

La modélisation en bielles et tirants des structures en béton armé introduite par l'Eurocode 2, partie 1.1, demeure une méthode de calcul peu pratiquée en France. De portée générale, elle permet de justifier le dimensionnement de nombreuses constructions en béton de façon moins empirique.

Cet ouvrage cherche à faciliter une appropriation plus rapide des bases de cette méthode et à en montrer l'intérêt à travers le calcul de quelques structures courantes. Il s'attache à présenter une démarche simple pour l'élaboration des modèles. Il constitue ainsi un support pour accompagner et prolonger les actions de formation dans ce domaine.

Il s'adresse aux ingénieurs de bureaux d'études et de sociétés d'ingénierie, dans leur recherche de modèles de calcul adéquats offrant une conception optimisée des structures en béton.

De plus, il apporte une aide pédagogique aux étudiants des formations en génie civil en éclairant des clauses réglementaires parfois obscures.



Jean-Louis BOSC est ingénieur-consultant. Il a été enseignant-chercheur au laboratoire LGCI à l'INSA de Lyon et membre du groupe national d'experts mis en place par l'École française du béton. Il intervient dans le cadre de formations à l'Eurocode 2 et du projet BA-Cortex.

ISBN 978-2-85978-441-6



9 782859 784416

DIMENSIONNEMENT DES CONSTRUCTIONS SELON L'EUROCODE 2

NIVEAU 1
693.
5
BOS
BUSTL

DIMENSIONNEMENT DES CONSTRUCTIONS SELON L'EUROCODE 2 À L'AIDE DES MODÈLES BIELLES ET TIRANTS

Principes et applications



SCD LILLE 1



D 030 525067 7

essés de l'école nationale des
ts et chaussées

**DIMENSIONNEMENT DES CONSTRUCTIONS
SELON L'EUROCODE 2 À L'AIDE DES MODÈLES
BIELLES ET TIRANTS**

Principes et applications

Jean-Louis BOSC

**DIMENSIONNEMENT DES CONSTRUCTIONS
SELON L'EUROCODE 2 À L'AIDE DES MODÈLES
BIELLES ET TIRANTS**

Principes et applications

BIBLIOTHÈQUE DE L'USC	
Cote	5
Abv	1
Relig	
N°	525067



**Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées**

*À Jeanne et Louis,
à Cécile, Sandrine, Catherine, Damien,
à Françoise,
avec mon affection.*



Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, Tél. : 01 44 07 47 70 / Fax : 01 46 34 67 19).

© 2008

Presses de l'école nationale des
onts et chaussées

ISBN 978-2-85978-441-6

28, rue des Saints-Pères
75007 Paris

Imprimé en France

Remerciements

Je remercie Jacques CORTADE, ingénieur de l'École polytechnique, président de la Commission de normalisation de calcul des ouvrages en béton, béton armé et béton précontraint, pour son appui au cours de l'élaboration de ce livre et sa préface qui éclaire les objectifs de cet ouvrage.

Je veux remercier également mes collègues du laboratoire LGCIE à l'INSA de Lyon : Jean PERA, professeur des universités, responsable de l'équipe de recherches « Matériaux », pour m'avoir confié l'étude de la méthode d'analyse des structures par modélisation en bielles et tirants, dans le cadre du groupe national d'experts mis en place par l'École française du béton pour faciliter l'emploi de l'Eurocode 2 dans ses applications courantes. Son soutien a été très précieux dans l'exploration de cette méthode ; Ali LIMAM, professeur des universités, membre de l'équipe de recherches « Structures », partenaire de l'université d'Austin Texas Center of Mechanics, solids, structures and materials Aerospace Engineering and Engineering Mechanics Department, pour son amical encouragement.

Préface

En octobre 2005 la norme française P 18 711-1-1 transcrivant la norme européenne EN 1992-1-1 a été publiée par l'AFNOR, suivie en mars 2007 par la publication de la P18 711-1-1/NA, son annexe nationale, rendant ainsi possible l'application, en France, de ces nouvelles normes de calcul des ouvrages en béton, dites Eurocode 2, qui vont à terme remplacer nos BAEL et BPEL.

La conception et la rédaction de ces normes sont basées sur le modèle anglo-saxon. En effet, leur texte ne présente que les éléments nécessaires à la définition des règles de conception et de calcul sans explications complémentaires, qui seraient considérées comme des parties d'un cours de béton armé. De plus, elles sont partagées en principes marqués P après le numéro de la clause, et en règles d'application de ces principes. Tout texte qui ressemblerait à un cours de béton armé est donc exclu de la norme.

Or, cette norme décrit, de façon détaillée, une méthode d'analyse des structures dite « modèle bielles-tirants » dont les possibilités ouvrent des perspectives intéressantes pour l'analyse des éléments de structures comportant des discontinuités soit de charges, soit de géométrie. Ce modèle était déjà utilisé en France, de façon simplifiée, pour analyser les poutres-voiles, par exemple. Dans l'Eurocode 2, cette méthode a été détaillée et étendue. Du fait du principe de rédaction de la norme rappelé ci-dessus, un développement sous forme de cours avec des exemples était nécessaire pour tirer la quintessence de cet outil nouveau.

Dans l'ouvrage qui suit, Jean-Louis Bosc décrit en détail l'analyse qui permet de concevoir les cheminements d'efforts de façon à les traduire en bielles, tirants et nœuds. Il donne la philosophie de cette méthode pour en permettre une utilisation performante. De plus il complète son propos théorique par de nombreux exemples courants, qui permettront à l'ingénieur d'être guidé et de se familiariser avec la méthode.

Ce livre était nécessaire pour utiliser ce nouvel outil, et nous remercions Jean-Louis Bosc d'avoir mis sa grande connaissance du phénomène et toutes ses qualités de pédagogue dans la rédaction de cet ouvrage.

Jacques CORTADE

Président de la Commission de normalisation de calcul des ouvrages en béton, béton armé et béton précontraint.

Sommaire

Préface.....	7
Avant-propos.....	11
Chapitre 1. Méthode des bielles et tirants.....	13
Chapitre 2. Âme des poutres.....	29
Chapitre 3. Semelles sur pieux	59
Chapitre 4. Semelles superficielles.....	87
Chapitre 5. Poutres-voiles.....	119
Chapitre 6. Voiles en consoles.....	147
Chapitre 7. Corbeaux	161
Conclusion.....	183
Bibliographie.....	185
Index.....	187
Table des matières	189

Avant-propos

La modélisation en bielles et tirants introduite par l'Eurocode 2, partie 1.1 (EC 2), bien que fondée sur un concept né avec l'apparition des structures en béton armé, demeure une méthode de calcul peu pratiquée en France.

Cette méthode développe, en effet, le principe utilisé au début du siècle dernier dans le modèle du treillis de W. Ritter et de E. Mörsch, premiers théoriciens du calcul des poutres en béton armé. Ces ingénieurs d'origine germanique s'appuyaient sur les nouveaux procédés de construction inventés, respectivement, par les Français F. Hennebique et J. Monier.

Par la suite, P. Lebellet et J. Blévoit ont élaboré une méthode des bielles pour le dimensionnement des semelles de fondation, en se fondant sur des résultats expérimentaux. Mais ce concept a été particulièrement développé et généralisé par les écoles allemande et suisse, à partir des travaux de F. Leonhardt et de B. Thürlimann. La méthode a été plus spécifiquement formalisée par J. Schlaich et K. Schäfer, puis adoptée dans les codes de calcul américain (ACI 318) et européen (EC 2).

La portée générale de cette méthode permet de justifier le dimensionnement de nombreuses structures en béton de façon moins empirique. Cela présente un double intérêt :

- impliquer, pour les bureaux d'études et sociétés d'ingénierie, plus fortement les ingénieurs dans la recherche de modèles de calcul adéquats offrant une conception optimisée des structures en béton ;
- rendre l'enseignement de cette discipline, pour les formations en génie civil, plus explicite auprès des étudiants souvent déroutés par des clauses réglementaires dont l'origine demeure parfois obscure.

Ainsi, cet ouvrage voudrait contribuer à faciliter une appropriation plus rapide des bases de cette méthode et à en montrer l'intérêt à travers le calcul de quelques structures courantes. Il s'attache, plus particulièrement, à l'élaboration des modèles en examinant la position des nœuds de connexion, le critère d'optimisation et la limite de sophistication.

Après une présentation de la méthode des bielles et tirants (chapitre 1) introduisant les principes de calcul qui fondent la modélisation et la justification des ti-

rants, bielles et nœuds, six applications sont analysées et comparées à la pratique française :

- l'âme des poutres vis-à-vis de la justification à l'effort tranchant des poutres soumises à une charge ponctuelle ou uniforme (chapitre 2) ;
- les semelles massives de fondation sur pieux qui semblent bien adaptées à la modélisation en bielles et tirants (chapitre 3) ;
- les semelles rigides superficielles de fondation proches du mode de calcul usuel en France (chapitre 4) ;
- les poutres-voiles (chapitre 5) et les voiles en console (chapitre 6) chargés verticalement de manière uniforme ou ponctuelle : structures très adaptées à cette méthode ;
- les corbeaux soumis à des charges verticale et horizontale (chapitre 7) pour lesquels la modélisation prend en compte l'ensemble indissociable corbeau-poteau.

CHAPITRE 1

Méthode des bielles et tirants selon l'Eurocode 2

INTRODUCTION

La méthode des bielles et tirants s'appuie sur l'Eurocode 2, Partie 1-1 (EC2) [1] et son Annexe nationale [2].

La modélisation en bielles et tirants développe et généralise le principe utilisé par le modèle du treillis de Ritter [3] et de Mörsch [4] pour les poutres et la méthode des bielles de Lebellet [5] et de Blévoit [6] pour les semelles.

L'exposé de cette méthode fait référence à des articles et ouvrages qui fondent ce mode de calcul en usage outre Rhin à la suite des travaux de F. Leonhardt, B. Thürlimann et J. Schlaich [7 à 10]. Ce mode de calcul a été introduit en France par H. Thonier [12].

Les grands principes de modélisation en bielles et tirants sont présentés avant d'examiner les justifications des éléments : tirants, bielles, et nœuds, issus des modèles précédents.

1. MODÉLISATION EN BIELLES ET TIRANTS

1.1. Justification à l'état limite ultime (ELU)

L'Eurocode 2 (EC2) se fonde sur des modèles bielles et tirants [clause : 5.6.4 (1)] pour la justification :

- des *régions de continuité* des poutres et des dalles dans l'état fissuré [clauses 6.1-6.4] ;
- des *régions de discontinuité* des éléments de structure pour leur étude détaillée [clause 6.5].