### Poutres

- ✓ Largeur minimale
- ✓ hauteur minimale  $L/12,5$

#### Dalles pleines

- ✓ Epaisseur minimale

#### Dalles en corps creux

- ✓ Epaisseur de l'hourdis

Rem : Les vérifications coffrage RPA peuvent se faire dans la partie sismique

1. Pré dimensionnement structurel
2. Modélisation proprement dite (Dessin avec caractéristiques sur logiciel de calcul structurel (ROBOT, SAP, ETABS,...))

## 2. 2. 2 Dessin (Détails Chapitre 03)

La modélisation se fera en utilisant un logiciel de calcul de structures (ROBOT, SAP, ETABS,...)

Objectif



Représenter fidèlement le comportement structural.

Le modèle n'est pas un simple dessin

Modélisation numérique basée sur la MEF

Le modèle est un outil d'ingénierie

ART!

## 1. Matériaux

### Béton

- ✓ Classe (C25/30, C30/37, etc.)

### Acier

- ✓ Nuance (B500, FeE400, etc.)

### Paramètres normatifs

- ✓ Module d'élasticité,
- ✓ Coefficients partiels de sécurité,
- ✓ Lois de comportement

1. Pré dimensionnement structurel
2. Modélisation proprement dite (Dessin avec caractéristiques sur logiciel de calcul structurel (ROBOT, SAP, ETABS,...))

## 2. Modélisation 3D

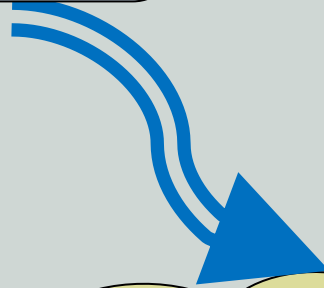
- ✓ Géométrie,
- ✓ Sections (poutres, poteaux, dalles, etc.),
- ✓ Conditions d'appui (encastrement ou interaction sol-structure).

## 3. Hypothèses de calcul

- ✓ Diaphragmes rigides aux planchers,
- ✓ Fissuration (Réduction de rigidité).

**Commencer à dessiner**

# Etape 3



**Analyse**

## 2. 3 analyse

Les grandes étapes de l'analyse sont :

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles  $E_x$  et  $E_y$ ).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

**Finalité de  
l'étape 3**

Calcul des efforts internes (N, M, V) et déplacements

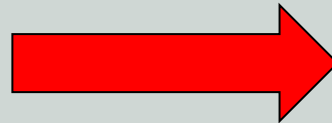
## 2. 3. 1 Application des charges (statiques)

(Détails Chapitre 04)

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

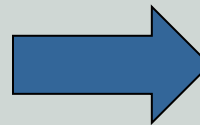
Seulement les charges permanentes et d'exploitation (A ce stade)  
: G et Q

Objectif



ELU et ELS

Commencer par définir  
les cas de charges



Définir les combinaisons  
de charges

$1,35 G + 1,5 Q$   
 $G + Q$

GO!

**Appliquer les charges sur tous les éléments de la structure.**

**Commencer par **G** puis après **Q****

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

**Descente de charges** (note de calcul)

**G**

- ✓ Planchers RDC/Etage courant/Terrasse (accessible ou non accessible).
- ✓ Dalles pleines.
- ✓ Paliers/Volées escaliers
- ✓ Poussée des terres (sans surcharge en surface)
- ✓ Charges linéaires double parois
- ✓ Charges linéaires acrotère.

**Q**

- ✓ Planchers RDC/Etage courant/Terrasse (accessible ou non accessible).
- ✓ Dalles pleines.
- ✓ Paliers/volées escaliers

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

## Introduction des appuis

A ce stade, on peut vérifier la structure.

Corriger les erreurs et les avertissements avant de continuer.

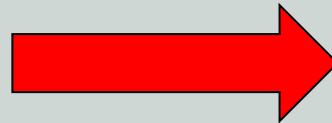
## 2. 3. 2 Masses sismiques et analyse modale

(Détails Chapitre 05)

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

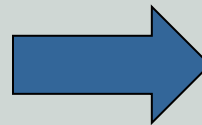
### Définition des masses sismiques (RPA)

Objectif



Vérification des participations modales

Choisir une masse cohérente



Introduire  $G + \psi Q$

Calcul

GO!

Rem : On reviendra sur le choix du nombre de modes. Laisser « 10 » par défaut, en attendant.

## Vérification des résultats de l'analyse modale avant de continuer

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

### 1. Période fondamentale

- ✓ Eviter les structures très souples.
- ✓ Période fondamentale de l'ordre 1,0 s – 2,0 s

### 2. Participations modales

- ✓ Mode 1 : Suivant X, > 50%, suivant « Y » faible
- ✓ Mode 2 : suivant X faible, suivant Y > 50%
- ✓ Mode 3 : Faibles suivant X et Y

Objectif

Structure bien dimensionnée

Mode 1 : Flexionnel « X »  
Mode 2 : Flexionnel « Y »  
Mode 3 : Torsionnel

+

Suivant X et Suivant Y, les masses cumulées  $\geq 90\%$  (pour les modes choisis)

## 2. 3. 3 Etude sismique

(Détails Chapitre 06)

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

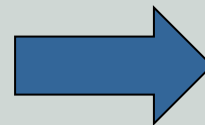
### Actions accidentelles Ex et Ey

Objectif



Analyse dynamique (**spectrale** (modale spectrale) ou **MSE** (forces latérales équivalentes))

Résultats principaux



- ✓ Efforts internes (N, M, V),
- ✓ Déplacements,
- ✓ Déplacements inter-étages,
- ✓ Effort tranchant à la base.

Analyse spectrale

## Analyse spectrale



## Besoin d'un spectre (RPA)

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

### Données RPA

- ✓ Zone sismique
- ✓ Importance de l'ouvrage
- ✓ Site
- ✓ % d'amortissement

### Déduire

- ✓ Coefficient d'importance
- ✓ Coefficient de correction «  $\lambda$  »
- ✓ T1, T2 et T3
- ✓ Temp (à comparer avec T0 (robot))
- ✓ Tcal
- ✓ Coefficient de comportement « R »
- ✓ Facteur de qualité « Qf »

Avant d'introduire le spectre, peut être, il faut vérifier les régularités  
(en plan et en élévation)

**Pb**  
**Symétrie**

**Pb**  
**Symétrie**

**Calcul des rayons  
de torsion et de  
giration**

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles  $E_x$  et  $E_y$ ).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

**En plan**

**En élévation**

**Résultats ROBOT**

**Résultats ROBOT**

- ✓ Centre de masse ( $G(x,y,z)$ )
- ✓ Centre de rigidité ( $R(x,y,z)$ )
- ✓ Excentricité théorique suivant X ( $e_{x0}$ )
- ✓ Excentricité théorique suivant y ( $e_{y0}$ )
- ✓ Excentricité accidentelle  $e_{x2}$
- ✓ Excentricité accidentelle  $e_{y2}$

- ✓ Masse par étage  $M_i$
- ✓ Rigidités par étage  $K_i$

**Vérification des points  
 $b_1, b_2, b_3$  et  $b_4$  (RPA)**

**Vérification des points  
 $a_2, a_3$  et  $a_4$  (RPA)**

**Par étage  
Suivant X et Y**

**Par étage  
Suivant X et Y**

Analyse spectrale



Introduction du spectre

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles  $E_x$  et  $E_y$ ).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

Génération du spectre de calcul  
( $T_i$ ,  $S_{ai}/g$ ) (n'importe quel logiciel disponible)

Suivant X  
et Y

$E_x$



Introduire spectre suivant X  
(Excentrement + direction)

$E_y$



Introduire spectre suivant Y  
(Excentrement + direction)

Calcul

GO!

Effort tranchant à la base  $V_{tx}$  et  $V_{ty}$   
(à comparer avec  $V_{MSE}$ )

$V_{tx}$  ou  $V_{ty}$  $V_{MSE}$ 

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles  $E_x$  et  $E_y$ ).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

$V_{tx}$  (robot): Somme des réactions  $F_x$  (avec  $E_x$ )

$V_{ty}$  (robot): Somme des réactions  $F_y$  (avec  $E_y$ )

$$V_{MSE} = \lambda \frac{S_a(T_0)}{g} W$$

$$V_{tx}, V_{ty} > 0,8 V_{MSE}$$

Sinon, refaire les calculs avec une correction de  $\frac{0,8 V_t}{V_{MSE}}$

## 2. 3. 4 Combinaisons des charges

(Détails Chapitre 07)

Selon RPA

Fondations  $\neq$  Autres  
composantes (Plus loin)

Autre que  
fondation

Composantes horizontales  
de l'action sismique

$$G + \psi Q + E_1$$

$$G + \psi Q + E_2$$

Avec

$$E_1 = \pm E_x \pm 0,3E_y$$

$$E_2 = \pm 0,3E_x \pm E_y$$

04 Combinaisons E1  
04 Combinaisons E2

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles  $E_x$  et  $E_y$ ).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

## 2. 3. 5 Justifications

(Détails Chapitre 07)

1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

Vérification de l'effet noyau  
(Système 6) (§ 3.5)

$$r_x \leq I_s$$

$$r_y \leq I_s$$

Justification vis-à-vis de  
l'équilibre d'ensemble  
(Renversement) (§ 5.5)

$$M_s \geq 1,3 M_r$$

Justification vis-à-vis de la  
résistance des planchers (§ 5.6)

Transmission des  
diaphragmes, avec une sur-  
résistance suffisante, les effets  
des actions sismiques  
combinaisons des charges (Eq 5.6)

Justification de la largeur des  
joints sismiques (Si on a 02 blocs  
voisins) (§ 5.8)

$$d_{min} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \\ 40 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Justification vis-à-vis de l'effet  
P- $\Delta$  (§ 5.9)

$$\theta = \frac{P_k \Delta_k}{V_k h_k} \leq 0,1$$

Justification vis-à-vis des  
déplacements inter-étages (§  
5.10)

$$v_A \Delta_k \leq \overline{\Delta}_k \text{ (limite)}$$

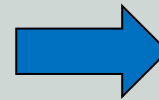
Justifications avant  
calcul ferrailage

## 2. 3. 5 Justifications

(Détails Chapitre 07)

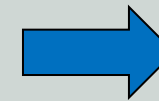
1. Application des charges statiques sur le modèle. (ELU, ELS)
2. Définition des masses sismiques et Analyse modale.
3. Etude sismique (Actions accidentelles Ex et Ey).
4. Introduction des différentes combinaisons.
5. Divers justifications

Justification vis-à-vis de la résistance (§ 5.3)



$$S_d < R_d$$

Justification vis-à-vis de la ductilité (§ 5.4)



Dispositions constructives

Justification de la stabilité des fondations (§ 5.7)



Exigences (Chap X) et aux combinaisons des charges (Eqs 5.7 et 5.8)

Justifications après calcul ferrailage

**Etape 4**



**Ferrailage**

## 2. 4 Ferrailage

Le ferrailage concernera :

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières.
3. Dalle corps creux.
4. Dalle pleine (Dalle, Paliers/volées escaliers).
5. Voiles
6. Semelle isolée
7. Semelle filante
8. Radier

**Finalité de  
l'étape 4**

**Plans d'exécution BA, complets**

## 2. 4. 1 Ferrailage poteaux

(Détails Chapitre 08)

§ 7.4.1  
Page 106

On peut commencer par vérifier le coffrage des poteaux selon RPA (si on ne l'a pas encore fait avant)

1.

**Spécifications Coffrage**  
Min  $b_1$ ;  $h_1$  (en fonction des zones)

2.

Exigences de ductilité pour la zone critique

**Zone critique**  
(Zone nodale)

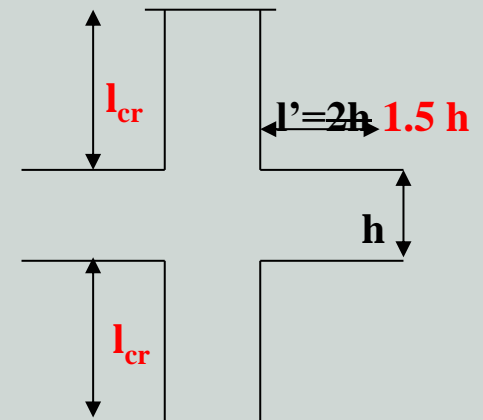
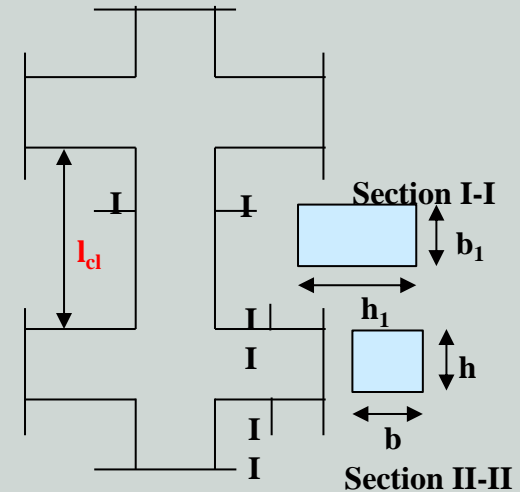
$l_{cr}$

3.

**Spécifications Ferrailage**

- ✓ Longitudinal : % min; % max;  $\phi$  min; etc...
- ✓ Transversal :  $t_{min}$ ;  $A_{tmin}$

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...



§ 7.4.2  
Page 107

§ 7.4.2  
Page 108

§ 7.4.3  
Page 110

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

## Vérifications spécifiques pour les poteaux

Pour éviter ou limiter le risque de rupture fragile

Effort normal de  
compression de calcul

$$v = \frac{N_d}{B_c f_{c28}} \leq 0,35$$

Sollicitations  
tangentes

$$\tau_{bu} \leq \bar{\tau}_{bu} = \rho_d f_{c28}$$

$$\rho_d = 0,075 \text{ Si } \lambda_g \geq 5$$

$$\rho_d = 0,04 \text{ Si } \lambda_g < 5$$

## Le ferrailage des poteaux : **Longitudinal**

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

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

**Flexion  
composée**

Efforts et moments (N  
(Fx), My et Mz) (par filtre)

*ELU*  
*Accidentelles (08)*

On s'intéresse à :

✓  $N_{\min}$  (Compression +);  $N_{\max}$  (Traction -);  $M_{y\max}$ ;  $M_{z\max}$

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

**EXPERT  
BA**

**Choix  
d'armature  
pour la  
section**

## Sollicitations tangentes

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

Efforts tranchants

 $F_{y\max}$  ,  
 $F_{z\max}$  ?

 $Max \left\{ \begin{array}{l} ELU \\ Accidentelles (08) \end{array} \right.$ 

Détermination de « t » et de « At » (On fixe un et on détermine l'autre)

$$\frac{A_t}{t} = \frac{\rho_d V_u = (F_{y\max} \text{ ou } F_{z\max})}{h_1 f_e}$$

On vérifie

$$\tau_{bu} = \frac{T = (F_{y\max} \text{ ou } F_{z\max})}{b_0 d} \leq \bar{\tau}_{bu} = \rho_d f_{c28}$$

## 2. 4. 2 Ferrailage poutres

(Détails Chapitre 09)

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

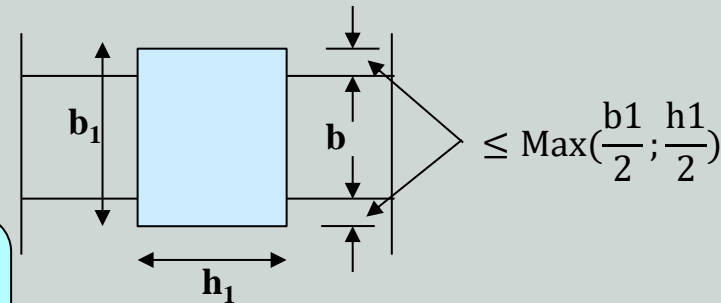
§ 7.5.1  
Page 111

On peut commencer par vérifier le coffrage des poutres selon RPA (si on ne l'a pas encore fait avant)

1.

### Spécifications Coffrage

Min  $b$ ;  $h$  (en fonction des zones)



2.

Exigences de ductilité pour la zone critique

Zone critique  
(Zone nodale)

$l_{cr}$

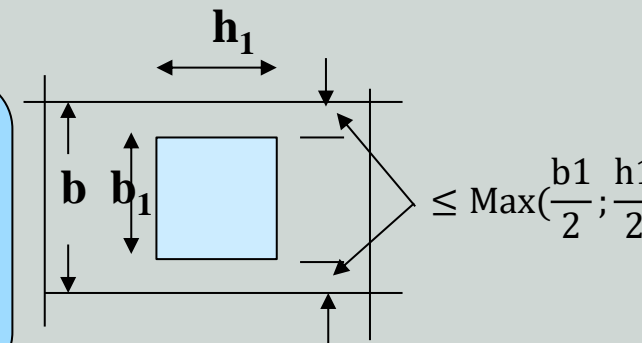
§ 7.5.2  
Page 111

§ 7.5.2  
Page 112

3.

### Spécifications Ferrailage

- ✓ Longitudinal : % min; % max;  $\phi$  min; etc...
- ✓ Transversal :  $t_{\min}$ ;  $A_{t\min}$



## Le ferrailage des poutres : longitudinal

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

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

En appui

**Flexion simple**

En travée

Tirer uniquement les moments ( $M_y$ ) (par filtre)

*ELU*  
*Accidentelles (08)*  
 $+E_x + E_y$

On s'intéresse à «  $M_{y_{max}}$  », en appui et en travée

Des 02 combinaisons (ELU, ELA), on prend les valeurs recherchées ( $M_{y_{max}}$ )

**EXPERT BA**

**Choix d'armature pour la section**

## 1. Vérifications des contraintes

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

Calcul des sections

$F_{zmax}$  ?

$$A_t = 0,003 s. b$$

Vérifications

$F_{zmax}$  ?

ELS

Avec les sections déjà calculées

EXPERT  
BA

Calcul des  
contraintes  
Max (Béton  
eEndra)ée

A comparer avec les contraintes limites  
(béton et acier)

## 2. Vérifications de la flèche

$M_{ymax}$  ?

G

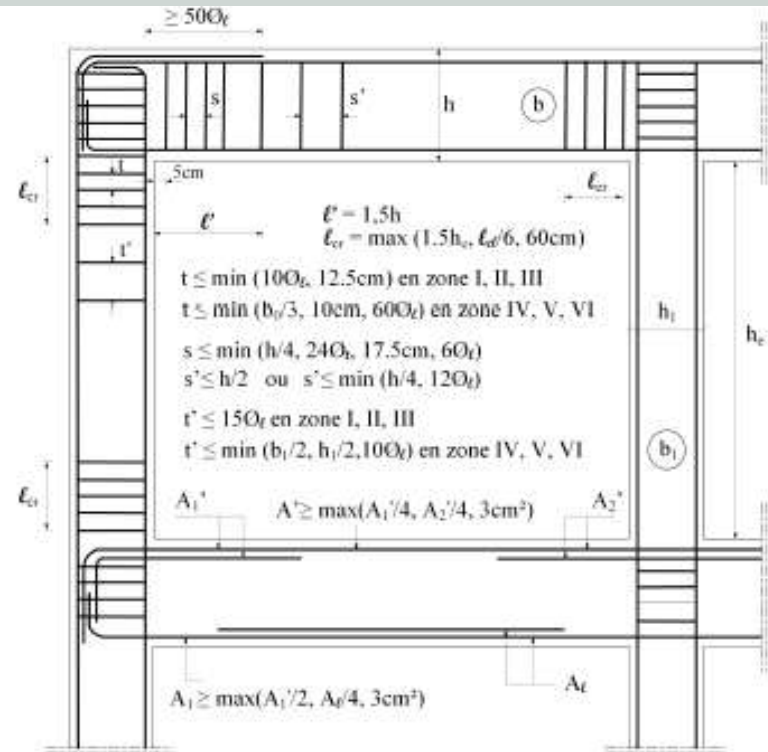
ROBOT

Calcul la  
flèche avec  
 $0,8 M_{ymax}$   
(Forfaitaire)

A comparer avec les flèches admissibles

**Il faut**

**Dispositions constructives des portiques**



$\ell_c$ : longueur libre

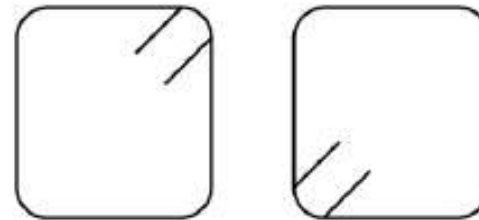
$\ell_{cr}$ : longueur critique

$h_c$ : plus grande dimension de la section transversale du poteau

$\ell'$ : longueur critique de la poutre

$b_0$ : dimension minimal du noyau béton

(a) Détail d'un cours d'armatures transversales de la zone nodale



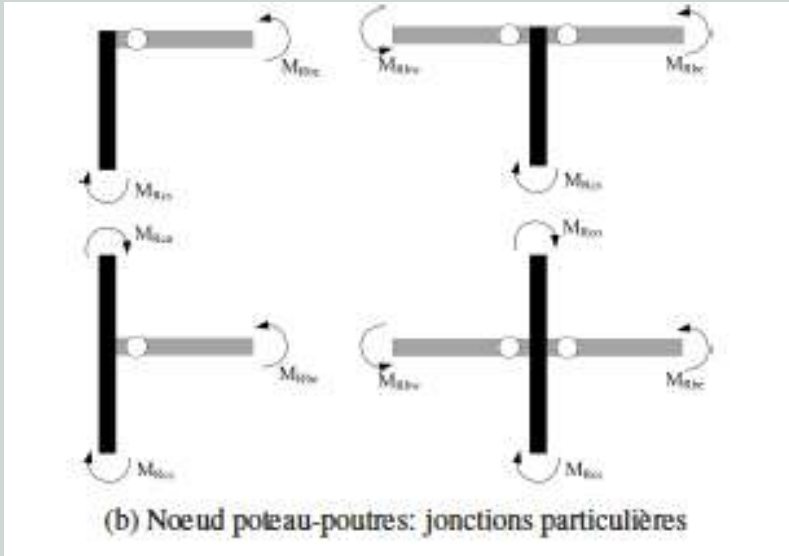
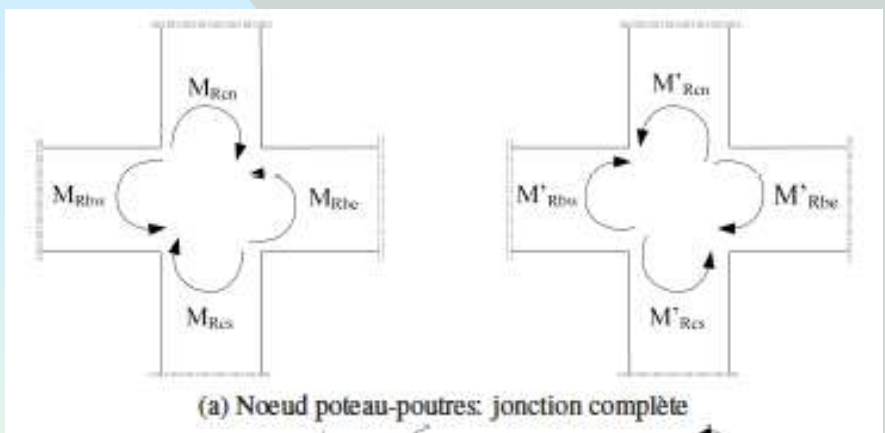
(b) Deux cadres fermés (avec alternance dans l'orientation)

Figure 7.5: Spécifications pour les nœuds poteaux-poutres

# 4. Spécifications nœuds poteaux-poutres

**Il faut**

**Dimensionnement des nœuds vis-à-vis des moments fléchissants**



$$|M_{Rcn}| + |M_{Rcs}| \geq \mathbf{1,25} \mathbf{1,30} (|M_{Rbw}| + |M_{Rbe}|)$$

$$|M'_{Rcn}| + |M'_{Rcs}| \geq \mathbf{1,25} \mathbf{1,30} (|M'_{Rbw}| + |M'_{Rbe}|)$$

**Ne s'applique pas**

**2024**

**Dernier niveau de bâtiments à plusieurs étages  
Aux portiques contreventés par des voiles (Système 6)**



**On refait la même  
chose avec**



**Chainages et  
poutres  
palières**

## 2. 4. 3 Ferrailage dalle en corps creux

(Détails Chapitre 10)

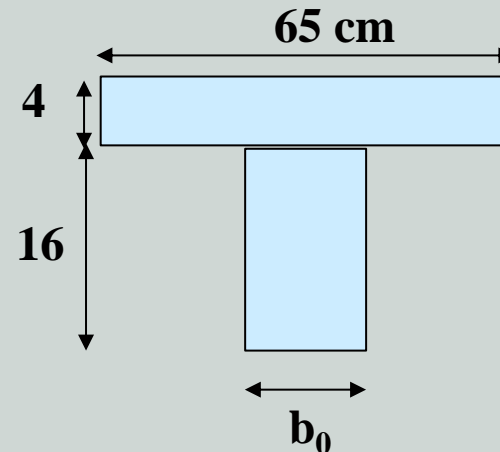
1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. ...

C'est le ferrailage des poutrelles

On choisit une section en « T »  
et on la charge (par ml)

Prédimensionnement

1.  $\frac{l}{20} \leq h \leq \frac{l}{25} \approx h = \frac{l}{22,5}$
2.  $0,4 h_t \leq b_0 \leq 0,8 h_t$



En appui et en travée

$M_{y_{max}}$  ?

ELU; ELS

EXPERT  
BA

Calcul des  
sections  
des  
armatures

A comparer  
avec

Min RPA

## 2. 4. 4 Ferrailage dalle pleine

(Détails Chapitre 11)

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. Dalle pleine
5. ...

Cas de plancher en dalle pleine, du palier et du volée des escaliers

armatures supérieures

Suivant « x »

et

Suivant « y »

$M^+_{x\max}$   
?

ELU; ELA

EXPERT  
BA

Calcul  
armatures  
supérieures  
suivant « x »

$M^-_{x\max}$   
?

ELU; ELA

EXPERT  
BA

Calcul  
inférieures  
supérieures  
suivant « x »

$M^+$  → armatures supérieures

$M^-$  → armatures inférieures

# Vérifications

1. Poteaux.
2. Poutres/Chainages/Poutres palières
3. Dalle corps creux
4. Dalle pleine
5. ...

1. L'effort tranchant



**EXPERT  
BA**

**Contrainte de cisaillement  
(ELU ou ELA)**

**Règles  
BAEL**

Si nécessaire

2. Justifications des armatures d'effort tranchant (Ajouter des cadres)

3. Justifications du béton avec armatures d'effort tranchant

## 2. 4. 6 Ferrailage Semelle Isolée

(Détails Chapitre 12)

1. Poteaux.
2. ...
6. Semelle isolée
7. Semelle filante
8. Radier

### 1. Spécifications Longrine : Dim minimales; Ferrailage minimal

### 2. Semelle calculée à

Compression  
simple  
( $N_{max}$ )

Ou

Flexion  
composée ( $N$ ,  
 $M_y$ ,  $M_z$ )

Pour  $h > 1.20$  m

Pour  $h \leq 1.20$  m

Aussi, le cas où les  
longrines sont posées  
directement sur les  
semelles

ELU, ELS, ELA

Poteau le  
plus chargé

- $N_{max}$  avec ( $M_y$ ,  $M_z$ )
- $M_{y_{max}}$  avec  $N$  et  $M_z$
- $M_{z_{max}}$  avec  $N$  et  $M_y$

## Combinaison de charges

Fondations communes à plusieurs éléments verticaux

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

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

Longrines de fondation, semelles filante, radiers etc.

et

Fondations d'éléments verticaux individuels

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

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

Voiles ou poteaux

Vérification au poinçonnement

Vérification des contraintes de sol  
(Suivant x et y)

1. Poteaux.
2. ...
6. Semelle isolée
7. Semelle filante
8. Radier

## 2. 4. 7 Ferrailage Semelle Filante

(Détails Chapitre 13)

Poutre inversée

1. Poteaux.
2. ...
6. **Semelle isolée**
7. Semelle filante
8. Radier

## 2. 4. 8 Ferrailage Radier

(Détails Chapitre 14)

Nervuré ou non

Pour  $h \leq 1.20$  m

## 2. 4. 9 Ferrailage Voile

(Détails Chapitre 15)

Élément coque (dalle verticale)

Flexion  
composée (N,  
My, Mz)

# 3. Documents structurels

**Le projet nécessite une documentation à finaliser et à présenter aux concernés**

**Objectif**



**Justifier la sécurité réglementaire**  
**Permettre l'exécution correcte sur chantier**  
**Assurer la traçabilité technique du projet**

**Plan d'exécution**



- ✓ **Note de calcul**
- ✓ **Plans de coffrage**
- ✓ **Plans de ferrailage**
- ✓ **Quantitatifs**

## 3. Documents structurels

### 1. Note de calcul

- ✓ Pour justifier les choix structurels
- ✓ Prouver la conformité aux règlements (BAEL, RPA, CBA...)
- ✓ Servir de référence en cas de contrôle ou litige

### 2. Plans de coffrage

- ✓ Pour définir la forme et les dimensions des éléments en béton (**Géométrie de la structure**)
- ✓ Servir de base aux plans de ferrailage

### 3. Plans de ferrailage (Document d'exécution)

- ✓ Type, diamètre, nombre et position des armatures (transversales et longitudinales)
- ✓ Garantir la conformité au calcul et au RPA

### 4. Quantitatifs des aciers (Optionnel mais recommandé)

- ✓ Tableau des aciers par élément
- ✓ Poids total des aciers
- ✓ Aide au chiffrage et au suivi chantier

**Merci. Fin du chapitre 01**

***[www.abdellatif-megnounif.com/?action=cours](http://www.abdellatif-megnounif.com/?action=cours)***



# *Dynamique des structures*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Prochain Cours**

**Chap. 02**

**Modélisation - Prédimensionnement**

**COURS 02**