

CHAPITRE I : DONNEES ET HYPOTHESES DE CALCUL

I-1. Les Eurocodes

Les Eurocodes sont des normes européennes de conception, de dimensionnement et de justification des structures imposées depuis 2010 en Europe. On distingue 10 groupes d'Eurocodes selon leur spécialité :

- EN 1990 Eurocode 0 : Bases de calcul des structures
- EN 1991 Eurocode 1 : Actions sur les structures
- EN 1992 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton
- EN 1993 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier
- EN 1994 Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton
- EN 1995 Eurocode 5 : Calcul des structures en bois
- EN 1996 Eurocode 6 : Construction en maçonnerie
- EN 1997 Eurocode 7 : Calcul géotechnique et fondation
- EN 1998 Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance au séisme
- EN 1999 Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium

A ces textes de bases sont ajoutés des annexes nationales, propres à chaque pays, afin d'améliorer les normes pour qu'ils soient plus en conformité avec les besoins locales.

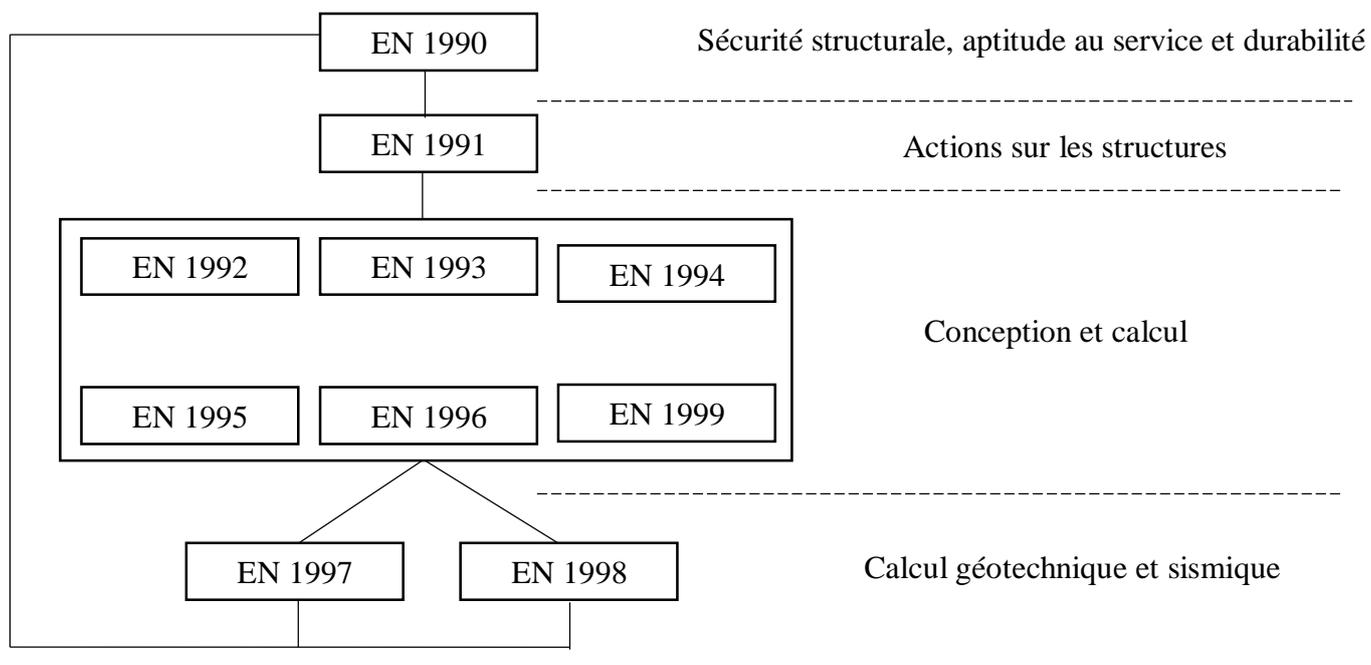


Figure 14: Présentation des différents Eurocodes

I-1.Caractéristiques du bâtiment selon l'Eurocode

L'Eurocode 1 introduit une notion nouvelle, celle de la durée d'utilisation du projet. Cette notion est reprise dans l'Eurocode 2 béton pour définir les enrobages du béton armé. En général, on retient la catégorie S4 de durée de vie de 50 ans et moins pour le bâtiment, le tableau sur la durée indicative d'utilisation de projet (tableau 2-1 de l'EC 2) est présenté en annexe II-1.

Les hypothèses concernant les actions du vent seront développés dans le chapitre « évaluation de l'action du vent ».

I-2.Les principes du calcul aux états limites

On retrouve aux Eurocodes la notion des calculs aux états limites du BAEL. Un état limite est un état d'une structure au-delà duquel sa fonction n'est plus remplie. On distingue :

- L'ELS liés aux conditions normales d'exploitation, de durabilité en service : déformations, vibrations, fissurations ;
- L'ELU qui concerne la capacité portante, la sécurité des personnes ou de la structure : rupture des sections, instabilité de forme, perte d'équilibre statique...

I-2.Caractéristiques du bâtiment selon l'Eurocode 1 (NF EN 1991)

L'Eurocode NF EN 1991-1-1 publié en Mars 2003 définit les actions appliquées sur les structures.

I-2-1.Les charges permanentes

Les charges permanentes sont les suivantes :

- Toiture terrasse à végétation extensive

Tableau 13: Charge permanente de la toiture terrasse

désignation	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	Poids surfacique (kN/m ²)
Végétation +substrat (saturé en eau)	20	0,08	1,6
élément de drainage (gravillon)	12	0,05	0,6
couche d'étanchéité bicouche bitume 2cm	25	0,02	0,5
forme de pente en béton ordinaire de 2% 7,5cm	22	0,075	1,65
dalle de 20cm	25	0,20	5
enduit de plâtre	12	0,015	0,18
TOTAL			9,53

➤ Planchers à carreaux (cuisine ; salle d'eau)

Tableau 14: Charge permanente du plancher à carreaux

désignation	Charges kN/m ²
dalle 25 cm	6,25
faux plafond	0,14
revêtement en grès cérame 10x10 avec mortier de pose	0,6
TOTAL	6,99

➤ Plancher chambres avec parquets

Tableau 15: Charge permanente du plancher à parquet

désignation	Charges kN/m ²
dalle 25 cm	6,25
faux plafond	0,14
Revêtements en parquet	0,25
TOTAL	6,64

➤ Matériaux de construction

Tableau 16: Charges permanentes des matériaux de construction

Désignation	Poids volumique (kN/m ³)
Béton armé	25
enduit de ciment	18
Béton non armé	22

I-2-3. Les surcharges d'exploitation

I-2-3-1. Catégories d'usage

L'EC 1 distingue quatre (4) catégories A, B C et D selon l'usage des bâtiments. Les charges sur les planchers, balcons et les escaliers sont fonction de ces catégories. Le tableau 6-2 de l'EC 1 donne les précisions suivantes :

Tableau 17: Catégorie des surcharges d'exploitation selon l'EC1

Catégorie	Usage spécifique	Exemples
A	Habitation résidentielle	Pièces de bâtiments et maisons d'habitation
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion à l'exception des surfaces catégorie A, B et D	Restaurants, bibliothèques, salle de gymnastique, salle de concerts, etc...
D	commerces	Magasins, commerce de détail courant

Les toitures sont divisées en trois (3) catégories :

Tableau 18: Catégories des surcharges d'exploitation de la toiture selon l'EC1

catégorie	Usage spécifique
H	Toitures inaccessibles sauf pour entretien
I	Toitures accessibles pour des locaux de catégorie A à D
K	Toitures accessibles pour des usages particuliers (hélistations par exemple)

En conclusion, le projet est à usage d'appartements donc de catégorie A et les toitures de catégories H et I selon le cas.

I-2-3-2. Valeur des actions

Les valeurs des charges d'exploitation uniformément réparties suivantes sont prises en fonction de la catégorie d'usage des pièces. L'EC1 définit les valeurs suivantes pour la catégorie A :

Tableau 19: Valeur des surcharges d'exploitations dans la catégorie A

Catégorie d'usage A	Surcharge d'exploitation en kN/m ²
Planchers	1,5
Escaliers	2,5
Balcons et terrasses	3,5

Pour les toitures, une charge uniformément répartie de 1kN/m^2 est appliquée aux toitures de catégorie H, pour les catégories I elle est égale à $3,5\text{kN/m}^2$.

Sur les garde-corps, l'Eurocode prévoit des charges d'exploitation horizontales de $0,6\text{kN/m}$ pour les locaux de catégories A.

I-2-4. Classes d'exposition

La notion de fissure peu préjudiciable, préjudiciable ou très préjudiciable du BAEL n'existe plus. Elle est remplacée par des classes d'exposition définissant les enrobages minimaux, des conditions de maîtrise des fissures.

Il existe 6 grandes classes d'exposition selon la norme NF EN 1991-1-1 :

- XO : aucun risque de corrosion ni d'attaque ;
- XC : corrosion induite par carbonatation ;
- XD : corrosion induite par des chlorures
- XS : corrosion induite par des chlorures présents dans l'eau de mer ;
- XF : attaque gel-dégel ;
- XA : attaque chimique.

Le bâtiment est exposé à l'air et à l'humidité, de ce fait il y a risque de corrosion induite par carbonatation. Le bâtiment est alors de classe XC qui englobe des sous-classes. Les conditions d'appartenance à une sous-classe d'un élément sont présentées en annexes II-2.

Les classes d'exposition de chaque élément sont donc comme suit :

Tableau 20: Classes d'expositions des éléments de la structure

désignation	Classe d'exposition
Plancher intérieur	XC1
Balcons	XC4
Toiture-terrasse végétalisée	XC2
Poteaux et poutres intérieures	XC1
Voiles intérieures	XC1
Voiles de façades	XC4
Dallage sur vide sanitaire	XC2
Fondation	XC2

I-3. Matériaux

I-3-1. Béton

Le béton utilisé pour les éléments porteurs de l'édifice est un béton Q350 fabriqué avec du ciment CEMII-42,5N.

I-3-1-2. Résistance à la compression

- Résistance caractéristique à la compression du béton f_{ck} :

La résistance caractéristique du béton en compression notée f_{ck} , est définie à 28 jours d'âge. Pour la classe de béton C25/30 que nous allons utiliser lors du dimensionnement des éléments porteurs, elle a la valeur de :

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

- Résistance moyenne à la compression du béton f_{cm} :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [\text{MPa}]$$

$$\text{De (1) et (2) } f_{cm} = 33 \text{ MPa}$$

- Résistance de calcul à la compression f_{cd} :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad [\text{MPa}]$$

Avec $\alpha_{cc} = 1$ pour les bâtiments et $\gamma_c = 1,5$ d'où :

$$f_{cd} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

I-3-2-3. Résistance à la traction

- Traction moyenne notée f_{ctm} :

Cette valeur est utilisée lors de l'évaluation des déformations. Pour les bétons de classe C12 à C50 :

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad [\text{MPa}]$$

Pour un béton de classe C25/30 :

$$f_{ctm} = 0,3 \times 25^{2/3} = 2,6 \text{ MPa}$$

- L'EC2 retient la valeur moyenne de résistance à la traction et en déduit deux valeurs caractéristiques contrairement au BAEL qui ne fait référence qu'à une seule valeur caractéristique f_{tj} , ces valeurs sont :
- Valeur caractéristique inférieure $f_{ctk,0,05} = 0,7f_{ctm}$: pour le calcul de la contrainte ultime d'adhérence (longueur d'ancrage et section d'aciers de couture) ;
 - Valeur caractéristique supérieure $f_{ctk,0,95} = 1,3f_{ctm}$: pour le calcul des effets des actions indirectes avant fissuration (par exemple, calcul du pourcentage minimal d'armatures).

I-3-2-4. Module de déformation

- Le module de déformation sous charge de courte durée est :

$$E_{cm} = 22\,000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \quad [MPa]$$

Avec un béton de classe C25/30

$$E_{cm} = 2200 \left(\frac{25 + 8}{10} \right)^{0,3} = 31\,475 \text{ MPa}$$

- Le module de déformation en fonction du temps :

$$E_{cm}(t) = E_{cm} \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} \quad [MPa]$$

- Le module d'élasticité effectif du béton sous une charge de longue durée est :

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}(t_0)}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \quad [MPa]$$

Avec :

$\varphi(\infty, t_0)$: Coefficient de fluage fonction de l'humidité relative, de la classe du ciment, de la classe du béton et de l'âge du béton lors du chargement fourni par des abaques ;

t_0 : Age du béton lors du chargement.

I-3-2-5. Diagramme des contraintes pour l'étude des sections

Comme le BAEL, l'Eurocode 2 admet pour les justifications des sections en flexion un diagramme de contrainte rectangulaire, sous réserve de retenir une hauteur comprimée réduite d'un coefficient $\lambda = 0,8$ ($y = 0,8.x$) et $\eta = 1$ pour les bétons de classe $\leq C 50/60$.

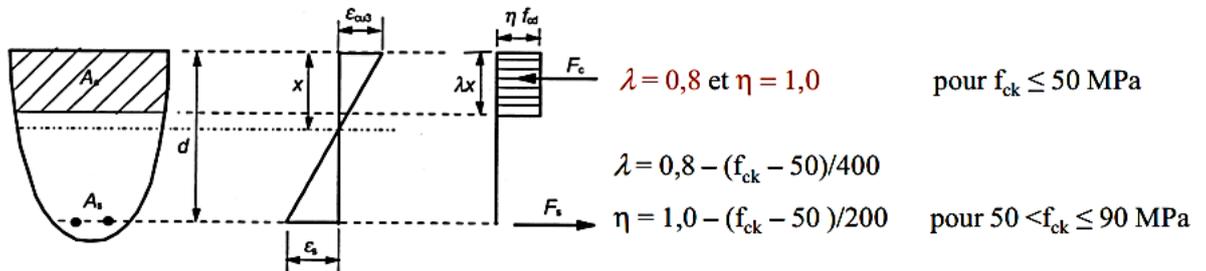


Figure 15: Diagramme de contrainte rectangle simplifié du béton

I-3-2-6. Tableau récapitulatif des caractéristiques du béton utilisé

Tableau 21 : Caractéristiques du béton utilisé dans les calculs

Béton de classe C25/30						
f_{ck} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	E_{cm} (MPa)	ϵ_{c2} (‰)	ϵ_{cu2} (‰)
25	2,6	1,8	3,3	31 475	2,0	3,5

I-3-3. Aciers

I-3-2-1. Limite d'élasticité

L'EC2 limite le domaine d'application du béton armé aux aciers de limite élastique inférieure ou égale à 600MPa, dans le cadre de ce projet les aciers sont supposés avoir une limite élastique de :

$$f_y = f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

I-3-2-2. Ductilité

Il existe 3 classes de ductilité des aciers :

- Classe A : ductilité normale pouvant avoir un allongement maximum $\epsilon_{uk} \geq 2,5\%$ qui sont des laminés à froid ou tréfilés;
- Classe B : haute ductilité avec $\epsilon_{uk} \geq 5\%$, des laminés à chaud ;
- Classe C : très haute ductilité avec $\epsilon_{uk} \geq 7,5\%$ aciers utilisés dans les constructions parasismiques.

Dans ce projet, nous allons utiliser dans le béton armé des aciers S500B qui sont les plus présents sur le marché local.

I-3-2-3. Résistance de calcul à la traction f_{yd}

L'Eurocode 2 retient pour la justification des sections une résistance de calcul égale à :

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad [MPa]$$

Avec $\gamma_s = 1,15$ et $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$:

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

I-3-2-4. Module d'élasticité E_s

Le module d'élasticité est prise égale à :

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa}$$

I-3-2-5. Diagramme contrainte-déformation pour l'étude des sections

Il existe deux (2) types de diagrammes contrainte-déformation utilisables en EC2 qui sont le diagramme à palier incliné et le diagramme à palier horizontal, pour notre cas nous allons utiliser le diagramme à palier horizontal.

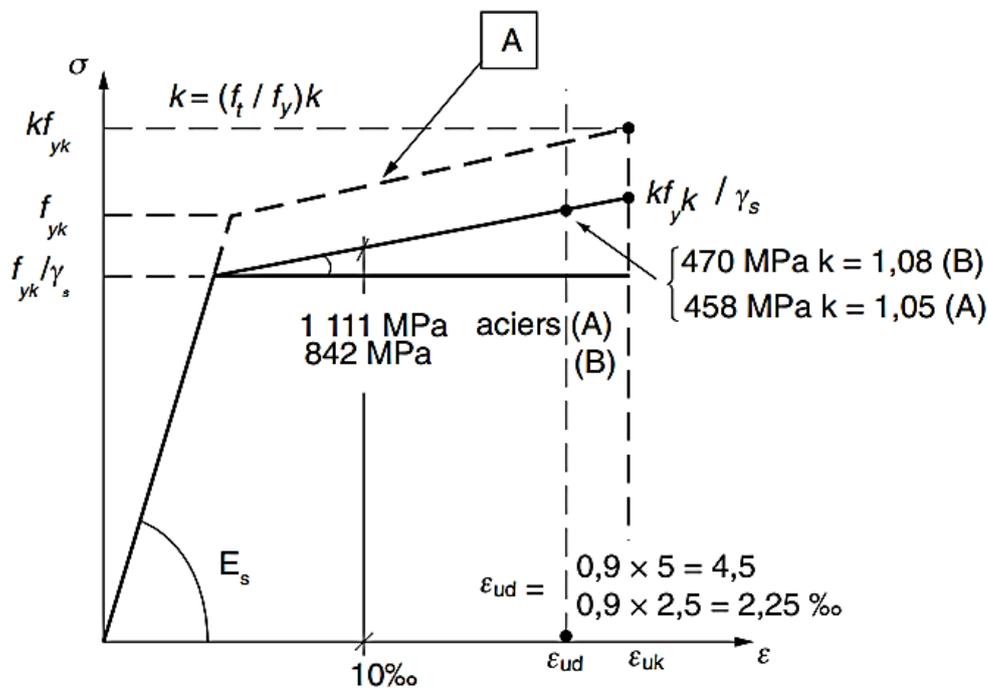


Figure 16: Diagramme contrainte-déformation générale de l'acier

I-3-2-6. Tableau récapitulatif des caractéristiques des aciers utilisés

Tableau 22: Caractéristiques de l'acier à prendre en compte dans le calcul

Acier S500B			
f_y (MPa)	ε_{uk} (‰)	f_{yd} (MPa)	E_s (MPa)
500	5	435	200 000

I-3-4. Enrobage des aciers

L'enrobage minimal est imposé pour assurer : la bonne transmission des forces d'adhérence, l'absence d'épaufrures, la résistance au feu et la protection des aciers contre la corrosion. Il est en fonction de la classe d'exposition de l'élément étudié.

L'enrobage minimal C_{nom} est donné par l'expression :

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

Avec $C_{min} = \max(C_{min,b} ; C_{min,dur} + \Delta C_{dur} - \Delta C_{dur,st} - C\Delta_{dur,add} ; 10mm)$

Où :

- Pour les exigences d'adhérence :

$$C_{min,b} \geq \emptyset$$

\emptyset : Diamètre de la barre d'acier ou diamètre équivalent du paquet de barre.

- Pour la durabilité en fonction de l'environnement, $C_{min,dur}$ est donnée en mm par le tableau suivant :

Tableau 23: Valeurs de l'enrobage minimal $C_{min,dur}$ selon la classe structurale

Classe structurale	Classe d'exposition						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	25	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	10	25	35	40	45	50	55

- condition sur la marge de sécurité des enrobages :

$$C_{min,dur} = 0 \text{ mm}$$

- Possibilité de diminuer les enrobages :

L'Eurocode ne conseille pas de diminuer les enrobages donc la valeur recommandée est

$$\Delta C_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Possibilité de diminuer les enrobages si protection additionnelle du béton :

$$\Delta C_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Condition sur la marge de sécurité à prendre sur les enrobages :

$$\Delta C_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

- Prise en compte des tolérances d'exécution :

$$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$$

Le bâtiment étant classé en catégorie S4, pour chaque classe d'exposition des éléments, on a les enrobages suivants :

Tableau 24: Enrobages à prendre en compte dans les calculs

désignation	Classe d'exposition	C _{nom} (mm)
Plancher intérieur	XC1	25
balcons	XC4	40
Toiture-terrace végétalisé	XC2	35
Poteaux et poutres intérieures	XC1	25
Voiles intérieures	XC1	25
Voiles de façades	XC4	40
Dallage sur vide sanitaire	XC2	35
Fondation	XC2	35

I-4. Combinaisons d'actions

A chaque état limite correspond une combinaison d'action pour l'évaluation des sollicitations à prendre en compte dans le dimensionnement. Les états limites sont des états particuliers au-delà desquels une structure ne satisfait plus les exigences pour lesquelles elle a été conçue et dimensionnée :

- Etat Limite Ultime (ELU) qui concerne la sécurité des personnes et des structures, il correspond généralement à l'état où la capacité portante de la structure est atteinte ;
- Etat Limite de Service (ELS) qui concerne le fonctionnement de la structure ou des éléments structuraux en utilisation normale, le confort des personnes, l'aspect de la construction.

I-4-1. Etat limite ultime :

En fonction de la situation du projet (durable, accidentelle ou transitoire) la combinaison d'action à l'ELU varie. La combinaison utilisée pour le dimensionnement des éléments se fait à l'ELU fondamentale correspondant à une situation de projet durable ou transitoire :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Avec

- $\gamma_{Gj} = 1,35$ si G favorable sinon 1 ;
- $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,5$;
- $\psi_{0,i} = 0,6$ si action du vent est l'action variable d'accompagnement; $\psi_{0,i} = 0,7$ si surcharge d'exploitation.

I-4-2. Etat limite de service :

La combinaison à l'ELS varie en fonction du type de justification à faire, dans notre cas nous allons utiliser :

- l'ELS caractéristique utilisé pour la vérification de la contrainte dans les aciers et la contrainte dans le béton :

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$\psi_{0,i} = 0,6$ si action du vent est l'action variable d'accompagnement ;

$\psi_{0,i} = 0,7$ si surcharge d'exploitation.

- L'ELS quasi-permanente pour la vérification de la flèche et de l'ouverture des fissures :

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$\psi_{2,1} = 0,3$ si la surcharge d'exploitation est l'action variable d'accompagnement

$\psi_{2,1} = 0,0$ si l'action du vent est l'action variable d'accompagnement