

Ouvrages en béton armé du dimensionnement au chantier

Tome 1

Sébastien Semelaigne

EXPERTISE
TECHNIQUE

EDITIONS

LE MONITEUR

Sommaire

Avant-propos.....	7
Principales notations	9
PARTIE 1 Théorie	13
CHAPITRE 1 Matérialisation des efforts sollicitants	15
CHAPITRE 2 Quantification des efforts sollicitants	113
CHAPITRE 3 De la RDM au béton armé	195
CHAPITRE 4 Analyse structurale du béton armé	295
PARTIE 2 Dispositions constructives et dimensionnement	437
CHAPITRE 5 Contexte normatif	439
CHAPITRE 6 Dispositions constructives selon les éléments et matériaux ...	461
CHAPITRE 7 Poteaux	495
CHAPITRE 8 Poutres	539
CHAPITRE 9 Dalles	607
Index	669
Table des matières.....	677
Dans le tome 2	
CHAPITRE 10 Voiles	
CHAPITRE 11 Fondations superficielles	
CHAPITRE 12 Fondations profondes	

- CHAPITRE 13** Bielles-tirants
- CHAPITRE 14** Tirants
- CHAPITRE 15** Dallages
- CHAPITRE 16** Radiers
- CHAPITRE 17** Parois de soutènement spéciales
- CHAPITRE 18** Poutres-voiles
- CHAPITRE 19** Consoles-voiles
- CHAPITRE 20** Réservoirs
- CHAPITRE 21** Assemblages et liaison
- CHAPITRE 22** Escaliers
- CHAPITRE 23** Cas particuliers
- CHAPITRE 24** Murs de soutènement
- CHAPITRE 25** Synthèse
- CHAPITRE 26** Exemple de calcul

1.2.2 Déformations imposées

Certains phénomènes peuvent nous entraîner à considérer des mouvements imposés, qui sont matérialisés par un torseur (Rotation, déplacement). On retrouve ce type de sollicitations dans les cas suivants :

- calcul de la température ;
- calcul du retrait ;
- prise en compte des tassements différentiels ;
- prise en compte de l'interaction sol-structure.

Dans ces cas, c'est le déplacement ou la déformation imposée à la structure qui engendre une sollicitation.

1.2.3 Déplacement des appuis (exemple d'une zone sismique)

Ce type d'approche permet d'évaluer, par exemple, les effets du séisme sur une structure. La structure est fondée sur une base rigide à laquelle on va imposer un déplacement, permettant d'évaluer les effets du mouvement du sol dû à un séisme (figure 1.2).

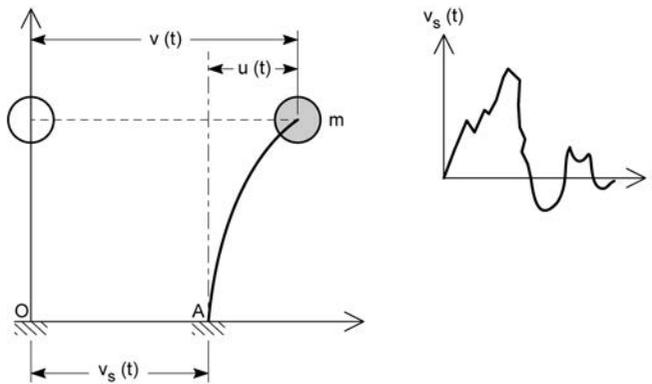


Figure 1.2. Déplacement de l'appui excitateur en cas de séisme

Le déplacement imposé du point A, variable dans le temps, engendre un mouvement de la masse m qui sera soumise aux forces horizontales suivantes :

- force de rappel $F = -k \cdot u$ (k étant la raideur en translation du système) ;
- force d'amortissement $F = -c \cdot (du / dt)$

L'application du principe fondamental de la dynamique et la résolution de l'équation différentielle permettent l'évaluation des efforts sismiques à considérer :

$$v(t) = u(t) + v_s(t)$$

On dérive deux fois l'égalité et on obtient $d^2v / dt^2 = d^2u / dt^2 + d^2v_s / dt^2$

$$m \cdot d^2v / dt^2 = -k \cdot u - c \cdot du / dt$$

$$d^2v / dt^2 + (c / m) \cdot du / dt + (k / m) \cdot u = 0$$

2.1.3 Masses, ressorts et matrice de rigidité

Un système dynamique peut être modélisé simplement par un système masse + ressort. La modélisation aux éléments finis discrétise un système en assemblant les matrices de rigidité de chaque élément.

On retrouve ces simplifications dans un modèle appelé « modèle brochette » pour le calcul dynamique. Les systèmes peuvent être simplifiés : on retrouve alors deux types de configurations, les ressorts en série et les ressorts en parallèle.

2.1.3.1 Ressorts en série

Tout comme une résistance en électricité, des ressorts reliés entre eux à leurs extrémités sont dits en série. Chacun d'eux possède une certaine raideur. L'ensemble constitue un ressort équivalent avec sa raideur évaluée à partir de la raideur des ressorts constitutifs du système (figure 2.4).

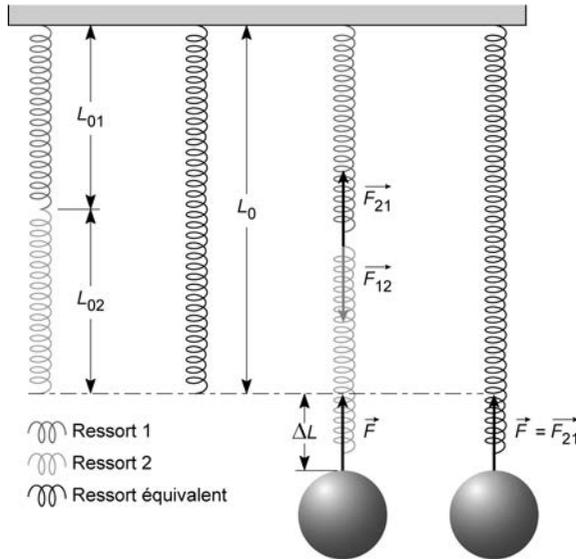


Figure 2.4. Comparaison de l'équilibre de ressorts en série – ressort équivalent

Pour démontrer la raideur équivalente :

$$F = k_e \cdot \Delta L$$

$$L_0 = L_{01} + L_{02}$$

$$F = k_2 \cdot \Delta L_2$$

- Force exercée par le ressort 1 : \vec{F}_{12}
- Poids du ressort : $m_2 \cdot \vec{g}$
- Force exercée par la main du manipulateur : $-\vec{F}$

$$\text{On a : } \vec{F}_{12} + m_2 \cdot \vec{g} - \vec{F} = m_2 \cdot \vec{a}_{G2}$$

2.2.4 Effort tranchant

Dans le cas d'un effort tranchant, le torseur présente une composante d'effort dans le plan de la section.

- Cas d'un linteau

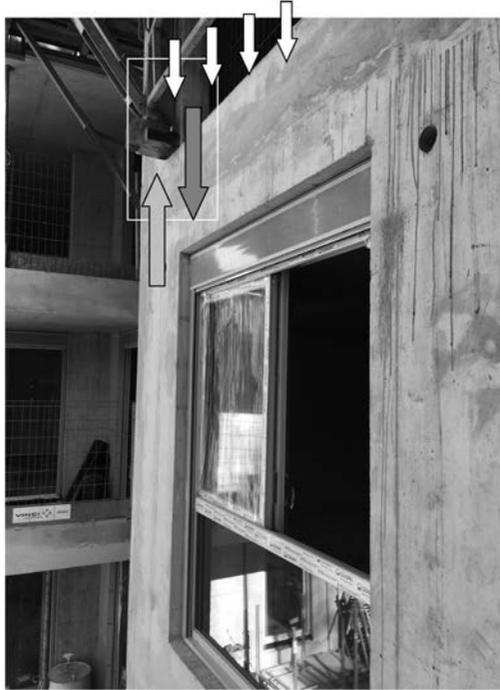


Photo 2.3. Linteaux au-dessus d'une fenêtre – tranchant en gris foncé – différence entre la réaction d'appui en gris clair et les charges en blanc avant la coupure

2.2.5 Torsion

Dans le cas d'une torsion, le torseur présente un moment selon l'axe perpendiculaire à la section (figure 2.16).

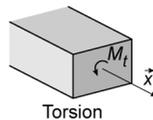


Figure 2.16. Section soumise à une torsion pure

$$\left\{ \begin{array}{c|c} 0 & M_t \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{0_\Sigma}$$

Un point sensible pour la torsion est de s'assurer de l'indéformabilité de la section. En effet, les règles de RDM classiques, pour lesquelles le principe de Saint-Venant est applicable, sont valables pour les sections transversales indéformables. Dans le cas contraire, elles gauchissent et une analyse particulière doit être effectuée. Ceci se présente dans le cas de profilés très élancés. On cite quelques exemples de torsion couramment rencontrés.

- Cas d'une poutre supportant un auvent sans dalle connectée à la poutre (figure 2.17).

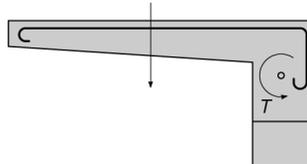


Figure 2.17. Poutre auvent

- Escalier reposant sur un palier en pied et en tête, recevant sur le côté la charge d'un mur excentré par rapport à la ligne de foulée.



Figure 2.18. Escalier recevant un mur excentré par rapport à la ligne de foulée

- Cas d'une poutre supportant des palans d'un pont roulant.

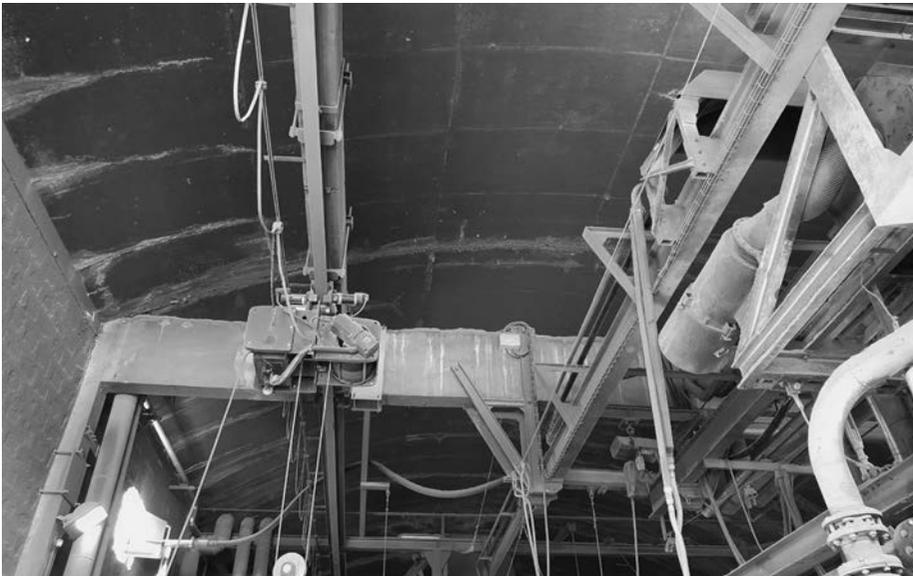


Photo 2.4. Poutre d'usine sur support palan

La force horizontale de la charge mobile sur le palan engendre une torsion dans la poutre en raison de l'excentricité entre l'axe du palan et celui de la poutre.

La section du poteau est variable, la plus couramment rencontrée est la section rectangulaire (figure 7.1).

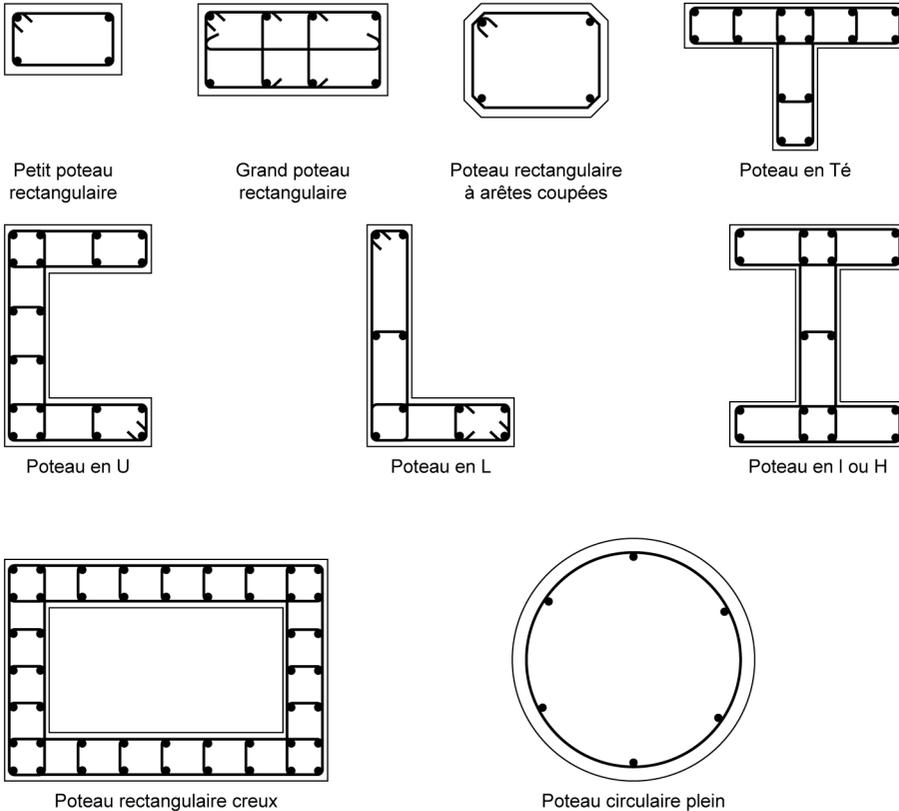


Figure 7.1. Différentes formes de poteau

7.2.2 Ferrailage

Le ferrailage est constitué des aciers longitudinaux et des aciers transversaux.

7.2.2.1 Aciers longitudinaux

Un pourcentage minimal d'armatures est exigé au § 9.5.2(2) de l'Eurocode 2. Ces aciers doivent être disposés sur le pourtour de la section, avec un diamètre minimum exigé pour les barres (§ 9.5.2(1) de l'Eurocode 2). Ces aciers principaux contribuent à la résistance du poteau. L'effort normal sollicitant est repris à la fois par ces armatures et par la section de béton.

La valeur de $A_{s,\min}$ à utiliser est celle recommandée par l'expression (9.12N) de l'Eurocode 2 :

$$A_{s,\min} = \text{Max} \left(\frac{0,10N_{Ed}}{f_{yd}} ; 0,002 \cdot A_c \right)$$

Ces armatures – cadres, étriers ou épingles – ont pour but de maintenir les armatures longitudinales précédemment décrites. Elles permettent d'éviter le flambement des armatures longitudinales principales. Le § 9.5.3(6) de l'Eurocode 2 précise que chaque barre longitudinale, ou paquet de barres placé dans un angle, soit maintenue par des armatures transversales. Dans une zone comprimée, il ne faut pas disposer de barre non tenue à plus de 150 mm d'une barre tenue.

Ces armatures doivent être ancrées conformément au § 8.5 de l'Eurocode 2. Dans le cas où la direction des barres longitudinales changerait, des armatures transversales doivent être prévues pour reprendre l'effort transversal dû à la déviation. On peut ignorer ces effets si le changement de direction est inférieur ou égal à 1/12.

7.2.2.3 Aciers de confinement éventuels

En cas de force de compression très importante, ces aciers transversaux à cadres fermés permettent de reprendre les tensions triaxiales. Il s'agit d'aciers venant en complément des aciers transversaux reprenant l'effort tranchant.

On retrouve ce type d'acier pour les justifications des systèmes à ossature en conception DCM vis-à-vis du séisme. Les zones de dissipation d'énergie sont confinées, il s'agit de la zone adjacente au nœud. Dans ces zones, un minimum de ductilité en courbure est exigé et les aciers de confinement doivent permettre de compenser la perte de résistance due à l'éclatement éventuel du béton. Dans ces zones, le façonnage des armatures de confinement doit correspondre à un cadre fermé avec des extrémités coudées à 135° et ayant un retour à 10 fois le diamètre de l'armature du cadre. Les aciers de confinement doivent avoir un diamètre d'au moins 6 mm.

REMARQUE

Les aciers de montage n'ont pas de rôle structurel.

7.2.2.4 Illustrations de ferrailage de poteaux et présentation sur plans

Dans ce paragraphe, les figures montrent les représentations des poteaux sur les plans de coffrage et de ferrailage. Des photographies d'exécution montrent les différents éléments sur chantier.

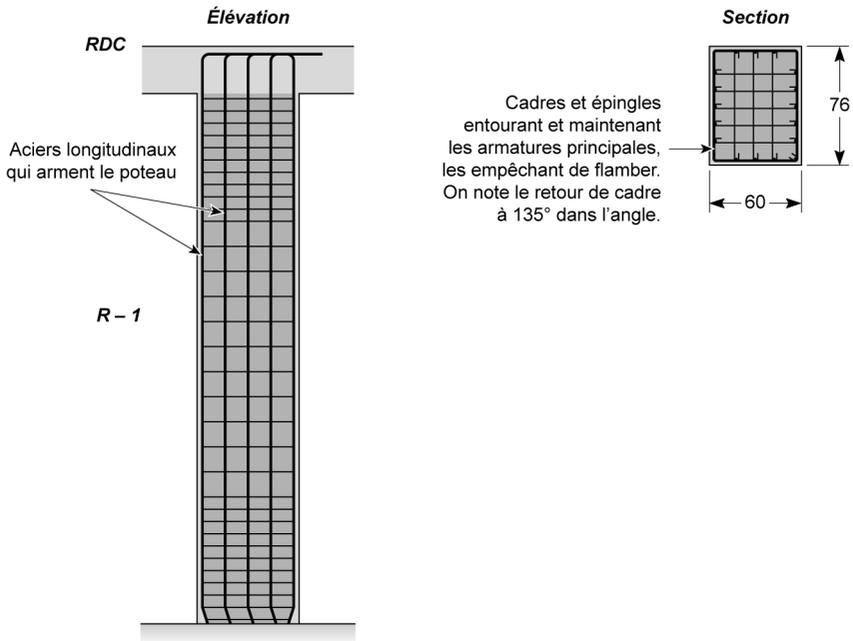


Figure 7.2. Exemple de ferrailage d'un poteau – élévation/coupe

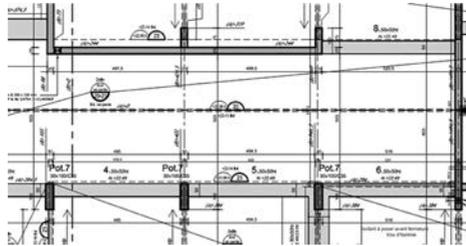


Figure 7.3. Extrait d'un plan représentant des poteaux

8.2.2.4 Aciers complémentaires

Aciers d'attente

Ces aciers sont utilisés en recouvrement avec les armatures principales de l'élément repris par la poutre. On les trouve par exemple sur les voiles ou les poteaux. Ils ne sont pas forcément pris en compte par les logiciels de calcul lors de la génération des plans, leur mise en place est à contrôler par l'ingénieur.

Aciers de suspente complémentaires

Ils ne sont pas forcément pris en compte dans les logiciels et parfois oubliés par les bureaux d'études. Par exemple, ils sont utilisés dans le cas d'une poutre supportant une poutre perpendiculaire, toutes deux à la même altimétrie, et dont l'action de cette dernière a tendance à séparer la partie comprimée de la partie tendue.

La figure 8.7 montre une poutre venant s'appuyer sur un voile d'épaisseur b_2 bien inférieure à la largeur de la poutre b_1 . La partie du voile dans le volume commun avec la poutre tend à séparer la poutre de part et d'autre de sa fibre moyenne, il faut donc rajouter des suspentes pour ramener ces efforts au-dessus de la ligne moyenne. Dans le cas de l'exemple, s'agissant d'une poutre sur appui, il faut ramener l'effort en partie basse de la poutre par des cadres prolongés dans la poutre entre le nu du voile et la fin de la poutre. Ceci est un point de vigilance car ce n'est pas forcément pris en compte par les logiciels.



Figure 8.7. Vue de dessus de la figure 8.8 : poutre arrivant sur un appui moins large – cadres prévus en gris – poutre largeur b_1 et poteau largeur b_2

Aciers de peau

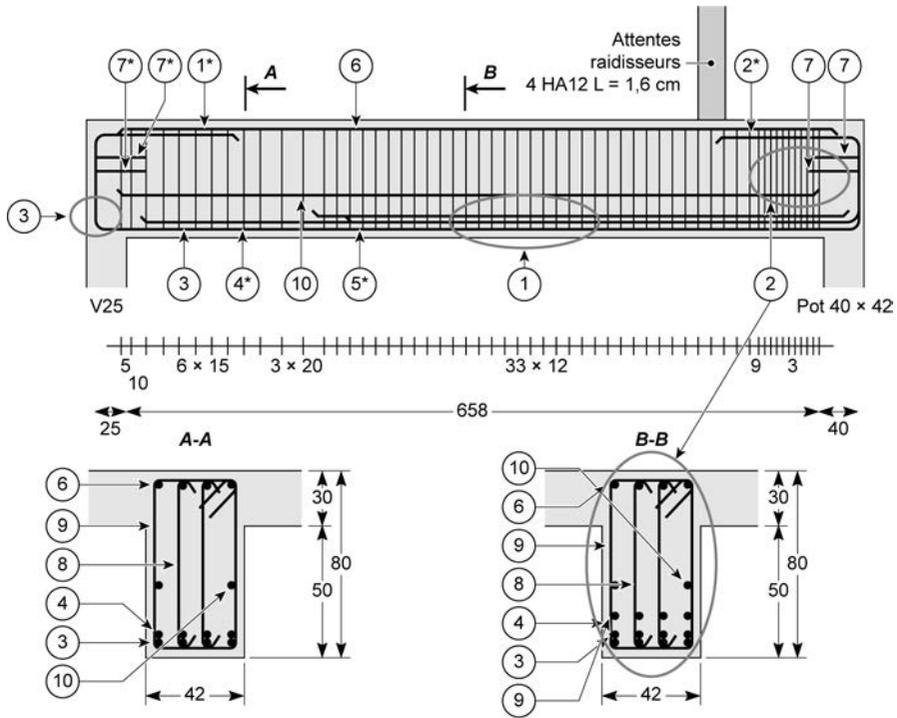
Pour les poutres de grande retombée (supérieure à 1 m), la réglementation précise de mettre en œuvre un ferrailage de peau sur les parois de la poutre.

L'Eurocode 2 précise, dans l'annexe J, de prévoir un ferrailage de peau :

- lorsque le ferrailage principal est constitué de barres ou de paquets de barres équivalents à un diamètre supérieur à 32 mm ;
- lorsque l'enrobage des armatures est supérieur à 7 cm.

Le ferrailage de peau est constitué d'un treillis ou de barres de petit diamètre.

8.2.2.5 Illustrations de ferrailage de poutres et présentation sur plans



Pos.	Armature	Code	Acier	* À rapporter
①	4HA16 l = 166	00	HA 500	
②	4HA16 l = 194	00	HA 500	
③	4HA25 l = 758	00	HA 500	
④	4HA25 l = 711	00	HA 500	
⑤	4HA25 l = 500	00	HA 500	
⑥	4HA16 l = 658	00	HA 500	
⑦	48HA10A16 l = 107	21	HA 500	
⑧	116HA12 l = 94	00	HA 500	
⑨	53HA12 l = 230	31	HA 500	
⑩	2HAB l = 655	00	HA 500	

Figure 8.8. Extrait d'un plan de ferrailage d'une poutre issu du logiciel

1. Aciers longitudinaux principaux
2. Aciers transversaux
3. Aciers d'ancrage en about

Le plus souvent, les poutres sont livrées sur le chantier déjà ferraillées. Cependant, certains aciers non soudés sont à mettre en place par l'entreprise. C'est au BET d'indiquer quelles sont les barres non soudées. Les poutres peuvent également être ferraillées sur site.

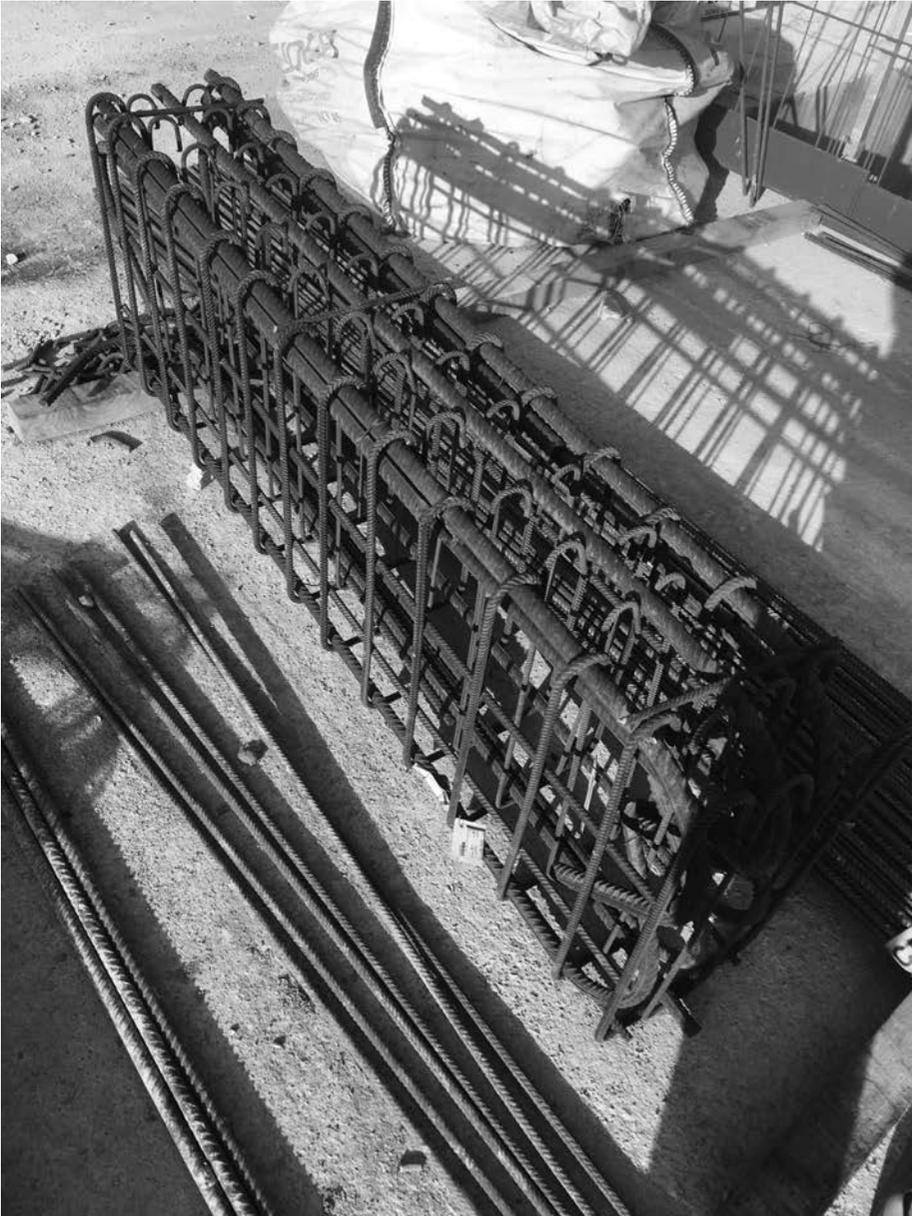


Photo 8.3. Poutres stockées sur site

Ouvrages en béton armé du dimensionnement au chantier

Tome 1

La construction d'un ouvrage en béton armé, depuis les premières esquisses jusqu'à la réception, résulte du travail concomitant ou consécutif du **concepteur, de l'ingénieur et du technicien de bureau d'études** puis des **techniciens sur chantier**, chacun ne connaissant pas forcément ce que fait un autre, ce dernier n'ayant pas non plus les mêmes connaissances techniques que le premier.

Ainsi cet ouvrage, en deux tomes, fait la **synthèse** de la majorité des connaissances théoriques et techniques nécessaires pour la construction en béton, de la **définition du rôle de chaque élément à leur mise en œuvre sur le chantier**. La première partie fournit les données et éléments théoriques permettant d'aboutir à la mise en pratique exposée dans la deuxième partie, dont **chaque chapitre est consacré à un élément**. Elle traite successivement de la matérialisation et de la quantification des efforts sollicitants (évaluation et combinaison des charges, modélisation des contraintes, etc.), du passage de la résistance des matériaux à l'étude du béton armé (flexion, effort tranchant, torsion, poinçonnement, fluage, etc.) et de son analyse structurale (conformité du béton, essais, essai d'adhérence béton-acier, etc.).

Dans la deuxième partie, **chaque chapitre est consacré à un élément d'ouvrage** et est structuré de la même manière, en traitant successivement :

- du **rôle** de l'élément dans une structure ;
- des **dispositions constructives** réglementaires selon les différents types d'armatures ;
- des **points forts** de l'élément dans une structure ;
- des **points sensibles** à surveiller sur site et en conception ainsi que des paramètres importants à prendre en compte ;
- d'un **exemple** de dimensionnement ;
- des **erreurs commises fréquemment** et de leurs conséquences sur l'ouvrage (issues des expériences de terrain de l'auteur).

Enfin, chaque chapitre se termine par une **synthèse**.

Chaque élément étudié présente de **nombreux schémas explicatifs et des photographies** illustrant, avec des cas réels, le passage des plans à la mise en œuvre sur chantier, en mettant en avant les désordres éventuels dus à de mauvais calculs ou des erreurs de construction.

Cet ouvrage est avant tout destiné aux ingénieurs, techniciens, projeteurs de bureau d'études ou aux chargés d'affaires de bureaux de contrôles, aux maîtres d'œuvre ou maîtres d'ouvrage, qui l'utiliseront comme un aide-mémoire pour dimensionner des éléments ou vérifier un point sensible, etc. Il permet aux étudiants de faire un lien pragmatique entre la théorie à la pratique sur le chantier.

Sébastien Semelaigne est expert national béton et parasismique au sein de la direction technique de Socotec. Diplômé de l'ESTP, il enseigne au CNAM, aux Mines de Douai et à Polytech Sophia.

Sommaire

► Dans le tome 1

Partie 1 – Théorie : Matérialisation des efforts sollicitants – Quantification des efforts sollicitants – Efforts résistant sollicitants dans le béton armé – Analyse structurale du béton armé

Partie 2 – Dispositions constructives et dimensionnement : Contexte normatif – Dispositions constructives – Poteaux – Poutres – Dalles

► Dans le tome 2

Partie 2 – Dispositions constructives et dimensionnement (suite) – Voile – Fondation superficielle – Fondation profonde – Bielles-tirants – Tirant – Dallage – Radier – Paroi de soutènement spéciale – Poutre-voile – Console voile – Réservoirs – Assemblage et liaison – Escaliers – Cas particuliers – Mur de soutènement – Synthèse – Exemple de calculs

EXPERTISE
TECHNIQUE

EDITIONS

LE MONITEUR

ISSN 2262-5089
ISBN 978-2-281-14661-5



9 782281 146615