



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE CONSTANTINE 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA
TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قسنطينة 1

كلية علوم التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية

N° d'ordre :

Série :

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

en Génie civil

Option : Matériaux

Présenté par : CHATERBACHE RAMI

Thème

*Caractérisation de sections en BOA et en BDSA
équivalentes à la gamme de profilés IPE en utilisant
les caractéristiques des matériaux adoptées par les
Eurocodes 2 et 3*

Soutenue le 08 Juillet 2014 devant le jury composé de :

Président :	Mr. BELOUAR. A	Professeur	Université de Constantine 1
Rapporteur :	Mr. BOULFOUL. A	Maître de Conférences	Université de Constantine 1
Examineurs :	Mr. FERKOUS. S	Maître de Conférences	Université de Constantine 1
	Mr. ROUBAH. K	Maître de Conférences	Université de Constantine 1

Juin 2014

REMERCIEMENTS

Je remercie *ALLAH* le tout puissant qui m'a guidé et qui m'a donné la force et la volonté de réaliser ce travail.

Je remercie tout d'abord le Professeur *SAMAI M.L* de m'avoir proposé ce sujet de thèse, de l'attention qu'il a portée à mon travail et des moments précieux de discussion qu'il m'a réservés. Je le remercie infiniment pour sa confiance, ses précieux conseils, sa disponibilité et sa courtoisie.

Je voudrai exprimer mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse Monsieur *BOULFOUL AZDINE*, Maître de Conférences au Département de Génie Civil à l'université de Constantine 1, pour leur encadrement et leur expérience qu'il est su me faire partager.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur *BELOUAR A*, Professeur au Département de Génie Civil à l'université Mentouri de Constantine, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Je tiens également à remercier les membres de jury de soutenance, Monsieur *ROUABAH K* et Monsieur *FERKOUS S*, Maîtres de Conférences au Département de Génie Civil à l'université de Constantine 1, d'avoir accepté d'examiner la présente thèse.

Je remercier tout particulièrement Mr. *TEKKOUK A* et Mr. *BEROUAL S*, Maîtres de conférences au Département de Génie Civil à l'université de Constantine 1, pour la contribution inestimable, les précieux conseils et la disponibilité qu'ils aient m'offert.

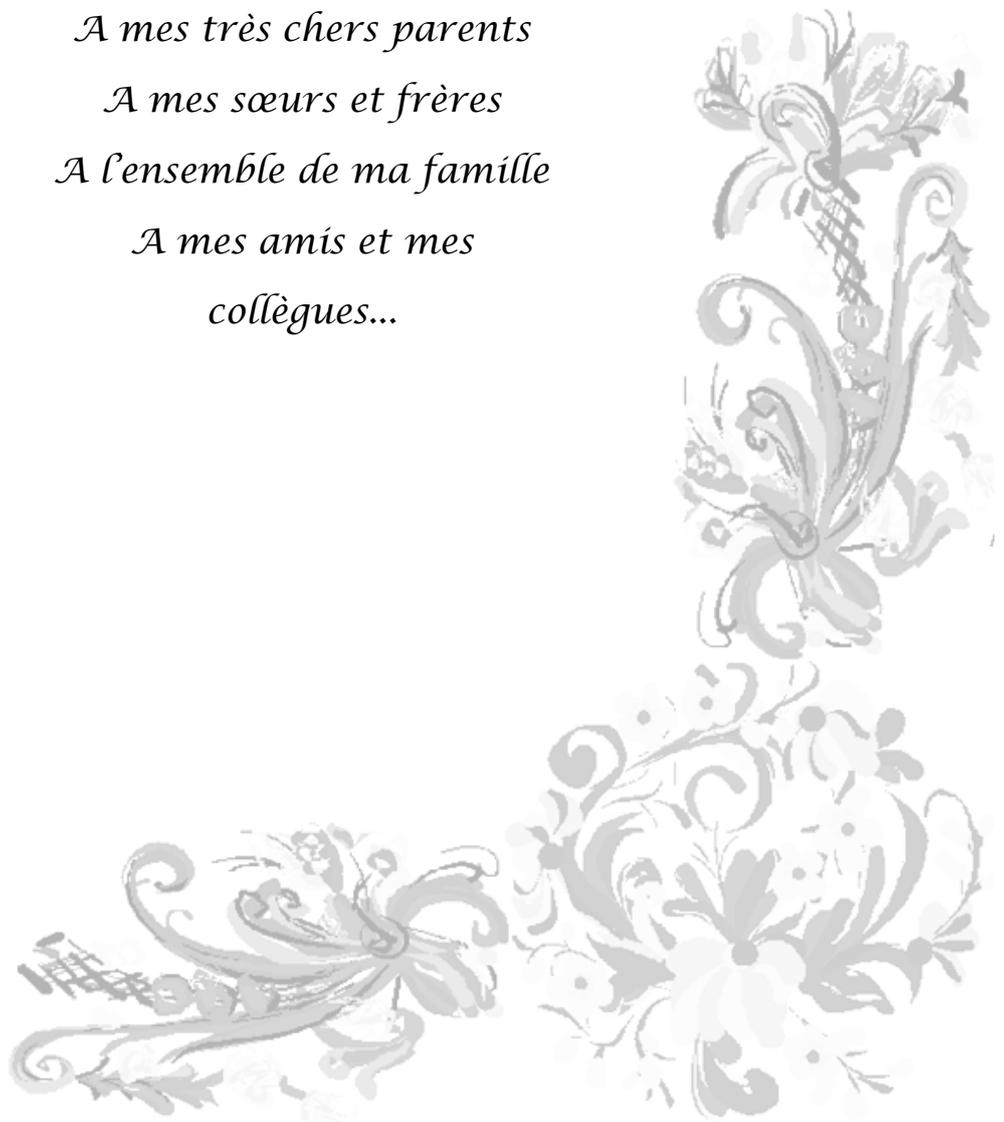
Mes remerciements et ma reconnaissance sont adressés envers mes collègues pour un temps précieux passé ensemble. Mes plus vifs remerciements vont également à tous mes amis avec qui j'ai partagé des moments inoubliables pendant mes études.

Enfin, toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes très vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin et en particulier l'ensemble des enseignants du département de génie civil de Constantine, à ma formation d'études de la graduation et de la post graduation.

CHATERBACHÉ. R

DÉDICACE

*Je dédie le présent travail
A mes très chers parents
A mes sœurs et frères
A l'ensemble de ma famille
A mes amis et mes
collègues...*



RESUME

Le souci majeur des conceptions en génie civil est de livrer des structures fiables (sécurisées) et réalisées au moindre coût possible (économie). Par ailleurs le développement de matériaux nouveaux tel que le béton de sable nécessite des conceptions et une connaissance accrue du matériau en tant que matériau à comparer avec le béton ordinaire et la charpente métallique et aussi exige des études plus approfondies quand il est utilisé en tant qu'élément structurel (présence d'armatures).

Trois éléments structuraux ayant le même moment plastique, M_p , soumis à un même chargement et avec les mêmes conditions d'appuis ont la même charge théorique de ruine. Du fait que la gamme de profilés en charpente métallique est réalisé en usine et que leurs modules plastiques et de ce fait leurs moments plastiques sont directement donnés et tabulés, il est possible de caractériser des sections usuelles en BOA^* et en $BDSA^*$ ayant le même moment plastique que celui de la gamme des différents profilés IPE , donc la même charge de ruine théorique.

La caractérisation peut être facilitée par le développement d'abaques à trois entrées liant graphiquement le moment réduit, Mu/bd^2 , et les taux d'armatures tendues, ρ , et comprimées, ρ' , en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1], et le code britannique CP110 [3].

Une comparaison entre les abaques développés ainsi que les résultats obtenus par la caractérisation pour les différentes valeurs des paramètres (f_{ck} , f_{yk} , $BOA^*/BDSA^*$, $EC2/CP110$) est également présentée.

Mots clés :

Béton ordinaire armé, Béton de sable armé, Profilés, Moment plastique, Abaques, Moment réduit, Caractérisation, Matériaux, Structurels.

* BOA : Béton ordinaire armé.

* $BDSA$: Béton de sable armé.

ABSTRACT

The major concern of conceptions in civil engineering is to deliver reliable structures (secured) and made with the least possible cost (economy). Furthermore, the development of new materials such as concrete sand necessitates conceptions and an increased knowledge of the material as a material to compare with ordinary concrete and metal frame and also requires further study when it is used as structural element (presence of reinforcement).

Three structural elements having the same plastic moment, M_p , submitted to the same load and with the same support conditions have the same theoretical collapse load. The fact that the range of profiles in metal frame is made in factory, and that their plastic modules and of this fact their plastic moments are directly given, and tabulated, it is possible to characterize usual sections of *ORC** and *RSC** having the same plastic moment as that of the range of different profiles '*IPE*', hence the same theoretical collapse load.

The Characterization can be facilitated by the development of charts at three entries. Linking graphically the reduced moment, Mu/bd^2 and the rate of reinforcement in tension, ρ , and in compression, ρ' , by using the characteristics of the materials adopted by the Eurocode 2 [1], and the British code CP110 [3].

A comparison between the charts developed as well as results obtained by the characterization for different values of the parameters (f_{ck} , f_{yk} , *ORC*/RSC* EC2/CP110*) is also presented.

Keywords:

Reinforced concrete, Reinforced sand Concrete, Profiles, plastic Moment, charts, Moment reduced, Characterization, Materials, Structural.

**ORC: Ordinary reinforced concrete.*

**RSC: Reinforced sand Concrete.*

له خص

نش اغم الأهي نهمس ليهوفي ل دسرت ل نوتيت ، إكاج يك م يشوب ا لوتيت (، و إكاخ تباق متلفهتتي كك) (اللفص اد). و
 ي خت أشم ، طس ياد خفي ذة يثم ل شمس لك ل شري يتي طهبت صر سات و شري عفت يتي زلي ذنه أدك أدعي ، أخ م ل ولت
 يع ل شمس لك ل عايت ول تي ك م ل ع نيت ك ليت طهب س ل سات لكش ش ، لا ي عقت (ع نتي لتي لوت خذي ك ع صش نكهي) و خد
 تسريح).

الثت ع لرش يكتيتن آفس لعزو لهذ ، M_p ، خطس عت نفوس ل ح رت وفس شروط الإسداد، ن تي ظهري آفس ح رت
 الإي لب ا أ ي د ، ع ل تي ك م لصريهتت دزفي ل ص ع وكنك وحتك ال هنت ، و ل تي لعزو لهنتن ز ل تي ك مي تي
 إعطاء آي ل شرة و جدت آف ، ل ك ، تصريف يقاطع إعي ايت ي BOA * و ي $BDSA$ * ن في آفس لعزو لهذ *
 ن د ، ع ل هبات IPe ، و ل تي لفس ح رت الإي ل ظهري ا.

ل تصريفي ك يسيش ي ، خالل إشاء ي خطاط الثيت ل دخ متشظي ليا لعزو ل عتزل Mu/bd^2 و سبت نكس ي ح
 ل مشدود ، p ، و ن ص غط ، p' ، و ن كلسيت خذلو خمر لاص ل ، ا ل ع ذة ي طش ف [1] Eurocode 2 ، و رق ا ، طشي طاي
 CP110 [3]

ن س ع ل ع ل تي ل سوي لتي ل ح م عي ا و شح ع يتي ل تصريفي ، أخ م ي ص هف قهي ل عه ا ، fck, fyk
) $BOA/BDSA, EC2/CP110$ *).

الكلمات الغتلية :

- شخس لتي س هت ، شخس لتي س يتي س هت ، ي هبات ، لعزو لهذ ، س سوي لتي ، لعزو ل عتزل ، ل تصريف ، ياد ، يكتيت .
- BOA * : شخس لتي س هت ع ايت .
- $BDSA$ * : شخس لتي س يتي س هت .

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	<i>i</i>
Dédicace.....	<i>ii</i>
Résumé.....	<i>iii</i>
Abstract.....	<i>iv</i>
Résumé en arabe.....	<i>v</i>
Table des matières.....	<i>vi</i>
Liste des notations et abréviations.....	<i>x</i>
Liste des figures.....	<i>xiii</i>
Liste des tableaux.....	<i>xviii</i>
1. INTRODUCTION GENERALE	1
1.1 Généralités.....	<i>1</i>
1.2 Problématique.....	<i>1</i>
1.3 Principaux objectifs.....	<i>2</i>
1.4 Structuration du mémoire.....	<i>2</i>
2. COMPORTEMENT D'ÉLÉMENTS STRUCTURAUX EN FLEXION SIMPLE	5
2.1 Introduction.....	<i>5</i>
2.2 Concepts généraux.....	<i>5</i>
2.2.1 Notion de plasticité.....	<i>5</i>
2.2.2 Rotule plastique.....	<i>6</i>
2.2.3 Mécanisme de ruine.....	<i>7</i>
2.3 Comportement sous l'action d'une charge croissante jusqu'à la ruine.....	<i>7</i>
2.3.1 Poutre en béton armé.....	<i>7</i>
2.3.2 Poutre en charpente métallique.....	<i>10</i>
2.4 Mode de rupture.....	<i>11</i>
2.4.1 Généralités.....	<i>11</i>
2.4.2 Poutre en béton armé.....	<i>11</i>
2.4.3 Profilé en charpente métallique.....	<i>13</i>
2.5 Calcul de la charge de ruine.....	<i>15</i>
2.5.1 Introduction.....	<i>15</i>
2.5.2 Conditions de calcul.....	<i>16</i>

2.5.3 Prédiction de la charge de ruine pour quelques éléments poutres types.....	16
2.6 Synthèse de comportement.....	23
2.6.1 Introduction.....	23
2.6.2 les principaux points de différence	23
2.6.3 Acier / Béton : Avantages, inconvénients	24
3. DEVELOPPEMENT GRAPHIQUE D'ABAQUES A TROIS	
ENTREES DE POUTRES EN FLEXION SIMPLE.....	
3.1 Introduction.....	26
3.2 Relation contrainte-déformation.....	27
3.2.1 Béton.....	27
3.2.2 Acier d'armatures.....	29
3.3 Distribution des déformations et contraintes à travers une section.....	30
3.4 Bloc de contrainte adopté pour le calcul	33
3.4.1 Introduction.....	33
3.4.2 Bloc de contrainte adopté par L'Eurocode 2.....	33
3.4.2 Bloc de contrainte adopté par CP110.....	36
3.5 Section rectangulaire simplement armée en flexion.....	37
3.5.1 Introduction.....	37
3.5.2 Utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocode 2.....	38
3.5.3 Utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110.....	39
3.6 Section rectangulaire doublement armée à l'état limite ultime.....	42
3.6.1 Introduction.....	42
3.6.2 Dérivation des équations de base.....	42
3.6.3 Conception et développement graphique d'abaques à trois entrées.....	48
3.6.4 Organigramme de calcul.....	52
4. CONCEPTION DE SECTIONS RECTANGULAIRES EN	
BÉTON ARMÉ ÉQUIVALENTES AUX DIFFÉRENTS IPE.....	
4.1 Introduction et problématique.....	55
4.2 Caractéristiques des matériaux utilisés.....	55
4.2.1 Acier de construction.....	55
4.2.2 Béton.....	59
4.2.3 Acier d'armatures.....	59
4.3 Détermination du moment plastique pour les différents IPE.....	60

4.4 Caractérisation de sections en béton armé équivalentes.....	61
4.4.1 Sections simplement armées.....	61
(i) Introduction.....	61
(ii) Processus de détermination.....	61
(iii) Organigramme de calcul.....	63
(iv) Résultats.....	64
4.4.2 Sections doublement armées.....	65
(i) Méthode de calcul.....	65
(ii) Organigramme de calcul.....	67
(iii) Résultats.....	69
5. DISCUSSION DES RÉSULTATS.....	71
5.1 Introduction.....	71
5.2 Effets des paramètres influents.....	74
5.2.1 Sur les abaques à trois entrées.....	74
(i) Effets de la résistance à la compression du béton f_{ck}	74
(ii) Effets de la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier f_{yk}	75
(iii) Effets de changement du matériau utilisé.....	76
(iv) Effets de changement du code utilisé.....	78
5.2.2 Sur la caractérisation des sections équivalentes.....	79
(i) Effets de la résistance à la compression du béton.....	79
(ii) Effets du rapport β	80
(iii) Effets de la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier f_{yk}	81
(iv) Effets de changement du matériau utilisé.....	82
6. CONCLUSION GENERALE.....	84
6.1 Importance et rôle du développement du catalogue d'abaques.....	84
6.2 Caractérisation.....	85
ANNEXE A. RESULTATS DE CALCUL.....	87
A.1 Introduction.....	87
A.2 Sections simplement armées.....	87
A.2.1 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocod2.....	87
A.2.2 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110.....	98
A.3 Sections doublement armées.....	109
A.3.1 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocod2.....	109

A.2.2 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110.....	139
ANNEXE B. PRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS..	171
B.1 Choix du système de coordonnées adopté.....	171
B.2 Présentation des abaques développés (Eurocode 2).....	171
B.2.1 Sections simplement armées).....	171
B.2.2 Sections doublement armées).....	182
B.3 Présentation des abaques développés (CP110))	191
B.3.1 Sections simplement armées).....	191
B.3.2 Sections doublement armées.....	202
ANNEXE C. PRESENTATION GRAPHIQUE DU CATALOGUE	
 D'ABAQUES A TROIS ENTREES.....	213
C.1 Introduction.....	213
C.2 Principe de conception d'abaques à trois entrées.....	213
C.3 Présentation du catalogue d'abaques.....	213
C.3.1 Utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2.....	213
C.3.2 Utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2.....	226
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	239

LISTE DES NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS

$Ac(x)$	L'aire de la partie supérieure du béton comprimé, en fonction de (x)
Ach	Section totale d'un profilé en charpente métallique
As	Section des armatures tendues
$A's$	Section des armatures comprimées
A_{utile}	L'aire utile de la section de béton $A_{utile} = bd$
a	Épaisseur de l'âme du profilé IPE ; petite portée de la poutre
b	Largeur de la section ; grande portée de la poutre
bc	Largeur de la section rectangulaire en béton armé équivalent
bs	Largeur du profilé en charpente métallique
$d=dc$	Hauteur utile (distance entre la fibre la plus comprimée et le centre de gravité des armatures tendues)
d'	Enrobage des armatures comprimées
d_{mod}	Hauteur utile modifiée
E_c	Module d'élasticité du béton
E_s	Module de déformation longitudinal des armatures (module de Young)
e	Épaisseur de la semelle du profilé IPE
F_{cc}	Force résultante de compression du béton
F_{sc}	Force résultante de compression dans les armatures comprimées
F_{st}	Force résultante de traction dans les armatures tendues
f_{c28}	Résistance caractéristique à la compression de béton à 28 jours
f_{ck}	Résistance caractéristique à la compression de béton obtenue par écrasement d'un cylindre
f_{cu}	Résistance caractéristique à la compression de béton obtenue par écrasement d'un cube
f_s	Contrainte dans les armatures tendues
$f's$	Contrainte dans les armatures comprimées
f_u	Contrainte à la rupture des aciers
f_y	Résistance caractéristique d'écoulement des aciers
f_{yk}	Résistance caractéristique d'écoulement des aciers de l'Eurocode2
h	Hauteur totale de la section
hc	Hauteur totale de la section rectangulaire en béton armé équivalente
h_{mod}	Hauteur totale de la section rectangulaire en béton armé équivalente modifiée

h_s	Hauteur totale de la section d'un profilé en charpente métallique
I	Moment d'inertie de la section totale.
I_y	Moment d'inertie de la section totale par rapport à l'axe Y
I_z	Moment d'inertie de la section totale par rapport à l'axe Z
K	Rigidité ; facteur de forme
K_1	Coefficient de remplissage
K_2	Coefficient de positionnement
l	Portée de la poutre
M	Moment fléchissant de la poutre
M_e	Moment élastique de la section
M_{eq}	Moment équilibré de la section rectangulaire
M_p	Moment plastique de la section
M_r	Moment de rupture de la section
M_u	Moment ultime d'une section en béton armé
M_{uext}	Moment ultime extérieur sollicitant la section en béton armé
M_{ur1}	Moment ultime résistant du béton comprimé qui équilibre le moment extérieur calculé pour la hauteur utile d
M_{ur2}	Moment ultime résistant du béton comprimé qui équilibre le moment extérieur calculé pour la hauteur utile d_{mod}
M_u/bd^2	Moment réduit de la section rectangulaire d'une poutre en béton armé
N	Effort normal
n	Nombre de rotule plastique ; coefficient d'équivalence acier/béton
P	Charge concentrée
P_c	Charge de ruine
P_e	Charge à la limite élastique
P_r	Charge à la limite de rupture
q_c	Charge uniformément répartie de ruine
r	Nombre de redondance ou degré d'hyperstaticité
S	Moment statique de la moitié de la section
$T(x)$	Effort tranchant dans la section à une distance (x)
W_{el}	Module élastique
W_{pl}	Module plastique
x	Profondeur de l'axe neutre

$x_{éq}$	Valeur limite de la profondeur de l'axe neutre à l'équilibre
z	Bras de levier entre la force de compression et la force de traction
$z_{éq}$	Bras de levier à l'équilibre
α	Coefficient sans dimension
$\beta=bc/b_s$	Rapport entre la largeur de la section en béton armé et la largeur du profilé IPE
γ_c	Coefficient de sécurité du béton
γ_s	Coefficient de sécurité de l'acier
δ_e	Déplacement au seuil élastique
δ_r	Déplacement à la rupture
δ_u	Déplacement ultime
ϵ_{cc}	Déformation relative dans le béton
ϵ_{cu}	Déformation maximale dans le béton
ϵ_{sc}	Déformation relative dans les armatures comprimées
ϵ_{st}	Déformation relative dans les armatures tendues
ϵ_y	Déformation limite d'écoulement de l'acier
ϵ_u	Allongement à la rupture
θ	Rotation plastique
λ	Rapport du moment ultime sur la valeur bd^2 ; $\lambda=Mu/bd^2$
ρ	Pourcentage d'armatures tendues dans une section en béton armé
ρ'	Pourcentage d'armatures comprimées dans une section en béton armé
σ_y	Contrainte limite d'écoulement des aciers
χ_e	Courbure élastique de la déformée
χ_r	Courbure de rupture de la déformée
χ_u	Courbure ultime de la déformée
$A.N$	Axe neutre
$B.A.E.L$	Béton armé à l'état limite ultime
$B.D.S$	Béton de sable
$B.D.S.A$	Béton de sable armé
$B.O$	Béton ordinaire
$B.O.A$	Béton ordinaire armé
$C.M$	Charpente métallique
$E.L.U$	Etat limite ultime

LISTE DES FIGURES

Figure (2.1). Comportement d'une poutre de section homogène sous charge croissante.....	6
Figure (2.2). Comportement d'une poutre en béton armé sous charge croissante.....	9
Figure (2.3). Diagramme charge-déplacement.....	9
Figure (2.4). Diagramme moment-courbure pour la poutre en béton armé.....	10
Figure (2.5). Comportement d'une poutre en charpente métallique sous charge croissante..	11
Figure (2.6). Mode de rupture d'une poutre en béton armé.....	12
Figure (2.7). Poutre simplement appuyée.....	17
Figure (2.8). Poutre encastree à ses deux extrémités.....	18
Figure (2.9). Travée d'une poutre continue uniformément chargée.....	19
Figure (2.10). Poutre continue sous charges ponctuelles.....	21
Figure (2.11). Mécanisme de ruine pour travées AB et CD.....	21
Figure (2.12). Mécanisme de ruine pour la travée BC.....	22
Figure (2.13). Exemple d'application de prédiction de la charge de ruine d'une poutre continue.....	23
Figure (3.1). Diagramme parabole-rectangle de contrainte-déformation du béton ordinaire en compression (Eurocode 2).....	27
Figure (3.2). Diagramme parabole-rectangle de contrainte-déformation du béton ordinaire en compression (CP110).....	28
Figure (3.3). Diagramme parabole-rectangle de contrainte-déformation du béton de sable en compression.....	29
Figure (3.4). Diagramme de calcul de contrainte-déformation de calcul adopté par L'Eurocode 2.....	30
Figure (3.5). Diagramme de calcul de contrainte-déformation de calcul adopté par CP110.	30
Figure (3.6). Section avec diagramme de déformations et Blocs de contraintes.....	31
Figure (3.7). Section simplement armée du béton ordinaire avec bloc de contrainte parabole-rectangle (Eurocode 2).....	34
Figure (3.8). Section simplement armée du béton de sable avec bloc de contrainte parabole-rectangle.....	34
Figure (3.9). Caractéristique du bloc parabole rectangle.....	35
Figure (3.10). Section simplement armée du béton ordinaire avec bloc de contrainte	

parabole-rectangle (CP110)	36
Figure (3.11). Caractéristiques du bloc rectangulaire équivalent du CP110.....	37
Figure (3.12). Section en béton doublement armée à l'E.L.U.....	43
Figure (3.13). Section en béton doublement armée à l'E.L.U.....	46
Figure (3.14). Abaque développé liant graphiquement le moment réduit et les taux d'armatures tendues et comprimées d'une section rectangulaire en BOA en flexion en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2.....	50
Figure (3.15). Abaque développé liant graphiquement le moment réduit et les taux d'armatures tendues et comprimées d'une section rectangulaire en BDSA en flexion en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2.....	51
Figure (3.16). Abaque développé liant graphiquement le moment réduit et les taux d'armatures tendues et comprimées d'une section rectangulaire en BOA en flexion en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par le CP110	51
Figure (3.17). Organigramme de calcul du programme numérique.....	53
Figure (4.1). Diagramme contrainte-déformation de l'acier pour $\sigma_y = 235\text{N/mm}^2$	56
Figure (4.2). Diagramme contrainte-déformation d'aciers en fonction de taux de carbone..	57
Figure (4.3). Section transversale d'un profilé IPE.....	58
Figure (4.4). Organigramme de calcul de sections rectangulaires simplement armées.....	63
Figure (4.5). Section en béton simplement armée.....	65
Figure (4.6). Organigramme de calcul de sections rectangulaires doublement armées.....	68
Figure (5.1). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour une valeur de β	72
Figure (5.2). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour une valeur de β	73
Figure (5.3). Effet de la variation de f_{ck} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	74
Figure (5.4). Effet de la variation de f_{yk} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	75

Figure (5.5). Effet de la variation du matériau utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	77
Figure (5.6). Effet de la variation du code utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.	78
Figure (B.1). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1.50$	172
Figure (B.2). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1.75$	173
Figure (B.3). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2.00$	174
Figure (B.4). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2.25$	175
Figure (B.5). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2.50$	176
Figure (B.6). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1.50$	177
Figure (B.7). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,75$	178
Figure (B.8). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$	179
Figure (B.9). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$	180
Figure (B.10). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$	181
Figure (B.11). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta= 1,50$	182
Figure (B.12). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta= 1,75$	183
Figure (B.13). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$	184
Figure (B.14). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$	185

Figure (B.15). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$	186
Figure (B.16). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$	187
Figure (B.17). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,75$	188
Figure (B.18). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$	189
Figure (B.19). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$	190
Figure (B.20). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$	191
Figure (B.21). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$	192
Figure (B.22). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,75$	193
Figure (B.23). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$	194
Figure (B.24). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$	195
Figure (B.25). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$	196
Figure (B.26). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$	197
Figure (B.27). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta =1,75$	198
Figure (B.28). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta =2,00$	199
Figure (B.29). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta =2,25$	200
Figure (B.30). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta =2,50$	201

Figure (B.31). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,50$	202
Figure (B.32). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$	203
Figure (B.33). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,00$	204
Figure (B.34). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,25$	205
Figure (B.35). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,50$	206
Figure (B.36). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,50$	207
Figure (B.37). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$	208
Figure (B.38). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,00$	209
Figure (B.39). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,25$	210
Figure (B.40). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,50$	211

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (2.1). Classification des sections transversales en acier.....	14
Tableau (2.2). Classification de la gamme des profilés IPE en fonction des sollicitations...	15
Tableau (4.1). Caractéristiques des différents profilés type IPE.....	58
Tableau (4.2). Moment plastique des différents profilés type IPE.....	60
Tableau (4.3). Détermination de sections rectangulaires en (BO ou BDS) simplement armées équivalentes pour f_{yk} , β et x/d	64
Tableau (4.4). Détermination de sections rectangulaires en (BO ou BDS) doublement armées équivalentes pour (f_{ck} ou f_{cu}), f_{yk} , β et x/d	69
Tableau (5.1). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour les différents f_{ck}	75
Tableau (5.2). Effet de la variation de f_{ck} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	75
Tableau (5.3). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour les différents f_{yk}	76
Tableau (5.4). Effet de la variation de f_{yk} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	76
Tableau (5.5). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour le BOA et le BDSA.....	77
Tableau (5.6). Effet de la variation du matériau utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	77
Tableau (5.7). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour le BOA et le BDSA.....	78
Tableau (5.8). Effet de la variation du matériau utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.....	79
Tableau (5.9). Effet de la variation de f_{ck} sur la hauteur h_c et sur le taux d'armatures tendues ρ pour les sections simplement armées pour l'Eurocode 2.....	79
Tableau (5.10). Effet de la variation de f_{cu} sur la hauteur h_c et sur le taux d'armatures tendues ρ pour les sections simplement armées pour le CP110.....	79

Tableau (5.11). Effet de la variation de f_{ck} sur la hauteur h_c et sur le taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' pour les sections doublement armées pour l'Eurocode 2.....	80
Tableau (5.12). Effet de la variation de f_{cu} sur la hauteur h_c et sur le taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' pour les sections doublement armées pour CP110.....	80
Tableau (5.13). Effet de l'augmentation de β sur la hauteur de la section h_c pour l'Eurocode 2.....	80
Tableau (5.14). Effet de l'augmentation de β sur la hauteur de la section h_c pour le CP110	81
Tableau (5.15). Effet de la variation de f_{yk} sur les taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' des sections équivalentes pour l'Eurocode 2.....	81
Tableau (5.16). Effet de la variation de f_{yk} sur les taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' des sections équivalentes pour le CP110.....	81
Tableau (5.17). Effet de changement du matériau sur la hauteur h_c et sur les taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' des sections équivalentes pour l'Eurocode 2.....	82
Tableau (5.18). Effet de changement du matériau sur la hauteur le taux d'armatures tendues ρ des sections équivalentes simplement armées pour le CP110.....	82

CHAPITRE 1
INTRODUCTION GENERALE

1. INTRODUCTION GENERALE

1.1 Généralités

En générale les méthodes d'analyse considèrent souvent les éléments de structure en béton armé ou en charpente métallique comme des éléments élastiques linéaires. Cette hypothèse, acceptable à l'état limite de service, n'est pas valable à l'état limite ultime qui est généralement caractérisé par une fissuration importante et par la plastification de certaines parties de la structure. En conséquence, des redistributions considérables des efforts dans la structure et des contraintes dans certains éléments sont probables, celles-ci pouvant avoir de grandes influences sur le comportement global de la structure à l'état limite ultime. La prise en compte du comportement plastique de la structure paraît, par conséquent, indispensable pour décrire et caractériser de façon adéquate l'état limite ultime de cette structure.

Le choix du matériau à envisager pour construire et les bases du dimensionnement, la connaissance des modes de rupture potentiels, ne sont pas connus avec précision, ce qui rend difficile un dimensionnement rationnel de la structure.

1.2 Problématique

Le souci majeur des conceptions en génie civil est de livrer des structures fiables (sécurisées) et réalisées au moindre coût possible (économie). Par ailleurs le développement de matériaux nouveaux tel que le béton de sable nécessite des conceptions et une connaissance accrue du matériau en tant que matériau à comparer avec le béton ordinaire et la charpente métallique et aussi exige des études plus approfondies quand il est utilisé en tant qu'élément structurel (présence d'armatures).

La détermination du ferrailage et du moment plastique pour des sections en *BDSA* n'existent pas explicitement dans la littérature du fait que la différence majeure entre le béton ordinaire et le béton de sable est précisément le bloc de contrainte à adopter ($\epsilon_u(BO)=3,5\%$, $\epsilon_u(BDS)=5\%$).

Trois éléments structuraux ayant le même moment plastique, M_p , soumis à un même chargement et avec les mêmes conditions d'appuis ont la même charge théorique de ruine. Du fait que la gamme de profilés en charpente métallique est réalisé en usine et que leurs modules plastiques et de ce fait leurs moments plastiques sont directement donnés et tabulés, il est possible de concevoir des sections usuelles en *BOA* et en *BDSA* ayant le même moment

plastique que celui de la gamme des différents profilés *IPE*, donc la même charge de ruine théorique.

A un profilé donné, il peut y'avoir une multitude de sections en béton armé et en béton de sable armé qui auront le même moment plastique. Le nombre de variables (dimensions géométriques et taux d'armatures) et de paramètres (f_{ck} , f_{yk} , d'/d) font que cette détermination est ardue, d'autant plus qu'il faudrait avoir des sections sous armées (optimisation des matériaux mis en œuvre, béton et acier). La caractérisation peut être facilitée par le développement d'abaques à trois entrées liant graphiquement le moment réduit, Mu/bd^2 , et les taux d'armatures tendues, ρ , et comprimées, ρ' , en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2], et le code britannique CP110 [3]. Une comparaison entre les résultats obtenus est également présentée.

1.3 Principaux objectifs

Les principaux objectifs de la présente thèse peuvent être résumés comme suit :

- Approfondissement des connaissances en matière de comportement plastique d'éléments structuraux en *BOA*, *BDSA* et en *CM* en flexion.
- caractérisation optimale de sections rectangulaires en béton ordinaire et béton de sable armées équivalentes à la gamme de profilés *IPE*.
- Etude comparative entre béton ordinaire et béton de sable.
- développement d'un catalogue d'abaques pour un béton sable en utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110 [3] et l'Eurocode 2 [1].
- Accomplir une étude comparative entre l'utilisation des deux codes le CP110 [3] et l'Eurocode 2 [1].

1.4 Structuration du mémoire

Le mémoire se divise en six chapitres et trois annexes.

Le premier chapitre présente la problématique qui a encouragé la présente recherche ainsi qu'un survol des principaux objectifs.

Le second chapitre présente la base théorique concernant les principes de base du comportement en flexion simple d'éléments structuraux en béton armé et en charpente métallique ainsi qu'une description de la prédiction de la charge de ruine pour quelques éléments poutres types.

L'analyse d'une section en béton armé en flexion simple est présentée dans le chapitre trois. Les équations de base utilisées dans la conception sont développées et détaillées et sont absolument nécessaires pour le développement graphique d'abaques à trois entrées en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2] et le CP110 [3].

Le quatrième chapitre expose la démarche utilisée pour la conception de sections rectangulaires en béton de sable et en béton ordinaire simplement et doublement armées équivalentes aux différents profilés IPE et présente les résultats obtenus.

Le cinquième chapitre est consacré pour la présentation graphique des résultats. Les effets des différents paramètres influents sur le dimensionnement des sections équivalentes sont discutés. Une étude comparative entre l'utilisation des deux codes (le CP110 [3] et l'Eurocode 2[1,2]) est établie afin de permettre de formuler un avis sur le changement de code.

Le dernier chapitre est réservé aux conclusions générales de l'étude et les perspectives de développement du présent travail.

Pour ce qui est des annexes, l'*annexe A*, présente l'ensemble des résultats de calcul (tableaux) du chapitre 4. L'*annexe B* est conçue pour la présentation graphique des résultats. Une partie du catalogue d'abaques à trois entrées est quant à elle présentée dans l'*annexe C*.

CHAPITRE 2
COMPORTEMENT D'ÉLÉMENTS
STRUCTURAUX EN FLEXION SIMPLE

2. COMPORTEMENT D'ÉLÉMENTS STRUCTURAUX EN FLEXION SIMPLE

2.1 Introduction

Les barres fléchies rectilignes sont parmi les éléments structuraux les plus utilisés dans la réalisation des ouvrages métalliques ou en béton armé. Elles constituent dans les structures les éléments porteurs principaux tel que les poutres et les poteaux ou éléments secondaires comme poutrelles.

Contrairement à la théorie de l'élasticité, dans certains cas de conception de structures, une faible déformation permanente d'un élément structure est acceptable. Il est alors possible d'admettre une application de charges plus élevées. Néanmoins, à chaque formation d'une rotule plastique, la structure perd un degré d'hyperstaticité, le processus de formation de rotules plastiques peut continuer jusqu'à la transformation de la structure en un mécanisme de ruine, à cet instant la structure est isostatique. C'est la conception plastique.

La conception plastique permet une meilleure utilisation de la matière lorsqu'une faible déformation permanente d'une partie de la poutre est acceptable. Ce mode de conception est possible en raison de l'aptitude de certains matériaux, tels que l'acier de construction, à subir des déformations plastiques relativement importantes après le dépassement du seuil de plasticité.

Le but du présent chapitre est de montrer le comportement différent de deux types d'éléments poutres en béton armé et en charpente métallique en flexion simple sous à l'action d'une charge progressive croissante jusqu'à la formation des rotules plastiques (mécanisme de ruine), de définir leurs modes de rupture et de prédire la charge de ruine pour quelques éléments poutres types.

2.2 Concepts généraux

2.2.1 Notion de plasticité

La plasticité est la propriété du corps de subir de grandes déformations sans se rompre, les déformations plastiques apparaissent lorsque les contraintes dépassent un certain seuil dit : «limite d'écoulement (yield-point)» [4].

Les méthodes plastiques donnent une vue largement plus proche du comportement des structures à la ruine et de degré de sécurité réel contrairement à la théorie d'élasticité. L'utilisation de ces méthodes conduit à un dimensionnement plus économique et des calculs

souvent plus simples et permet d'évaluer avec sûreté l'état limite d'une structure et de prédire les charges limites à partir desquelles la structure se rompt par un développement excessif de déformation avec développement de rotules plastiques, (quand le nombre de rotules est suffisant la structure devient un mécanisme) [5].

Remarque :

Il est à noter que, comme pour le cas du calcul élastique, l'hypothèse de NAVIER-BERNOULI reste valable pour le calcul plastique «toute section, plane et perpendiculaire à l'axe d'une poutre avant déformation, reste plane et perpendiculaire à l'axe après déformation».

2.2.2 Rotule plastique

Le moment élastique est maximum (Me) à l'instant où la contrainte dans les fibres extrêmes atteint la limite élastique figure 2.1.a.

L'augmentation de la charge en une section critique d'un élément, se traduit par une plastification progressive des fibres supérieures et inférieures de la poutre vers les fibres centrales, figure 2.1.b «Cette notion est valable pour une section homogène tel que celle en charpente métallique».

Lorsque toutes les fibres (tendues et comprimées) sont plastifiées, l'élément subit une rotation en ce point et on dit alors qu'il y'a formation d'une rotule plastique et le moment correspondant est dit : «moment plastique et noté (Mp)», figure (II.1.c) [5].

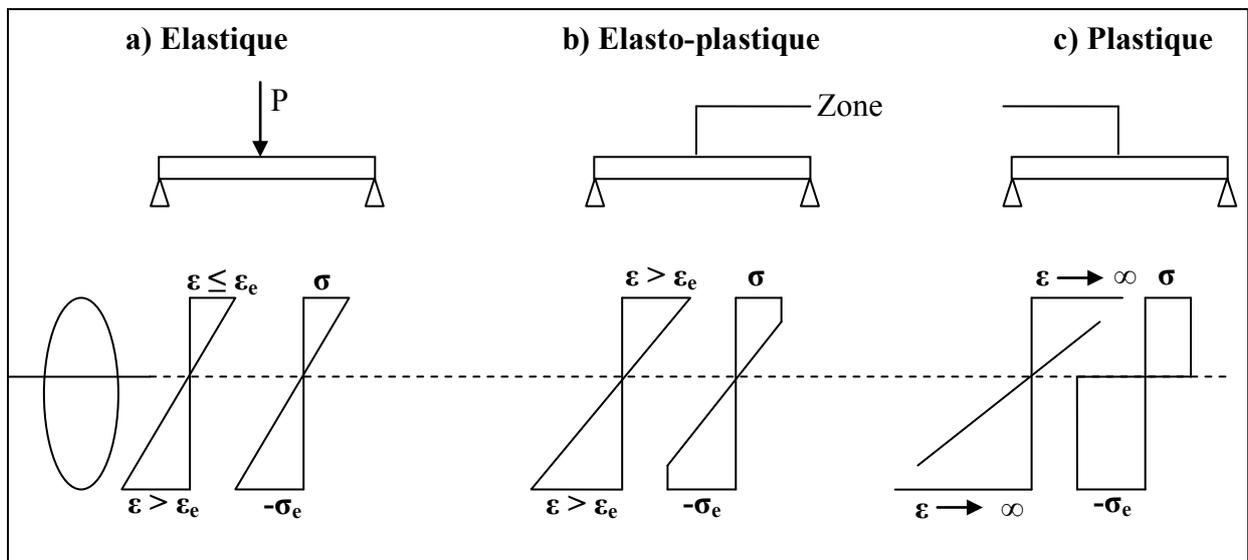


Figure (2.1). Comportement d'une poutre de section homogène sous charge croissante.

2.2.3 Mécanisme de ruine

En général les rotules plastiques se forment aux points où le moment est maximum, ceci engendre une diminution de la rigidité accompagnée d'une redistribution des efforts intérieurs, S'il se forme assez de rotules plastiques dans une structure, les éléments entre ces rotules peuvent subir une rotation sous charge constante est le système devient instable, donc, il forme un mécanisme de ruine (entre deux rotules plastiques l'élément est supposé rester droit) [5].

2.3 Comportement sous l'action d'une charge croissante jusqu'à la ruine

2.3.1 Poutre en béton armé

La connaissance théorique du comportement structural des éléments poutres sollicités en flexion simple est nécessaire. On se propose d'étudier le comportement d'une poutre reposant sur deux appuis simples soumise à une charge concentrée, P , progressive croissante allant de zéro jusqu'à atteindre la charge de ruine. Le béton armé est un matériau hétérogène, il a en particulier une faible résistance à la traction et un bon comportement sous contrainte normale de compression [6].

Etudiant une poutre en béton armé bi-axialement symétrique reposant sur deux appuis simples et soumise à une charge concentré, P , jusqu'à la charge ultime (de ruine), le schéma de la poutre est représenté sur la figure 2.2. On constate que le comportement de la poutre passe par les différentes étapes suivantes :

1^{ère} étape :

Les petites valeurs de, P , n'entraînent pas des fissurations dans le béton tendu, dans cette étape toutes les sections de la poutre se comportent élastiquement. La rigidité en flexion est donnée par la relation :

$$K = E_c I \quad (2.1)$$

E_c : Module d'élasticité du béton.

I : Moment d'inertie de la section totale rendue homogène.

Les déformations répondent sensiblement aux lois de la résistance des matériaux, étant donné que la rigidité est constante sur la longueur de la poutre, la courbure de la déformée est directement proportionnelle au moment fléchissant, figure 2.2.b.

$$\chi e = M / E_c I \quad (2.2)$$

M : Moment fléchissant de la poutre.

2^{ème} étape :

Dans la seconde étape, les valeurs de P , entraînent la fissuration du béton tendu dans les sections les plus sollicitées, mais on peut encore considérer que la poutre se comporte élastiquement jusqu'à une certaine charge (Pe), figure 2.3. Dans cette étape la rigidité chute brusquement au fur et à mesure de l'apparition des fissures, cependant il est difficile d'attribuer une valeur au facteur de rigidité K .

En effet, le module d'élasticité E_c varie avec le temps (phénomène de fluage) et le moment d'inertie est, lui, très approximatif, car [6] :

- Le long de la poutre toutes les sections ne sont pas fissurées et notamment vers les appuis ou le moment fléchissant tend vers zéro ;
- Dans les parties fissurées, le béton compris entre deux fissures successives est plus ou moins pris en compte et la profondeur des fissures varie d'une section à une autre ;
- Le coefficient d'équivalence acier / béton « $n = E_s/E_c$ » est supposé constant alors que sa valeur varie du fait que E_c varie dans le temps ;
- Enfin, l'armature n'a pas la même section tout le long de la poutre.

3^{ème} étape :

Si la charge continue à augmenter, l'armature s'allonge et le béton continu à se raccourcir. Les fibres comprimées de la section la plus sollicitée se plastifient et leur raccourcissement continu à augmenter jusqu'à une valeur limite égale à ϵ_{cu} au niveau de cette section critique. Lorsque sa contrainte de rupture est atteinte, le béton équilibre encore la composante de compression du couple de flexion et comme l'armature tendue n'a pas atteint un allongement de rupture et peut équilibrer la composante de traction, le moment extérieur de flexion est équilibré dans cette section où la rotation est très importante, on dit qu'il y a eu formation d'une rotule plastique

Au chargement, la poutre présente une courbure permanente et la section est considérée comme fragile vis-à-vis des chargements répétés et surtout alternés. En effet, sous des actions réversibles et répétées (actions cycliques), il y a un affaiblissement de la rigidité qui provient en particulier de la chute de la contrainte d'adhérence consécutive à la détérioration du béton.

La figure 2.4 représente les trois étapes par un diagramme moment-courbure $\{M, \chi\}$, le diagramme charge-déplacement $\{P, \delta\}$ est représenté sur la figure 2.3.

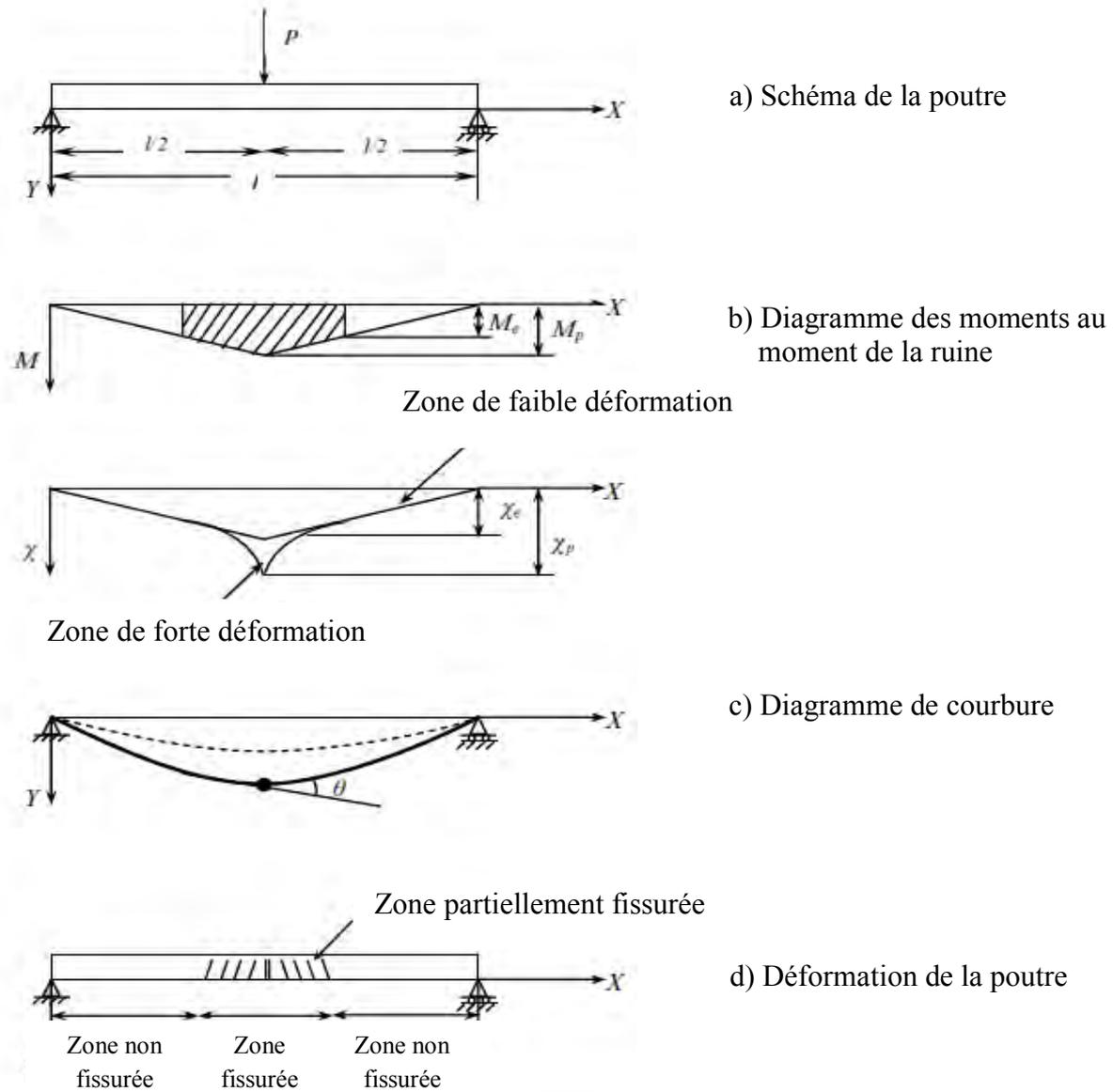


Figure (2.2). Comportement d'une poutre en béton armé sous charge croissante [9.14].

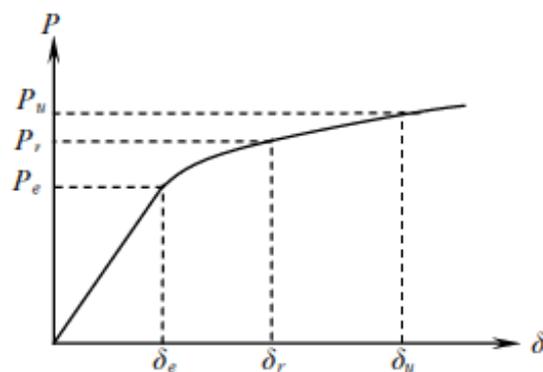


Figure (2.3). Diagramme charge-déplacement [9.14].

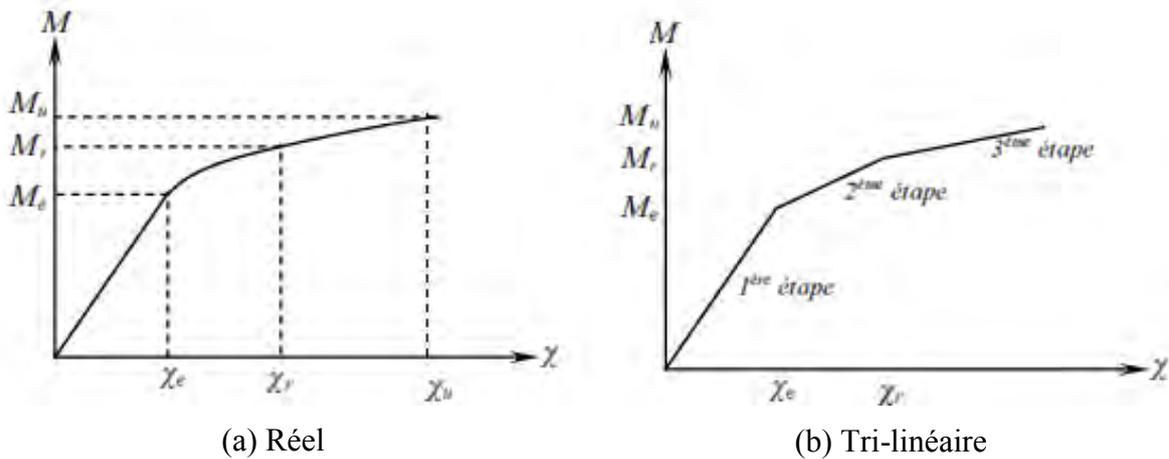


Figure (2.4). Diagramme moment-courbure pour la poutre en béton armé [9.14].

2.3.2 Poutre en charpente métallique

Soit une poutre isostatique, chargée au milieu de sa portée par une force ponctuelle, P . La section médiane, la plus sollicitée, est soumise à un moment fléchissant égal à $M=Pl/4$, figure 2.5.

Dans un premier temps, la distribution des contraintes normales est linéaire (hypothèse de Navier-Bernoulli). La courbure est proportionnelle au moment fléchissant, c'est la phase élastique du comportement du matériau. Lorsque les contraintes sur les fibres extrêmes atteignent la limite d'écoulement, f_y , le moment fléchissant sollicitant la section médiane est égal au moment élastique, Me . Si on augmente la charge, les contraintes ne sont plus proportionnelles aux déformations. Les fibres extrêmes se plastifient.

$$Me = f_y W_{el} \quad (2.3)$$

W_{el} : Module de résistance élastique (module élastique)

On peut augmenter la charge jusqu'à ce que la section soit entièrement plastifiée. C'est-à-dire que le moment fléchissant soit égal au moment plastique M_{pl} . La courbure de la poutre est très importante dans la zone centrale qui est plastifiée. On admet qu'il se forme, dans la section médiane, une rotule plastique (ou articulation). A cet effet, la poutre devient comme deux éléments rigides reliés par une articulation. On dit qu'il y a plastification totale [7].

$$M_{pl} = f_y W_{pl} \quad (2.4)$$

W_{pl} : Module de résistance plastique ou module plastique.

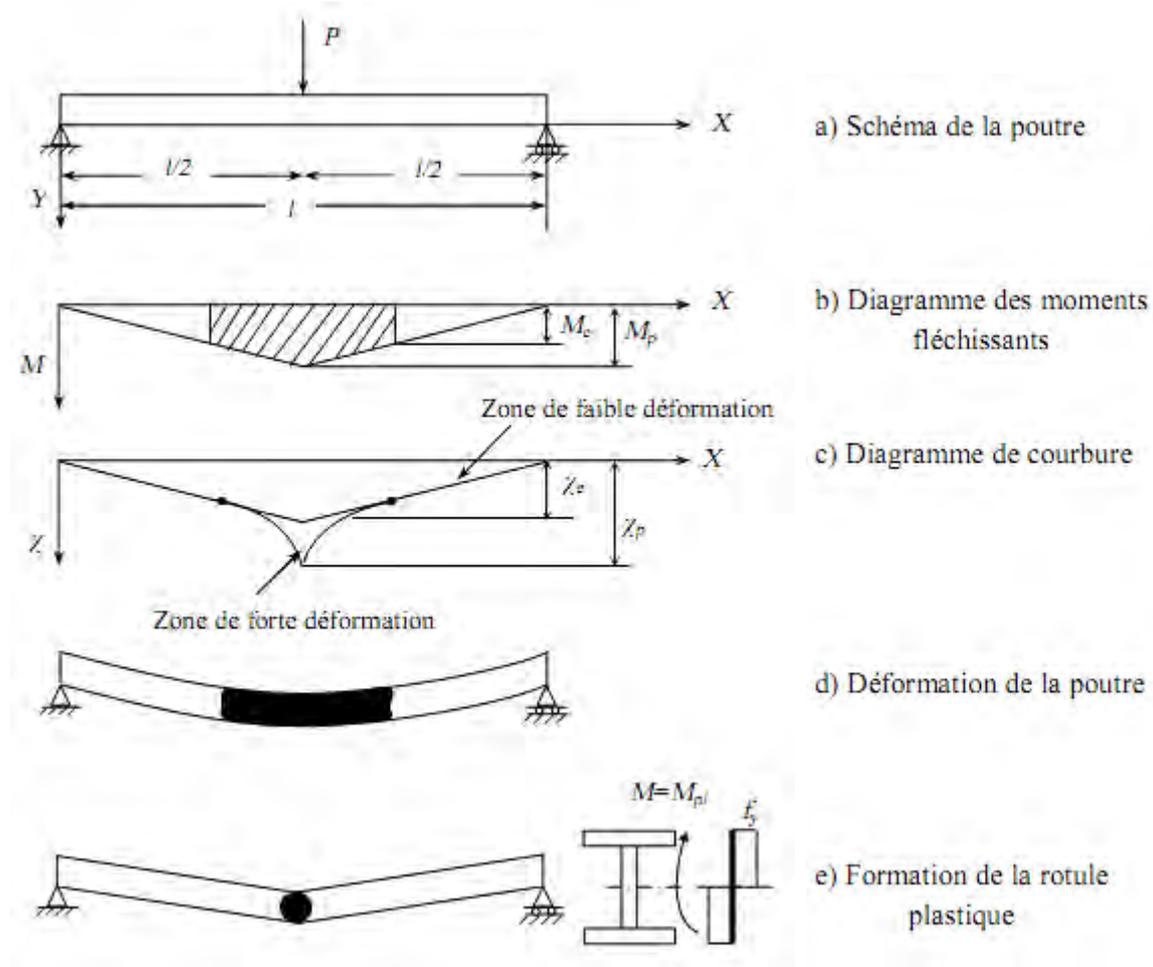


Figure (2.5). Comportement d'une poutre en charpente métallique sous charge croissante [9.14].

2.4 Mode de rupture

2.4.1 Généralités

Il y a lieu de souligner la différence entre la notion de ruine dans les structures en béton armé et celle dans les structures en acier.

- Dans une structure en béton armé, la ruine est directement liée à la rupture des différentes sections critiques, c'est-à-dire, que la désintégration d'une partie de l'élément est invisible à l'œil nu ;
- Pour ce qui est des structures en acier, la ruine ne se manifeste que par les déformations excessives des pièces et de l'ensemble.

2.4.2 Poutre en béton armé

Une structure en béton armé soumise à une charge statique peut se rompre de différentes façons [6]:

- (a) Une ou plusieurs sections se rompent soit par déformation excessive, par rupture de l'armature ou par écrasement de béton ;
- (b) L'un des éléments constitutifs se rompt par cisaillement ou par épuisement de l'adhérence entre l'armature et le béton ;
- (c) Une partie de la structure ou l'un de ses éléments constitutifs se dégrade par le phénomène d'instabilité élastique (flambement).

Dans le présent travail, on ne considère que le cas de rupture de type (a), les deux autres cas (b) et (c) ne peuvent pas avoir lieu si le cisaillement, l'adhérence et le flambement sont pris en considération dans la conception et le calcul. De ce fait le mode prépondérant de ruine est dû à la flexion.

Le comportement des poutres en béton armé est en fonction du taux d'armatures longitudinales, de ce fait deux cas peuvent se présenter [5]:

(i) Section à faible pourcentage d'acier (sous armée)

Dans les poutres qui présentent un pourcentage d'armatures assez faible, l'acier tendu quitte le domaine élastique au moment où la fibre extrême du béton comprimé atteint son raccourcissement limite, ε_{cu} . La rupture dans ce cas est lente et les armatures présentent une large déformation plastique, figure 2.6.a, elle survient par rupture de l'acier tendu (rupture par traction primaire), la courbe moment-courbure présente un plateau plastique.

(ii) Section à fort pourcentage d'acier (sur armée)

Dans ce cas le taux d'armatures est élevé, l'acier se comporte élastiquement au moment où la fibre la plus comprimée du béton atteint sa valeur limite, ε_{cu} , figure 2.6.b. La rupture survient par éclatement du béton, on dit alors que la rupture est brusque et n'avertit pas et sa réponse est similaire à une rupture par cisaillement (rupture par compression primaire). La courbe moment-courbure n'a pas de plateau plastique.

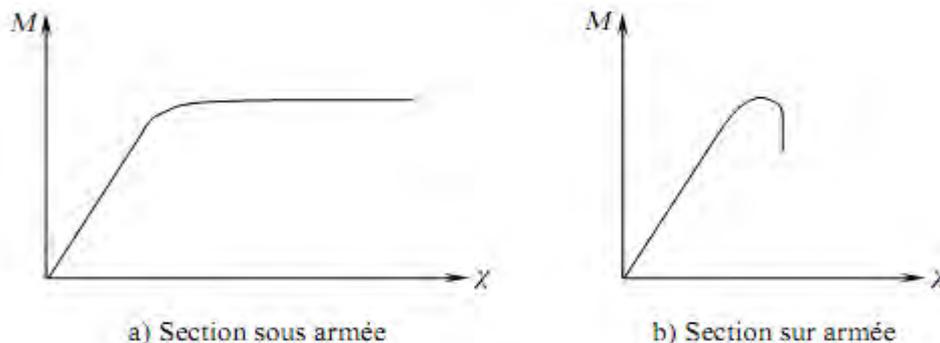


Figure (2.6). Mode de rupture d'une poutre en béton armé [9.14].

2.4.3 Profilé en charpente métallique

L'Eurocode 3 [8] a instauré une classification des sections transversales, en fonction de critères divers :

- élancement des parois,
- résistance de calcul,
- capacité de rotation plastique,
- risque de voilement local...etc.

Quatre classes de sections ont été définies, allant de la section 1 (la plus performante) à la section 4 (la plus fragile), soit :

Classe 1 : section transversale pouvant atteindre sa résistance plastique, sans risque de voilement local, et possédant une capacité de rotation importante pour former une rotule plastique ;

Classe 2 : section transversale pouvant atteindre sa résistance plastique, sans risque de voilement local, mais avec une capacité de rotation limitée ;

Classe 3 : section transversale pouvant atteindre sa résistance élastique (fibres extrêmes atteignant ϵ_y), mais non sa résistance plastique, du fait des risques de voilement local ;

Classe 4 : section transversale ne pouvant atteindre sa résistance élastique, du fait des risques de voilement local.

La classification de ces sections transversales en acier avec leurs modèles de comportement et leurs capacités de rotation plastique est représentée sur le tableau 2.1 [9].

Tableau (2.1). Classification des sections transversales en acier [9]			
Classe	Modèle de comportement	Résistance de calcul	Capacité de rotation plastique
1		Plastique sur section complète 	Importante
2		Plastique sur section complète 	Limitée
3		Élastique sur section complète 	Aucune
4		Élastique sur section efficace 	Aucune

Le fait de déterminer la classe d'une section permet de choisir la méthode de calcul (analyse plastique ou élastique). Pour les profils laminés courant de type *IPE*, sollicités en compression seule, ou en flexion simple, leur classification est donnée dans le tableau 2.2 [8].

Tableau (2.2). Classification de la gamme des profilés IPE en fonction des sollicitations			
Acier : $f_y = 235\text{MPa}$			
Type de laminé	Référence du profilé	Classe de section	
		Compression seule	Flexion seule
IPE	80 à 240	1	1
	270	2	1
	300	2	1
	330	2	1
	360	2	1
	400	3	1
	450	3	1
	500	3	1
	550	4	1
	600	4	1

2.5 Calcul de la charge de ruine

2.5.1 Introduction

Il a été annoncé précédemment que la ruine d'une structure se produit par la formation des rotules plastiques aux endroits des sections critiques (*plastifiées*), ceci engendre une diminution de la rigidité accompagnée à chaque fois d'une redistribution des efforts internes, jusqu'à ce que la structure devienne hypostatique c'est finalement le mécanisme de ruine [5]. La charge correspondant à ce mécanisme représente alors la résistance ultime de la structure.

La charge de ruine pour les poutres dépend essentiellement et fondamentalement du moment plastique, M_p . Si l'on connaît la valeur de ce moment plastique (section en charpente métallique) ou moment ultime (section en béton armé) la capacité portante ultime peut être obtenue analytiquement pour chaque cas.

La méthode utilisée pour la détermination de la charge de ruine de quelques éléments poutres avec diverses conditions d'appuis est la méthode du moment libre et des moments de réaction. Le principe de la méthode est de scinder le diagramme des moments fléchissant en deux parties [5] :

- (i) Diagramme du moment fléchissant libre : qui présente le moment au point d'application de la charge en supposant que la poutre est simplement appuyée ;
- (ii) Diagramme du moment fléchissant de réactions : diagramme des moments représenté par une droite joignant les deux moments au niveau des appuis.

2.5.2 Conditions de calcul

L'analyse plastique d'une structure ou l'un de ses éléments exige en premier lieu que leurs sections soient de type plastique pour les poutres en charpente métallique et sous armées pour les poutres en béton armé, afin de permettre la redistribution des efforts internes lors des formations des rotules plastiques.

En plus, les trois conditions suivantes doivent être satisfaites simultanément [5]:

(a) Condition d'écoulement :

Aucun moment fléchissant, M , au sein des éléments de la structure ne doit être supérieur au moment plastique, M_p .

Il s'agit des lors de vérifier que : $M \leq M_p$ (2.5)

(b) Condition d'équilibre :

Tous les noeuds de la structure restent en équilibre

$$\sum M = 0 \text{ et } \sum F = 0. \quad (2.6)$$

(c) Condition de mécanisme :

La formation d'un nombre suffisant de rotules plastiques pour faire passer la structure d'un état normal à celui d'un mécanisme, ce nombre de rotules plastiques nécessaire est donné par :

$$n = r + 1 \quad (2.7)$$

n : Nombre de rotules plastiques.

r : Degré de redondance ou degré d'hyperstaticité.

2.5.3 Prédiction de la charge de ruine pour quelques éléments poutres types

(i) Poutre simplement appuyée

Soit une poutre simplement appuyée soumise à une charge concentrée au milieu de sa portée figure 2.7.

$$r = 0$$

$$n = r + 1 = 1$$

la ruine sera obtenue lorsque se sera formée une rotule plastique au droit du point d'application de la charge où le moment fléchissant est maximale.

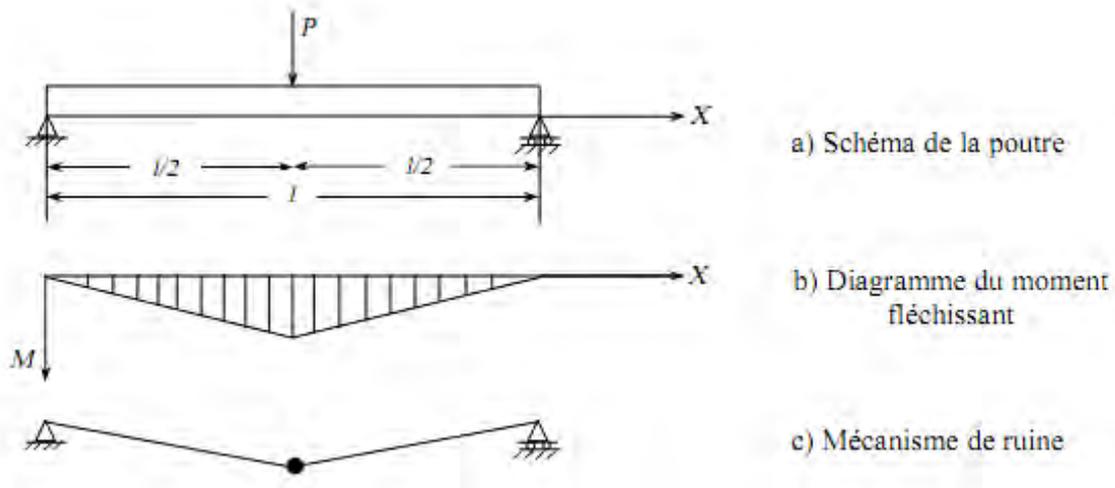


Figure (2.7). Poutre simplement appuyée [5].

On sait qu'au droit de la charge, le moment prend la valeur de $pl/4$ avec : $M = Mp$, donc la valeur la charge ruine de la poutre peut s'obtenir à partir de l'équation (2.8)

$$Mp = \frac{Pc l}{4} \quad (2.8)$$

$$Pc = \frac{4 Mp}{l} \quad (2.9)$$

(ii) Poutre encastrée aux extrémités

On étudie une poutre de section constante, parfaitement encastrée à ses extrémités et soumise à une charge concentrée, P , figure 2.8. Il s'agit donc d'une poutre deux fois hyperstatique, elle nécessite alors la formation de trois rotules plastiques pour qu'elle devienne un mécanisme.

D'après le diagramme des moments fléchissant, les rotules plastiques ne pouvant se former qu'au droit des sections critiques, c'est-à-dire au niveau de l'application de la charge et au niveau des deux encastremets.

Il est possible de déterminer le mécanisme de ruine et de tracer le diagramme des moments fléchissants à la ruine sans passer par aucune analyse, une fois ces derniers sont connus on peut calculer facilement la charge de ruine.

$$M_p + M_p = P_c \frac{a \cdot b}{l}$$

Moment fléchissant réel au point d'application de la charge Moment fléchissant de réaction au point d'application de la charge Moment fléchissant libre

Donc la charge de ruine est donnée par :

$$P_c = \frac{2 \cdot M_p \cdot l}{a \cdot b} \tag{2.10}$$

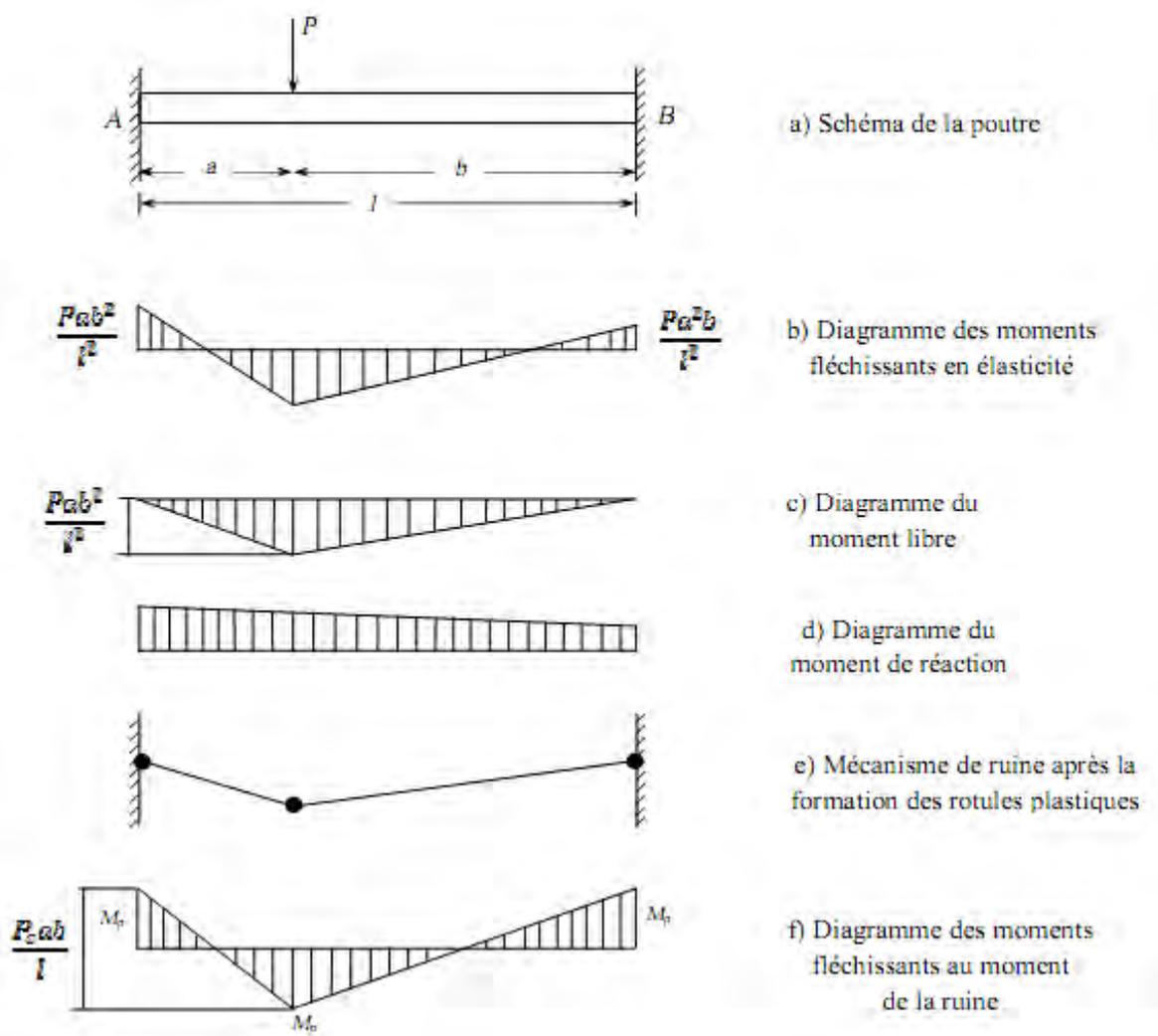


Figure (2.8). Poutre encastée à ses deux extrémités [5].

(iii) Travée d'une poutre continue soumise à une charge uniformément répartie

L'avantage d'opérer avec des structures soumises à l'action de charge concentrées réside dans le fait que tous les emplacements possibles des rotules sont connus. Par contre, lorsqu'il s'agit d'une structure soumise à des charges réparties, la position exacte de la rotule plastique est inconnue.

Donc, il faut non seulement déterminer la forme générale du mécanisme de ruine, mais aussi il faut déterminer la position d'une rotule plastique du mécanisme.

On considère une travée simplement appuyée d'une poutre soumise à une charge uniformément répartie, q , figure 2.9. Pour faire passer la poutre de son état de structure à celui de mécanisme, la formation de trois rotules plastiques est nécessaire ($n = 3$).

Les deux rotules plastiques se forment au niveau des appuis (A et B), la troisième rotule doit se former en un point au niveau de la travée situé à une distance inconnue (x) de l'appui droit, il est évident que cette rotule plastique ne doit se former que dans la section critique où le moment est maximum et l'effort tranchant est nul.

$$T(x) = \frac{dM}{dx} = 0 \quad (2.11)$$

avec :

$T(x)$: Effort tranchant dans la section au niveau de la travée.

De ce fait, il y aura deux inconnues (q_c et x), c'est à partir des deux équations d'équilibre développées à partir de la figure 2.9.c que ces deux inconnues sont déterminées.

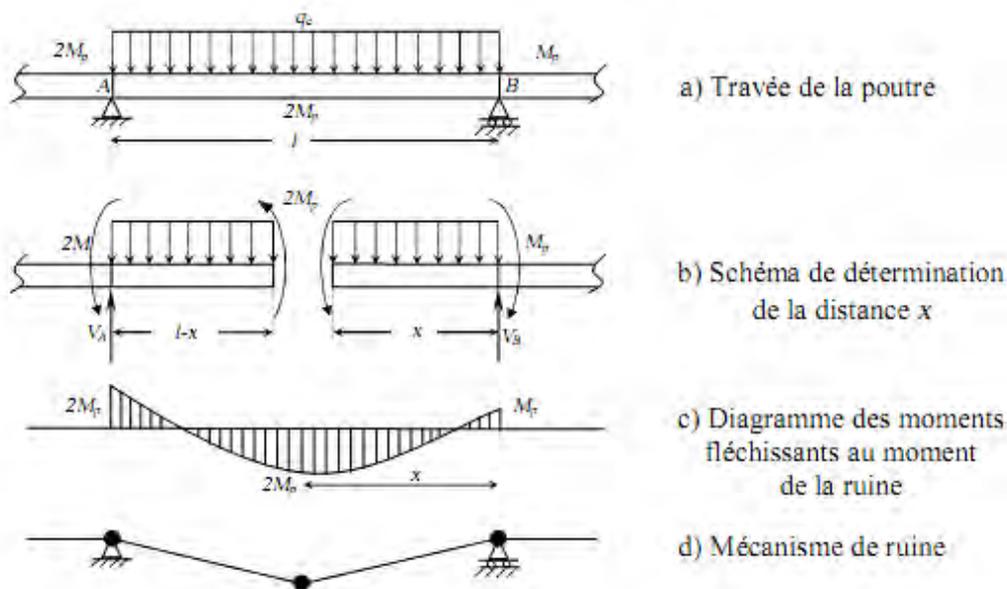


Figure (2.9). Travée d'une poutre continue uniformément chargée [5].

L'équation d'équilibre des moments fléchissant à partir de l'appui droit (B) :

$$-\frac{qc x}{2} + 2Mp + Mp = 0$$

$$\frac{qc x}{2} = 3Mp \quad (2.12)$$

L'équation d'équilibre des moments fléchissant à partir de l'appui gauche (A) :

$$\frac{qc(l-x)}{2} - 2Mp - Mp = 0$$

$$\frac{qc(l-x)}{2} = 4Mp \quad (2.13)$$

Pour avoir l'équilibre de la poutre il faut que le moment du côté gauche soit égal à celui du côté droit, on aura donc :

$$4q_c x^2 = 3q_c (l-x)^2 = 0$$

$$x^2 + 6lx - 3l^2 = 0 \quad (2.14)$$

La solution de cette équation du second degré est :

$$x = (-3 \mp 2\sqrt{3}) l = 0.464 l \quad (II.15)$$

Qui est en fait la position de la rotule plastique à partir de l'appui (B). En remplaçant cette valeur de x dans l'équation (2.12) ou bien l'équation (2.14) on obtient la valeur de la charge de ruine :

$$q_c = \frac{27.86 Mp}{l^2} \quad (2.16)$$

(iv) Poutre continue soumise à un chargement concentré

Soit une poutre continue à trois travées, dont le schéma statique et le diagramme des moments fléchissant sont représentés par la figure 2.10.

L'analyse de ce type de poutres se fait d'une manière similaire pour les cas précédemment étudiés, avec les hypothèses suivantes :

- (a)** Au niveau des appuis entre les travées de la poutre, le moment fléchissant est identique à droite et à gauche de l'appui. La rotule plastique se forme dans le membre le plus faible (c'est-à-dire que le moment plastique sera le moment le plus faible des deux travées de la poutre considérée) ;
- (b)** Il est improbable que les travées de la poutre se rompent simultanément, donc chaque travée est à vérifier individuellement. La charge de ruine de la poutre continue est la plus petite des charges de ruine des travées prises séparément. Il s'agit donc d'une ruine partielle de la poutre.

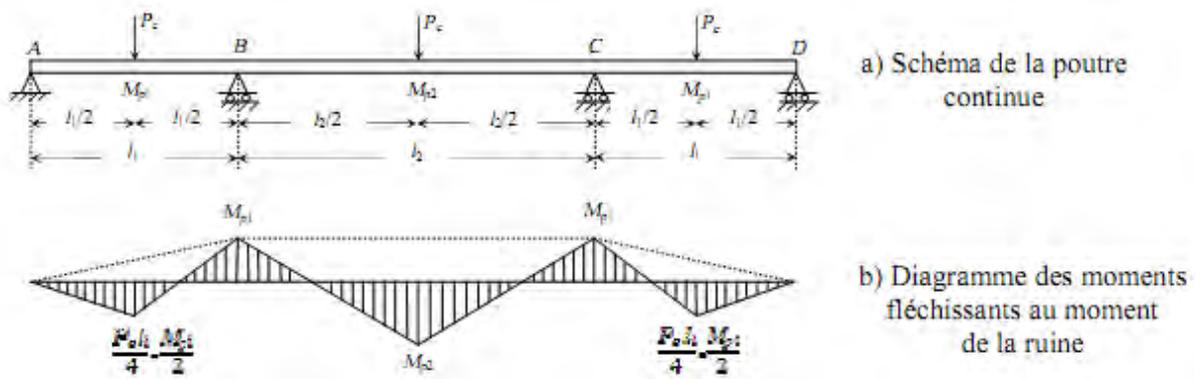


Figure (2.10). Poutre continue sous charges ponctuelles [5].

Travées AB, CD :

En isolant les travées (AB) et (CD), elles deviennent des poutres encastées à une extrémité et libre à l'autre si elles se rompent en premier, le diagramme des moments fléchissants aura la forme donnée sur la figure 2.11. La réduction de la rigidité se manifeste d'abord dans la région de la continuité de la poutre (B, C) où se forme la première rotule plastique puis elle se forme au niveau du point d'application de la charge concentrée où le moment est maximum.

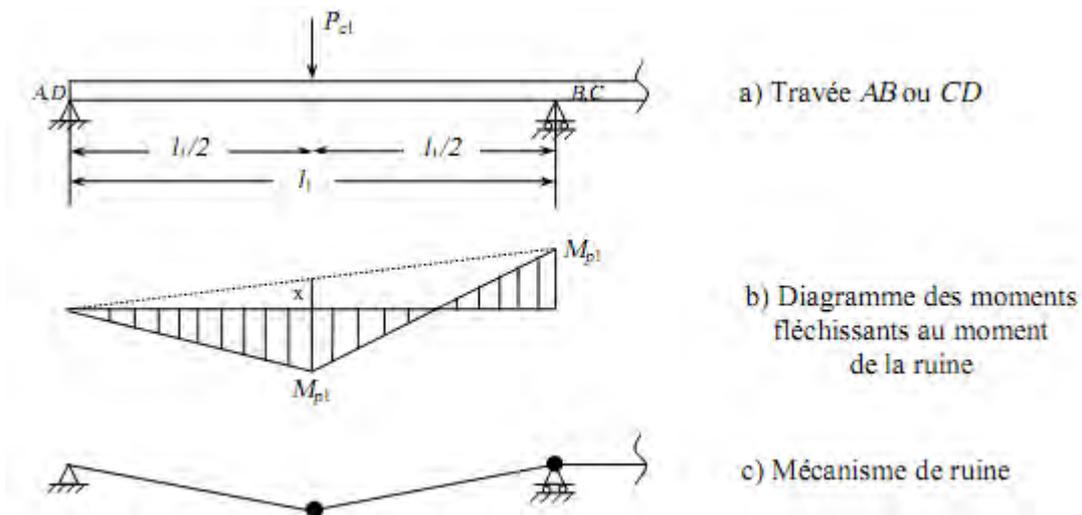


Figure (2.11). Mécanisme de ruine pour travées AB et CD [5].

Utilisant le même principe que pour les exemples précédents pour le calcul de la charge de ruine, on obtient donc :

$$M_{p1} + x = \frac{Pc1 l1}{4 l1} \tag{2.17}$$

Des triangles semblables on déduit la valeur de x, où $x = \frac{Mp}{2}$

$$M_{p1} + \frac{Mp1}{2} = \frac{Pc1 l1}{4 l1}$$

La charge de ruine est égale donc à :

$$P_{C1} = \frac{6 M_{p1}}{l_1} \quad (2.18)$$

Travées BC :

Ce type de problème est similaire à celui de la poutre encadrée à ses deux extrémités, les rotules plastiques ne pouvant se former qu'au droit des sections critiques, à savoir au niveau du point d'application de la charge et au niveau des deux encastresments, figure 2.12.

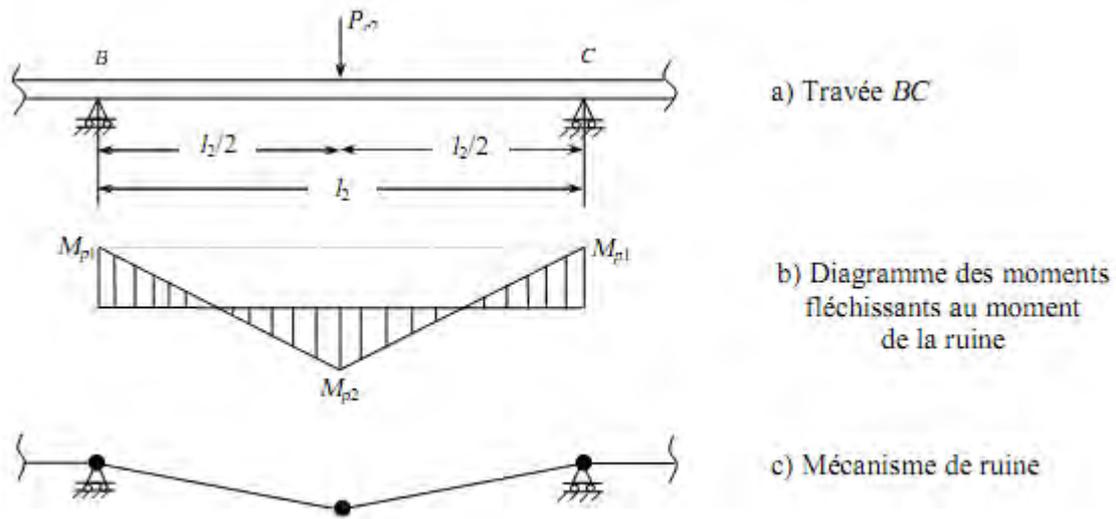


Figure (2.12). Mécanisme de ruine pour la travée BC [5].

On aura :
$$P_{C2} = \frac{4(M_{p1} + M_{p2})}{l_2} \quad (2.19)$$

Application numérique.

Soit pour la poutre continue à trois travées de la figure 2.10.

$$l_1 = 8 \text{ m}$$

$$l_2 = 12 \text{ m}$$

$$M_{p1} = 600 \text{ KN.m}$$

$$M_{p2} = 900 \text{ KN.m}$$

Les travées AB et CD sont soumises à une charge de P , tandis que la travée BC est soumise à une charge de $1.5P$.

A partir des équations (2.18) et (2.19), on calcule les charges de ruines :

$$P_{c1} = 333 \text{ KN.}$$

$$P_{c2} = 450 \text{ KN.}$$

D'où la travée critique est la travée BC

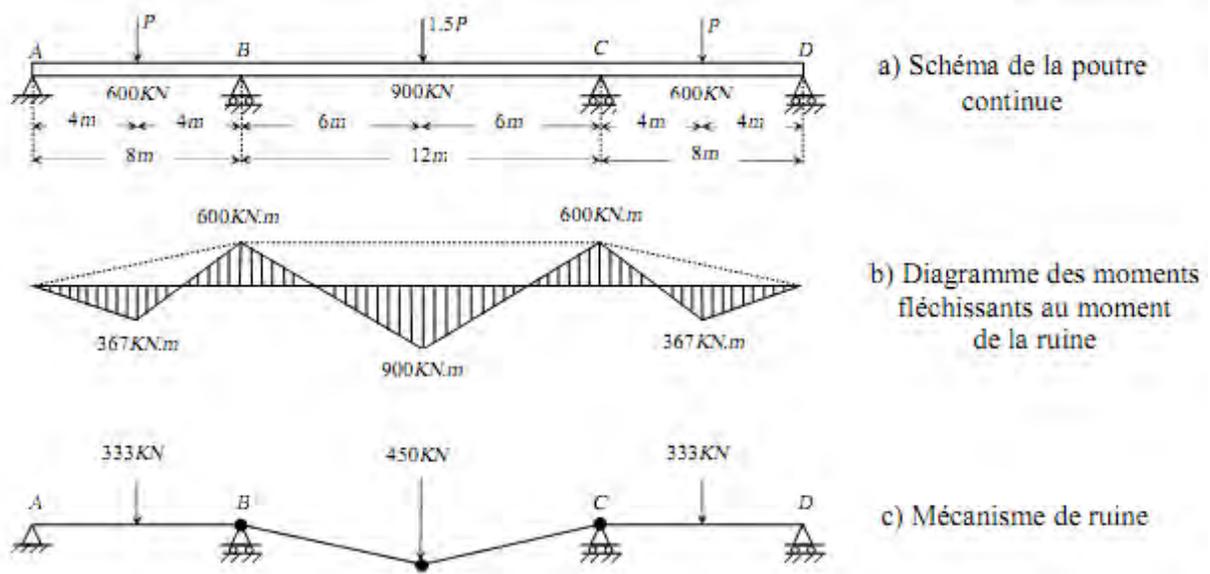


Figure (2.13). Exemple d'application de prédiction de la charge de ruine d'une poutre continue [5].

2.6 Synthèse de comportement

2.6.1 Introduction

comme synthèse du présent chapitre nous nous permettrons de mettre en évidence les principaux points de différence entre le comportement du béton armé et de la charpente métallique, ainsi que les avantages et les inconvénients pour les deux types de structures.

2.6.2 les principaux points de différence [4]

Béton armé

- Une seule fibre extrême est considérée plastifiée à l'état limite ultime (état plastique).
- A l'état limite ultime la position de l'axe neutre ne peut être déduite que par la méthode des essais successifs.

Charpente métallique

- Toutes les fibres de la section sont considérées comme plastifiées à l'état plastique.
- L'axe neutre à l'état plastique est l'axe qui divise l'aire de la section en deux parties égales (dans le cas des sections symétriques il passe par le centre de

- | | |
|---|---|
| ➤ Les sections en béton armé sont des sections hétérogènes ayant un module d'élasticité non constant le long de la poutre (présence de fissures). | gravité de la section.
➤ Les sections en charpente métallique sont des sections homogènes ayant un module élastique constant le long de la poutre. |
|---|---|

2.6.3 Acier / Béton : Avantages, inconvénients [8]

Par rapport aux structures en béton armé ou précontraint, les structures métalliques présentent de nombreux avantages et de nombreux inconvénients.

(i) Principaux avantages

- Industrialisation totale : Il est possible de préfabriquer intégralement des bâtiments en atelier, avec une grande précision et une grande rapidité (à partir des laminés). Le montage sur site par boulonnage est d'une grande simplicité ;
- Résistance mécanique :
 - ✓ La grande résistance de l'acier à la traction permet de réaliser de grandes portées
 - ✓ La possibilité d'adaptation plastique offre une grande sécurité
 - ✓ La tenue aux séismes est bonne, du fait de la ductilité de l'acier, qui résiste grâce à la formation de rotules plastiques et grâce au fait que la résistance en traction de l'acier est équivalente à sa résistance en compression, ce qui lui permet de reprendre des inversions de moments imprévus
- Modifications : Les transformations, adaptations, surélévations ultérieures d'un ouvrage sont aisément réalisables ;
- Possibilités architecturales beaucoup plus étendues qu'en béton.

(ii) Principaux inconvénients

- Susceptibilité aux phénomènes d'instabilité élastique, en raison de la minceur des profils ;
- Mauvaise tenue au feu, exigeant des mesures de protections onéreuses ;
- Nécessité d'entretien régulier des revêtements protecteurs contre la corrosion, pour assurer la pérennité de l'ouvrage ;
- Les sections réelles des profils présentent certains défauts après laminage (de dimensions géométriques, d'équerrage, de symétrie et d'incurvation d'âmes, etc.) qui peuvent contribuer à diminuer l'inertie du profilé, à provoquer des moments de torsion, des phénomènes de voilement, etc.

CHAPITRE 3

DÉVELOPPEMENT GRAPHIQUE
D'ABAQUES À TROIS ENTRÉES DE
POUTRES EN FLEXION SIMPLE

3. DEVELOPPEMENT GRAPHIQUE D'ABAQUES A TROIS ENTREES DE POUTRES EN FLEXION SIMPLE

3.1 Introduction

Une conception optimale et économique d'une structure en béton armé dépend rarement d'une analyse théorique complexe. Elle est réalisée plus en décidant d'une disposition globale pratique de la structure, une attention particulière à la pratique de construction saine. Néanmoins toute la conception d'une structure dépend de l'analyse et de la conception individuelle des différentes sections d'éléments.

Dans la mesure du possible l'analyse devrait être maintenue simple, pourtant elle devrait être basée sur le comportement réel observé et testé des éléments en béton armé. Les trois principes fondamentaux qui unissent l'analyse sont [2] :

1. Les contraintes et les déformations sont reliées par les propriétés matérielles, y compris les courbes de contrainte-déformation pour le béton et l'acier ;
2. La distribution des déformations doit être compatible avec la forme tordue de la section transversale ;
3. les forces résultantes développées par la section doivent équilibrer les charges appliquées pour l'équilibre statique.

Ces principes sont vrais indépendamment de la façon dont les contraintes et les déformations sont distribuées, ou de la façon dont l'élément est chargé, ou de la forme de la section transversale.

Ce chapitre décrit et analyse une section d'un élément sous l'action d'une charge. Il dérive les équations de base utilisées dans la conception et également ces équations exigées pour la préparation des graphes (*Abaques*) de conception. L'accent a été mis, la plupart du temps, sur l'analyse liée à l'état limite ultime mais le comportement de la section dans la phase élastique et l'état limite de service ont été également considérés.

Il convient de noter que l'Eurocode 2 ne donne aucune équation implicite pour l'analyse ou pour le calcul des sections. Les équations données dans le présent chapitre sont développées à partir des principes de l'Eurocode 2 [1,2].

3.2 Relation contrainte-déformation

3.2.1 Béton

(i) Béton ordinaire

Le comportement du béton structural est représenté par un diagramme parabole-rectangle de contraintes-déformations, figure 3.1 et 3.2, jusqu'à une déformation, ε_0 , à partir de laquelle les déformations augmentent tandis que les contraintes restent constantes.

La contrainte maximale de calcul est donnée par :

$$\frac{\alpha f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 f_{ck}}{1,5} = 0,567 f_{ck} \quad (\text{Eurocode}) \quad (3.1)$$

Le facteur de 0.85 (figure 3.1) tient compte de la différence entre la résistance de flexion et la résistance d'écrasement d'un cylindre du béton,

$$\frac{\alpha f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 f_{ck}}{1,5} = 0,45 f_{ck} \quad (\text{CP110}) \quad (3.2)$$

Le facteur de 0.67 (figure 3.2) tient compte de la différence entre la résistance de flexion et la résistance d'écrasement d'un cube du béton [3].

Et $\gamma_c = 1.5$ est le coefficient de sécurité habituel pour le béton. La déformation maximale de 0,0035 est typique pour toutes les résistances caractéristiques de béton [1,2].

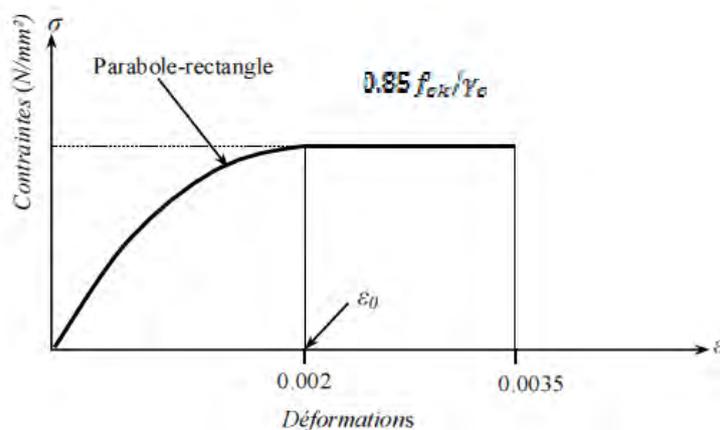


Figure (3.1). Diagramme parabole-rectangle de contrainte-déformation du béton ordinaire en compression (Eurocode 2)[1]

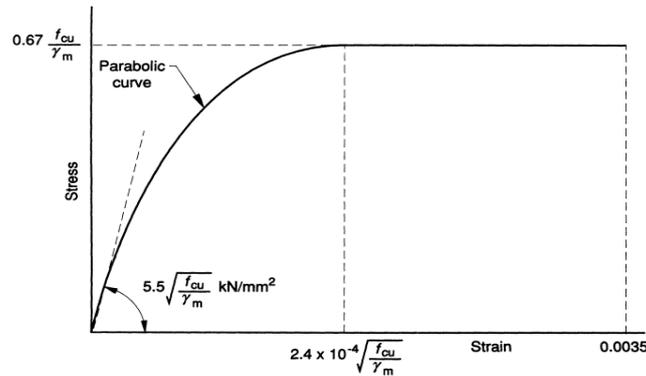


Figure (3.2). Diagramme parabolique-rectangle de contrainte-déformation du béton ordinaire en compression (CP110)[3]

(ii) Béton de sable

Le béton de sable est un béton fin, constitué d'un mélange de sable, de ciment, d'additifs et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains emplois, d'autres ajouts spécifiques (adjuvants, fibres, gravillons, colorant, etc.) peuvent être utilisés [10].

Du point de vue constituants, le béton de sable est semblable au mortier, alors que son dosage en ciment est semblable au béton classique (compris entre 250 kg/m^3 et 400 kg/m^3). Le matériau « béton de sable » sera appelé à remplacer le béton de structure et non pas le mortier destiné aux enduits superficiels. Les bétons destinés aux éléments structuraux (poteaux, poutres... etc.) doivent avoir une résistance caractéristique suffisante [11].

Dans le calcul aux états-limites ultimes de résistance, on peut se contenter d'un diagramme plus simple, parabolique rectangle, constitué d'une branche parabolique ayant son sommet pour une déformation de 3‰ et suivi d'une branche horizontale jusqu'à une déformation de 5‰ figure 3.3 [12].

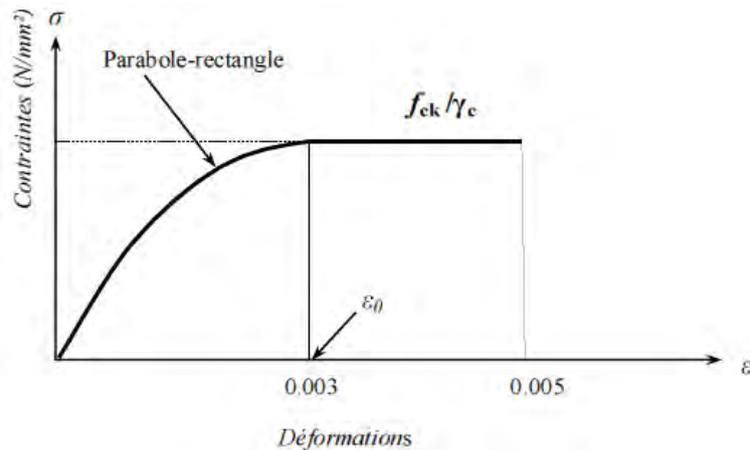


Figure (3.3). Diagramme parabolé-rectangle de contrainte-déformation du béton de sable en compression [12]

3.2.2 Acier d'armatures

Le diagramme contrainte-déformation de l'acier est représenté sur la figure 3.4. Le comportement de l'acier est identique en traction et en compression, la courbe reste linéaire dans la phase élastique jusqu'à la contrainte d'écoulement de calcul f_{yk} / γ_s , où f_{yk} est la contrainte caractéristique d'écoulement et γ_s est le coefficient de sécurité.

Dans la phase élastique, le rapport entre la contrainte et la déformation est :

Contrainte = module d'élasticité \times déformation

$$= E_s \times \varepsilon_s \quad (3.3)$$

De sorte que, la déformation d'écoulement de calcul est :

$$\varepsilon_y = \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) / E_s \quad (3.4)$$

$$E_s = 200 \text{ KN/mm}^2.$$

$$\gamma_s = 1.15$$

a. Pour $f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$, $\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) = 347.80 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \varepsilon_y = 1739 \cdot 10^{-6} = 1740 \mu\text{strain}.$

b. Pour $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$, $\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) = 434.80 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \varepsilon_y = 2174 \cdot 10^{-6} = 2170 \mu\text{strain}.$

Il convient de noter que l'Eurocode 2 permet l'utilisation d'une alternative de calcul de la courbe de contrainte-déformation représentée sur la figure 3.4, avec une branche supérieure inclinée avec une déformation maximum limitée à 10 ‰ [4].

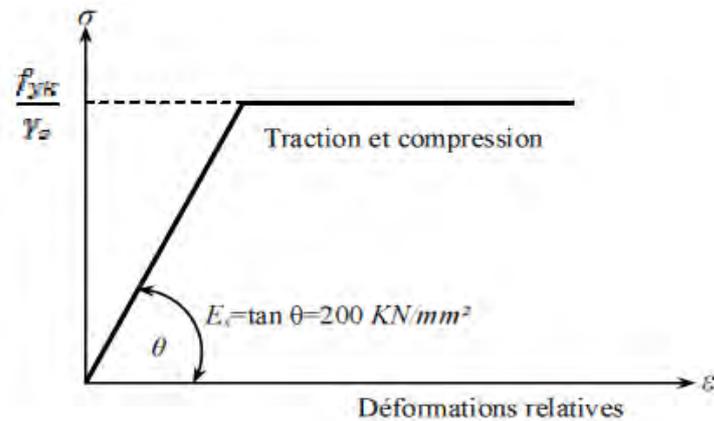


Figure (3.4). Diagramme de calcul de contrainte-déformation de calcul adopté par L'eurocode 2 [1].

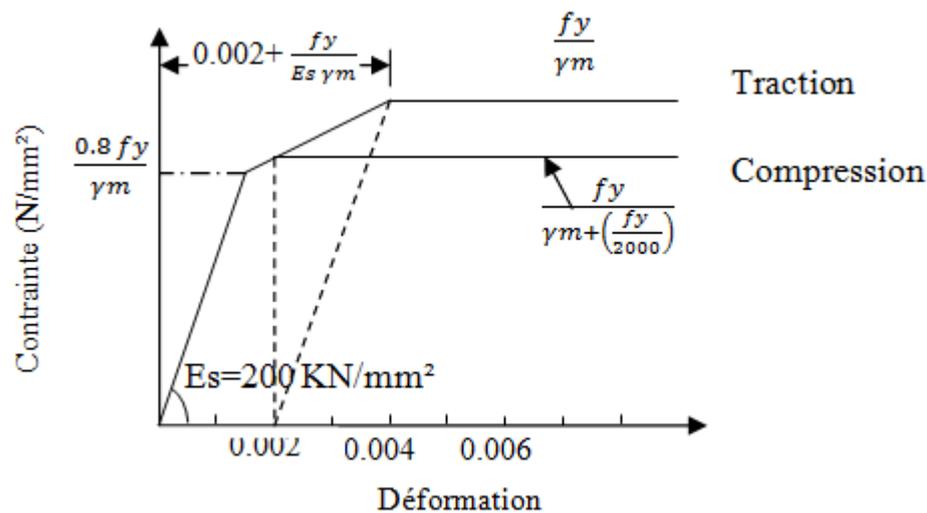


Figure (3.5). Diagramme de calcul de contrainte-déformation de calcul adopté par CP110 [3].

3.3 Distribution des déformations et contraintes à travers une section

La théorie en flexion, pour le béton armé, suppose que le béton se fissure dans les régions des déformations de traction et qu'après fissuration, toute la traction est reprise par les armatures tendues. On suppose également que les sections planes d'un élément demeurent planes après déformations, de sorte qu'à travers la section la distribution des déformations est linéaire (hypothèse de NAVIER – BERNOULLI).

La figure 3.6 montre la coupe d'une section soumise à la flexion, et le diagramme résultant des déformations, ainsi que les trois différents types de distribution de contraintes dans le béton [5] :

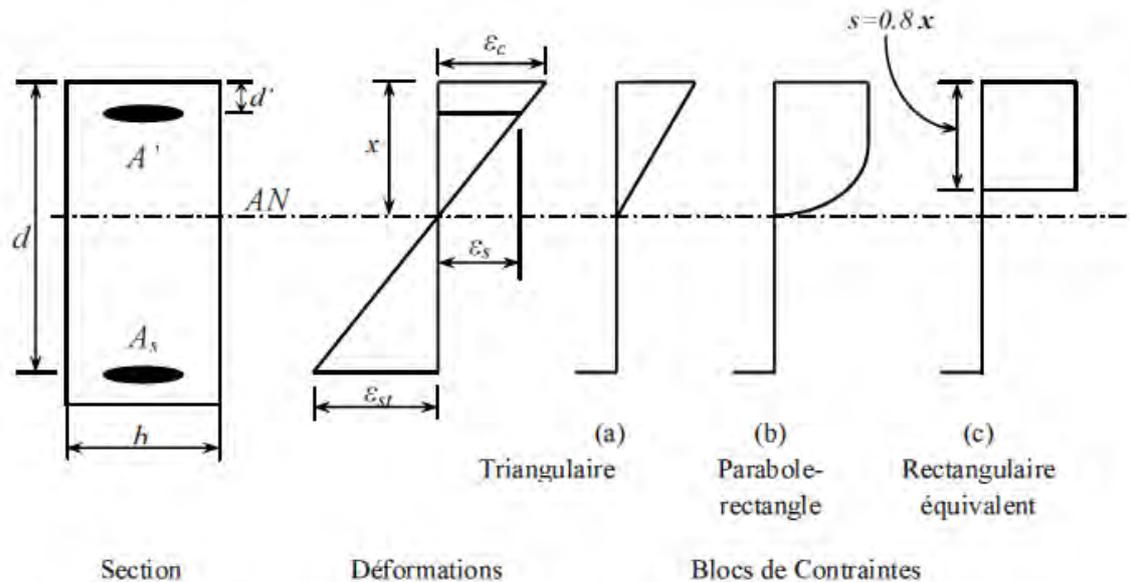


Figure (3.6). Section avec diagramme de déformations et Blocs de contraintes [5].

1. La distribution triangulaire des contraintes figure 3.6.a, s'applique quand les contraintes sont presque tout à fait proportionnelles aux déformations, ce cas est généralement produit au niveau de chargement dans des conditions de travail, donc utilisé à l'état limite de service ;
2. Le bloc parabole-rectangle de contraintes figure 3.6.b, représente la distribution de rupture quand les déformations de compression sont dans la phase plastique et il est associée au calcul pour l'état limite ultime (Bloc simplifié basé sur le principe de HOGNESTAD) [13] ;
3. Le bloc rectangulaire équivalent de contraintes figure 3.6.c, est une alternative simplifiée à la distribution parabole-rectangle (Bloc rectangulaire simplifié basé sur le principe de WHITNEY) [13].

A partir de la condition de compatibilité des déformations entre l'armature et le béton adjacent, les déformations des aciers en traction, ε_{st} , et en compression, ε_{sc} , peuvent être déterminées à partir du diagramme des déformations. Le rapport entre la profondeur de l'axe neutre (x) et la déformation maximale de béton, ε_{cc} , et les déformations des aciers est donné par :

$$\varepsilon_{st} = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d-x}{x} \right) \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{sc} = \varepsilon_{cc} \left(\frac{x - d'}{x} \right) \quad (3.6)$$

Où d est la hauteur utile, d' : est l'enrobage des armatures comprimées.

Après avoir déterminé les déformations, on peut évaluer les contraintes dans les armatures par la courbe contrainte-déformation de la figure 3.6, ainsi que par les équations développées dans le paragraphe (§3.2.2).

Pour l'analyse d'une section avec des déformations d'écoulement des aciers connues, la profondeur de l'axe neutre (x) peut être déterminée en fonction de la hauteur utile d par l'équation (3.5)

$$x = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d}{1 + (\varepsilon_{st} / \varepsilon_{cc})} \right) \quad (3.7)$$

À l'état limite ultime la déformation maximale

Du béton ordinaire comprimé est prise : $\varepsilon_{cc} = 3500 \mu\text{strain}$

Et béton de sable comprimé est prise : $\varepsilon_{cc} = 5000 \mu\text{strain}$

Insérant la valeur de la déformation d'écoulement dans l'équation (3.7) on trouve :

(i) Béton ordinaire :

a. Pour les aciers $f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$, la déformation d'écoulement est $1730 \mu\text{strain}$

$$x = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d}{1 + (0,00173 / 0,0035)} \right) = 0.669d$$

b. Pour les aciers $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$, la déformation d'écoulement est $2170 \mu\text{strain}$

$$x = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d}{1 + (0,00217 / 0,0035)} \right) = 0.617d$$

(ii) Béton de sable :

a. Pour les aciers $f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$, la déformation d'écoulement est $1730 \mu\text{strain}$

$$x = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d}{1 + (0,00173 / 0,005)} \right) = 0.743d$$

b. Pour les aciers $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$, la déformation d'écoulement est $2170 \mu\text{strain}$

$$x = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d}{1 + (0,00217 / 0,005)} \right) = 0.697d$$

Pour assurer l'écoulement des armatures en traction à l'état limite ultime :

$$(i) \text{ Béton ordinaire : } \begin{cases} x \leq 0.669d; \text{ Pour } f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2 & (3.8) \\ x \leq 0.617d; \text{ Pour } f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2 & (3.9) \end{cases}$$

$$(ii) \text{ Béton de sable : } \begin{cases} x \leq 0.743d; \text{ Pour } f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2 & (3.10) \\ x \leq 0.697d; \text{ Pour } f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2 & (3.11) \end{cases}$$

A l'état limite ultime il est important que le comportement d'éléments structuraux en flexion, devront être ductile et la rupture devrait se produire avec l'écoulement progressif des armatures tendues et pas par une rupture catastrophique brusque de compression du béton. En outre, l'écoulement des armatures permet la formation des rotules plastiques de sorte que la redistribution des moments maximum peut se réaliser, ayant pour résultat une structure plus sûre et plus économique [14].

Ces limites seront normalement adoptées pour le calcul à l'état limite ultime, mais de plus grands degrés de redistribution de moment exigeront une plus petite limite à (x) de s'assurer que les rotules plastiques peuvent se former, fournissant de rotation proportionnelle aux sections critiques. Ces valeurs limites de la profondeur de l'axe neutre ($x_{éq} = 0.45d$ pour L'Eurocode 2 [1], et $x_{éq} = 0.5d$ pour le CP110 [3]) sont telles que, une fois atteint, il est nécessaire de changer la conception d'une section simplement armée en section doublement armée. La valeur limite correspondante du moment désigné sous le nom du moment équilibré de section, $M_{éq}$.

3.4 Bloc de contrainte adopté pour le calcul

3.4.1 Introduction

Le diagramme contrainte-déformation de calcul du béton pouvant être utilisé dans tous les cas est le diagramme dit «parabole-rectangle», qui est une idéalisation du diagramme réel obtenue à partir d'un essai de compression sur un prisme en béton [4].

3.4.2 Bloc de contrainte adopté par L'Eurocode 2

Le bloc de contrainte adopté par l'Eurocode 2 est un bloc parabole-rectangle, figure 3.7 et 3.8

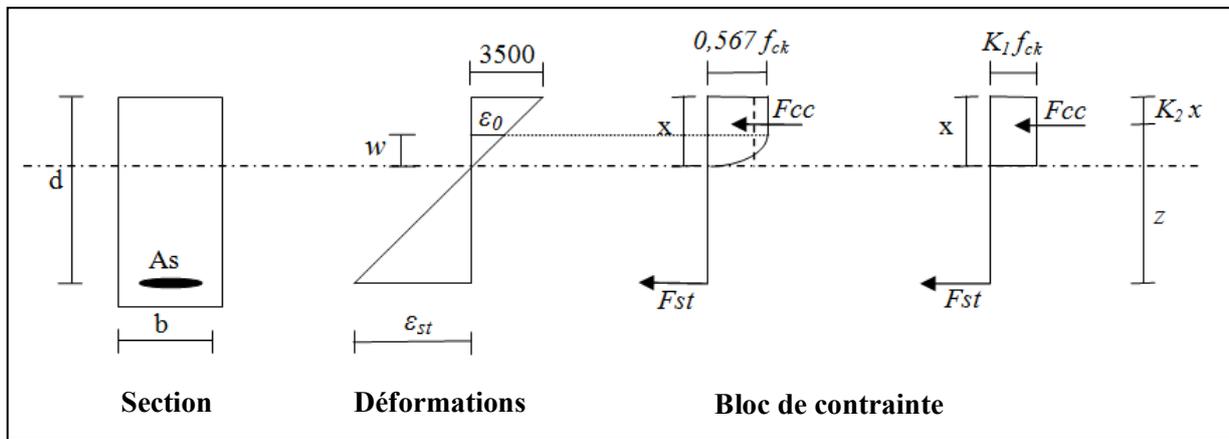


Figure (3.7). Section simplement armée du béton ordinaire avec bloc de contrainte parabolé-rectangle (Eurocode 2)

sur le quel la contrainte qui sépare la partie rectangulaire de la partie parabolique correspond à une déformation relative de (*Béton ordinaire* $\varepsilon_0=2\text{ ‰}$, *Béton de sable* $\varepsilon_0=3\text{ ‰}$) La déformation relative limite du béton en flexion est fixée à (*Béton ordinaire* $\varepsilon_{cc}=3,5\text{ ‰}$, *Béton de sable* $\varepsilon_{cc}=5\text{ ‰}$)

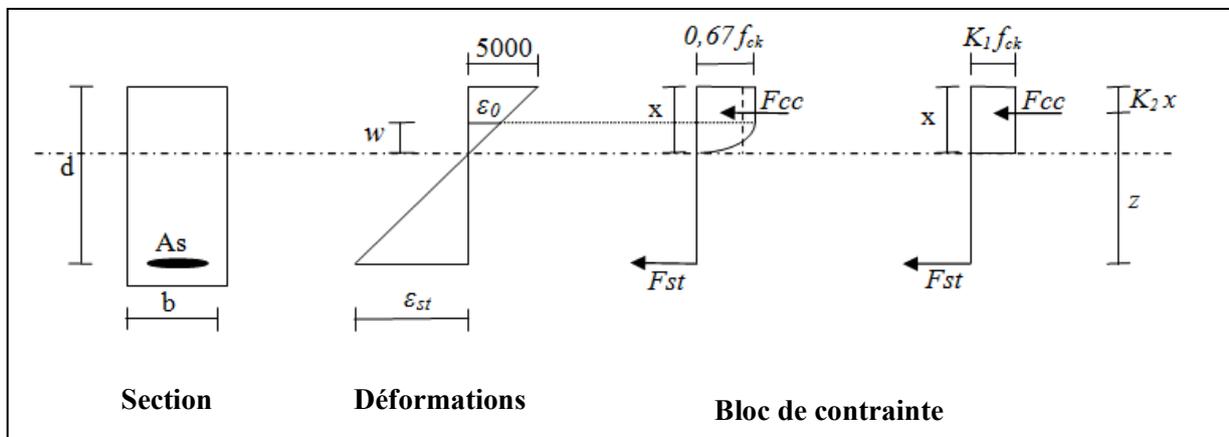


Figure (3.8). Section simplement armée du béton de sable avec bloc de contrainte parabolé-rectangle

x : Position de l'axe neutre.

K_1 : Coefficient de remplissage.

$K_2 x$: Distance de la fibre la plus comprimée par rapport au centre de gravité de la section.

(i) Coefficient de remplissage K_1

D'après le diagramme de déformation on a :

$$\text{Béton ordinaire : } \frac{x}{3500} = \frac{w}{\varepsilon_0} \Rightarrow w = \frac{x \varepsilon_0}{3500}; \quad \varepsilon_0 = 2000 \mu\text{strain}$$

$$\text{Béton de sable : } \frac{x}{5000} = \frac{w}{\varepsilon_0} \Rightarrow w = \frac{x \varepsilon_0}{5000}; \quad \varepsilon_0 = 3000 \mu\text{strain}$$

Donc :
 Béton ordinaire ; $w = 0,571x$
 Béton de sable ; $w = 0,6x$

D'après le diagramme des contraintes on a :

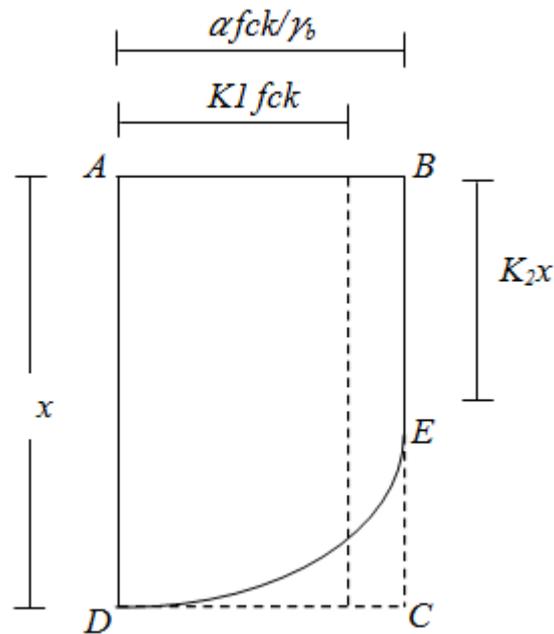


Figure (3.9). Caractéristique du bloc parabolé rectangle

L'aire du bloc rectangulaire fictif = L'aire du bloc parabolé-rectangle

$$\text{C.-à-d. } K_1 f_{ck} x = \text{L'aire (ABCD)} - \text{L'aire (ECD)}$$

$$\Rightarrow K_1 f_{ck} = \frac{\text{L'aire (ABCD)} - \text{L'aire (ECD)}}{x}$$

$$\text{Béton ordinaire } K_1 f_{ck} = \frac{0,567 f_{ck} x - 0,567 f_{ck} \frac{w}{3}}{x}$$

$$\text{Béton de sable } K_1 f_{ck} = \frac{0,67 f_{ck} x - 0,67 f_{ck} \frac{w}{3}}{x}$$

Donc :

$$\text{Béton ordinaire } K_1 = 0,459$$

$$\text{Béton de sable } K_1 = 0,536$$

(ii) Coefficient de positionnement K_2

La détermination du coefficient de positionnement est basée sur le principe d'égalité des moments de surface parabole rectangle par rapport à l'axe neutre avec le moment de surface du rectangle fictif.

C.-à-d.

$$\Rightarrow K_1 f_{ck} x (x - K_2 x) = \text{L'aire (ABCD)} \frac{x}{2} - \text{L'aire (ECD)} \frac{w}{4}$$

$$\text{Béton ordinaire } (x - K_2 x) = \frac{(0,567 f_{ck}) \frac{x}{2} - (0,567 f_{ck} \frac{w}{3}) \frac{w}{4}}{0,459 f_{ck} x}$$

$$\text{Béton de sable } (x - K_2 x) = \frac{(0,67 f_{ck}) \frac{x}{2} - (0,67 f_{ck} \frac{w}{3}) \frac{w}{4}}{0,536 f_{ck} x}$$

Donc :

$$\text{Béton ordinaire } K_2 = 0,416$$

$$\text{Béton de sable } K_2 = 0,413$$

3.4.2 Bloc de contrainte adopté par CP110

Le bloc de contrainte adopté par le CP110 est un bloc idéalisé dit parabole-rectangle, figure 3.10 déduit à partir du diagramme contrainte-déformation réel. Le CP110 admet que la déformation relative limite du béton est $\varepsilon_{cu} = 3500 \mu\text{strain}$ et que la partie parabolique du diagramme prend fin lorsque la déformation relative du béton atteint : [3]

$$\varepsilon_0 = 2,4 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_m}}$$

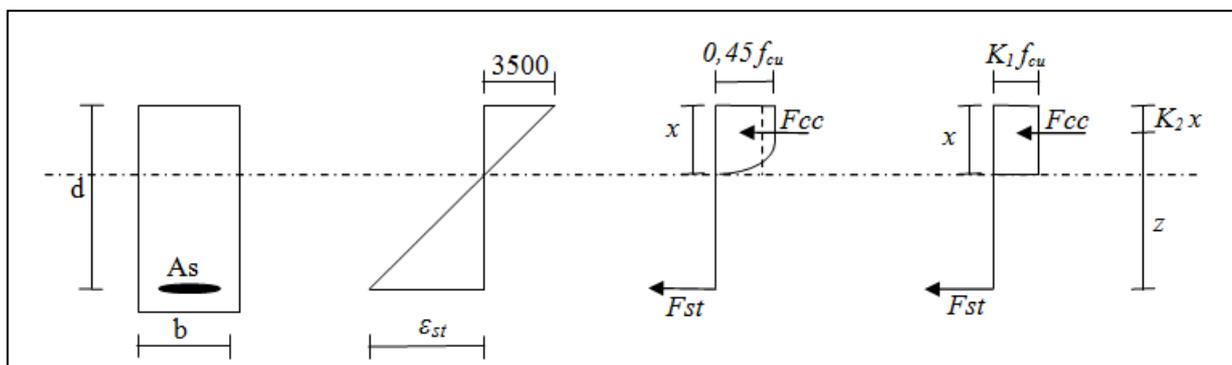


Figure (3.10). Section simplement armée du béton ordinaire avec bloc de contrainte parabole-rectangle (CP110)

Ce bloc de contrainte a été remplacé par un bloc rectangulaire fictif, dont les caractéristiques sont représentées par les coefficients K_1 et K_2 . La figure 3.11 exprime la variation des coefficients K_1 et K_2 en fonction de la résistance caractéristique du béton f_{cu} d'après le CP110 [3].

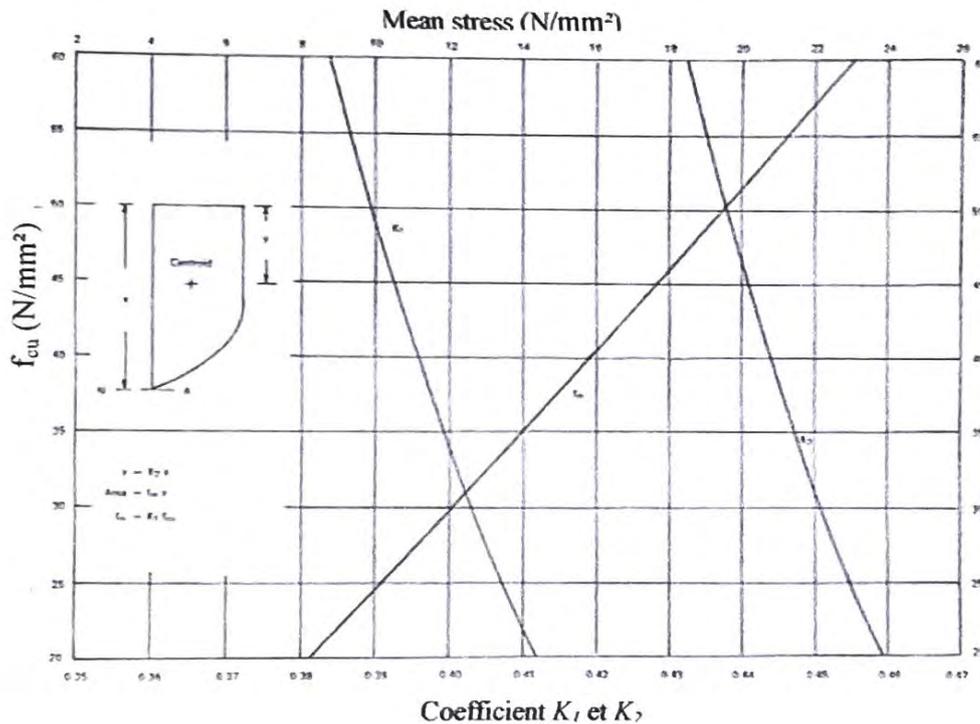


Figure (3.11). Caractéristiques du bloc rectangulaire équivalent du CP110 [3].

Ces coefficients sont donnés par les formules suivantes : [3]

$$K_1 = 0,45 \left[1 - \frac{\sqrt{f_{cu}}}{52,5} \right] \quad \text{et ;} \quad K_2 = \frac{\left(2 - \frac{\sqrt{f_{cu}}}{17,5} \right)^2 + 2}{4 \left(3 - \frac{\sqrt{f_{cu}}}{17,5} \right)}$$

3.5 Section rectangulaire simplement armée en flexion

3.5.1 Introduction

La flexion de la section induira une force résultante de traction, F_{st} , dans l'acier d'armatures, et une force de compression résultante dans le béton, F_{cc} , appliquée au niveau du *C.D.G* du bloc des contraintes, comme représenté sur la figure 3.7, 3.8 et 3.10. Pour l'équilibre, le

moment ultime de calcul, M_u , doit être équilibré par le moment résistant interne de la section de sorte que :

$$M_u = F_{cc} \cdot z = F_{st} \cdot z \quad (3.12)$$

Où : z est le bras de levier entre les forces résultantes F_{cc} et F_{st} .

3.5.2 Utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocode 2

F_{cc} = contrainte \times surface de béton comprimé

$$F_{cc} = K_1 f_{ck} b x$$

$$\text{D'où : } M_u = K_1 f_{ck} b x z \quad (3.13)$$

Avec : $z = d - K_2 x$, et $x = 0,45d$ (La valeur limite)

$$\text{Donc : } M_u = K_1 f_{ck} b \cdot 0,45d \cdot (d - K_2 \cdot 0,45d)$$

$$M_u = 0,45 \cdot K_1 \cdot (1 - 0,45 \cdot K_2) f_{ck} b d^2$$

$$\text{Béton ordinaire } M_u = 0,168 f_{ck} b d^2 \quad (3.14)$$

$$\text{Béton de sable } M_u = 0,196 f_{ck} b d^2 \quad (3.15)$$

A partir de l'équation (3.12) :

$$\begin{aligned} M_u = F_{st} \cdot z &= \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) \cdot A_s \cdot z \quad \text{avec ; } \gamma_s = 1,15 \\ &= 0,87 f_{yk} \cdot A_s \cdot z \end{aligned}$$

Par conséquent :

$$A_s = \frac{M_u}{0,87 f_{yk} \cdot z} \quad (3.16)$$

L'équation (3.16) peut être employée pour calculer la section d'armatures tendues dans un béton pour résister à un moment ultime, M_u .

La limite inférieure de $z_{\text{éq}} = d \cdot (1 - 0,45 \cdot K_2)$, est quand la profondeur de l'axe neutre égale $0,45d$, est la valeur maximale permise par le code pour une section simplement armée afin de fournir une section ductile qui aura en traction un type de rupture progressif comme déjà décrit.

$$M_{\acute{e}q} = K_1 f_{ck} b \cdot 0,45 d \cdot (d - K_2 \cdot 0,45 d)$$

Ou :

$$\text{Béton ordinaire } M_{\acute{e}q} = 0,168 f_{ck} b d^2 \quad (3.17)$$

$$\text{Béton de sable } M_{\acute{e}q} = 0,196 f_{ck} b d^2 \quad (3.18)$$

Alors :

$$A_s = \frac{M_u}{0,87 f_{yk} \cdot (d \cdot (1 - 0,45 K_2))}$$

$$\text{Béton ordinaire } A_s = \frac{M_u}{0,707 f_{yk} d} \quad (3.19)$$

$$\text{Béton de sable } A_s = \frac{M_u}{0,708 f_{yk} d} \quad (3.20)$$

3.5.3 Utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110

F_{cc} = contrainte \times surface de béton comprimé

$$F_{cc} = K_1 f_{cu} b x$$

$$\text{D'où : } M_u = K_1 f_{cu} b x z \quad (3.21)$$

Avec : $z = d - K_2 x$, et $x = 0,50d$ (La valeur limite)

$$\text{Donc : } M_u = K_1 f_{cu} b \cdot 0,5 d \cdot (d - K_2 \cdot 0,5 d)$$

$$M_u = 0,5 K_1 \cdot (1 - 0,5 K_2) f_{cu} b d^2 \quad (3.22)$$

Avec : K_1 et K_2 sont en fonction de f_{cu} .

A partir de l'équation (3.12) :

$$\begin{aligned} M_u = F_{st} z &= \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) A_s z \quad \text{avec ; } \gamma_s = 1,15 \\ &= 0,87 f_{yk} A_s z \end{aligned}$$

Par conséquent :

$$A_s = \frac{M_u}{0,87 f_{yk} z} \quad (3.23)$$

L'équation (3.23) peut être employée pour calculer la section d'armatures tendues dans un béton pour résister à un moment ultime, M_u .

La limite inférieure de $z_{\acute{e}q} = d \cdot (1 - 0,5 \cdot K_2)$, est quand la profondeur de l'axe neutre égale $0,50d$, est la valeur maximale permise par le code pour une section simplement armée afin de fournir une section ductile qui aura en traction un type de rupture progressif comme déjà décrit.

$$M_{\acute{e}q} = 0,5 \cdot K_1 \cdot (1 - 0,5 \cdot K_2) \cdot f_{cu} \cdot b \cdot d^2 \quad (3.24)$$

Avec : K_1 et K_2 sont en fonction de f_{cu} .

Alors :

$$A_s = \frac{M_u}{0,87 f_{yk} \cdot (d \cdot (1 - 0,5 \cdot K_2))} \quad (3.25)$$

❖ Analyse d'équations pour une section simplement armée

Les équations suivantes peuvent être employées pour calculer le moment résistant ou moment ultime d'une section donnée avec une section d'armature connue.

(i) Eurocode 2

L'équation d'équilibre s'écrit : $F_{cc} = F_{st}$

Ou: $K_1 f_{ck} b x = 0,87 f_{yk} A_s$

Donc : $x = \frac{0,87 f_{yk} A_s}{K_1 f_{ck} b}$ (3.26)

Par conséquent le moment résistant de la section est :

$$M_u = 0,87 f_{yk} A_s z$$

$$M_u = 0,87 f_{yk} A_s \cdot (d - K_2 x)$$

$$M_u = 0,87 f_{yk} A_s \cdot \left(d - K_2 \cdot \frac{0,87 f_{yk} A_s}{K_1 f_{ck} b} \right)$$

$$\frac{M_u}{bd^2} = 0,87 f_{yk} \cdot \frac{A_s}{bd} \cdot \left(\frac{d}{d} - \frac{K_2 \cdot 0,87 f_{yk} A_s}{K_1 f_{ck} bd} \right) \quad (3.27)$$

Donc :

$$\text{Béton ordinaire } \frac{M_u}{bd^2} = 0,87f_{yk} \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{0,362f_{yk}}{0,459f_{ck}} \rho \right) \quad (3.28)$$

$$\text{Béton de sable } \frac{M_u}{bd^2} = 0,87f_{yk} \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{0,359f_{yk}}{0,536f_{ck}} \rho \right) \quad (3.29)$$

(ii) CP110

L'équation d'équilibre s'écrit : $F_{cc} = F_{st}$

$$\text{Ou: } K_1 f_{cu} b x = 0,87 f_{yk} A_s$$

$$\text{Donc : } x = \frac{0,87 f_{yk} A_s}{K_1 f_{cu} b} \quad (3.30)$$

Par conséquent le moment résistant de la section est :

$$M_u = 0,87 f_{yk} A_s z$$

$$M_u = 0,87 f_{yk} A_s (d - K_2 x)$$

$$M_u = 0,87 f_{yk} A_s \cdot \left(d - K_2 \cdot \frac{0,87 f_{yk} A_s}{K_1 f_{cu} b} \right)$$

$$\frac{M_u}{bd^2} = 0,87 f_{yk} \cdot \frac{A_s}{bd} \cdot \left(\frac{d}{d} - \frac{K_2 0,87 f_{yk} A_s}{K_1 f_{cu} bd} \right) \quad (3.31)$$

Avec : K_1 et K_2 sont en fonction de f_{cu} .

Ces équations supposent que les armatures tendues sont en état d'écoulement (*domaine plastique*), ceci était valable, si : $x \leq x_{\text{limite}}$. Si ce n'est pas le cas, le problème exigerait la solution en essayant des valeurs successives de x jusqu'à ce que F_{cc} soit égale à F_{st} , d'où la nécessité d'utiliser la méthode d'essais successif.

$$F_{cc} = F_{st}$$

Les déformations et par conséquent les contraintes dans l'acier sont déterminées à partir des équations (3.3) et (3.5), à être employés dans les équations (3.28), (3.29) et (3.31) au lieu de $0,87 f_{yk}$.

3.6 Section rectangulaire doublement armée à l'état limite ultime

3.6.1 Introduction

Du paragraphe traitant l'analyse d'une section simplement armée et pour toutes les résistances de béton :

(i) Eurocode 2

Béton ordinaire $M_u > 0,168 f_{ck} b d^2$

Béton de sable $M_u > 0,196 f_{ck} b d^2$

(ii) CP110

$$M_u > 0,5 K_1 (1 - 0,5 K_2) f_{cu} b d^2$$

Quand le moment extérieur appliqué excède le moment résistant du béton ($M_{éq}$) les armatures comprimées sont exigées. Pour cette condition la profondeur de l'axe neutre, ($x \leq 0,45d$ pour l'Eurocode 2 [1] et $x \leq 0,5d$ pour le CP110 [3]), la valeur maximale permise par les codes afin d'assurer une rupture de traction avec une section ductile.

3.6.2 Dérivation des équations de base

(i) Eurocode 2

Par conséquent :

$$z_{éq} = d - K_2 x \Rightarrow \begin{array}{l} \text{Béton ordinaire } z_{éq} = d - 0,416.(0,45d) \\ \text{Béton de sable } z_{éq} = d - 0,413.(0,45d) \end{array}$$

Béton ordinaire $z_{éq} = 0,813d$

Béton de sable $z_{éq} = 0,814d$

L'équation d'équilibre devient : $(\sum F)_{\text{comp}} = (\sum F)_{\text{trac}}$

$$F_{st} = F_{cc} + F_{sc}$$

De sorte qu'avec les armatures tendues et comprimées à l'écoulement :

$$0,87 f_{yk} A_s = K_1 f_{ck} b x + 0,87 f_{yk} A'_s ; \quad \text{Avec : } x = 0,45d$$

$$0,87 f_{yk} A_s = 0,45 K_1 f_{ck} b d + 0,87 f_{yk} A'_s$$

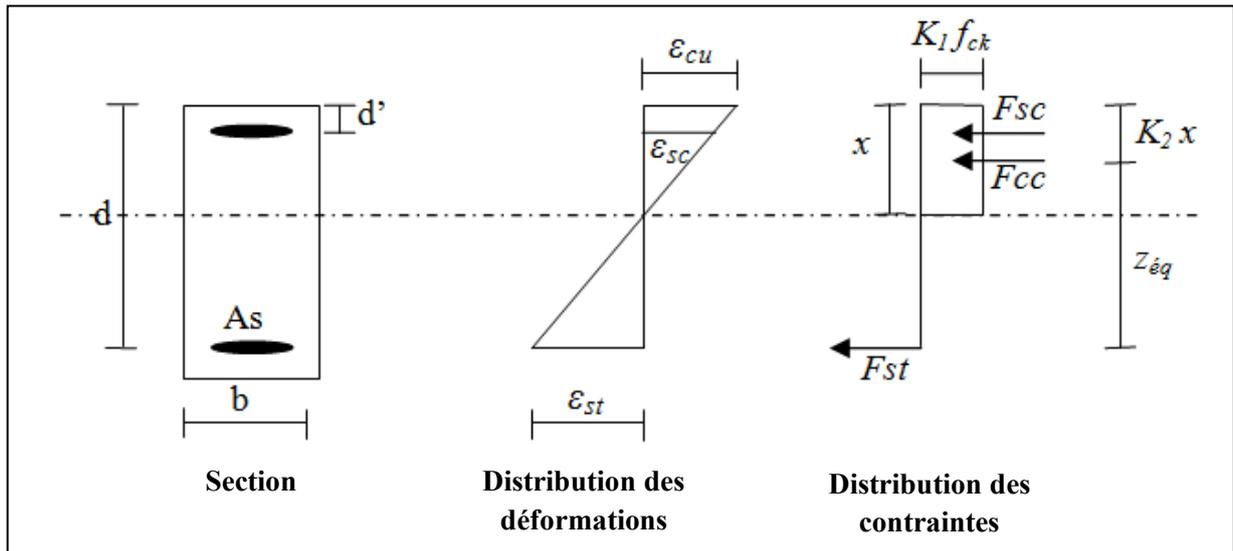


Figure (3.12). Section en béton doublement armée à l'E.L.U

Donc :

$$\text{Béton ordinaire } 0,87f_{yk} A_s = 0,207f_{ck} b d + 0,87f_{yk} A_s' \quad (3.32)$$

$$\text{Béton de sable } 0,87f_{yk} A_s = 0,241f_{ck} b d + 0,87f_{yk} A_s' \quad (3.33)$$

Et en calcule le moment ultime par rapport au C.D.G des armatures tendues

$$M_{u/CDG A_s} = F_{cc} z_{\acute{e}q} + F_{sc} (d - d')$$

$$M_{u/CDG A_s} = K_1 f_{ck} b x (d - K_2 x) + 0,87f_{yk} A_s' (d - d')$$

Donc :

$$\text{Béton ordinaire } M_{u/CDG A_s} = 0,168f_{ck} b d^2 + 0,87f_{yk} A_s' (d - d') \quad (3.34)$$

$$\text{Béton de sable } M_{u/CDG A_s} = 0,196f_{ck} b d^2 + 0,87f_{yk} A_s' (d - d') \quad (3.35)$$

A partir des équations (III.34) et (III.35), on trouve :

$$\text{Béton ordinaire } A_s' = \frac{M_u - 0,168f_{ck} b d^2}{0,87f_{yk} (d - d')} \quad (3.36)$$

$$\text{Béton de sable } A_s' = \frac{M_u - 0,196f_{ck} b d^2}{0,87f_{yk} (d - d')} \quad (3.37)$$

A_s' , Est complètement définie, où M_u est le moment extérieur obtenu à partir de la combinaison des charges à l'E.L.U.

Multipliant les deux côtés des équations (3.32) et (3.33) par $z_{\acute{e}q}$ et le réarrangement donne :

$$\text{Béton ordinaire } A_s = \frac{0,168 f_{ck} b d^2}{0,87 f_{yk} z_{\acute{e}q}} + A_s' \quad (3.38)$$

$$\text{Béton de sable } A_s = \frac{0,196 f_{ck} b d^2}{0,87 f_{yk} z_{\acute{e}q}} + A_s' \quad (3.39)$$

Avec :

$$\begin{aligned} \text{Béton ordinaire } z_{\acute{e}q} &= 0,813d \\ \text{Béton de sable } z_{\acute{e}q} &= 0,814d \end{aligned}$$

Par conséquent, la section des armatures comprimées, A_s' et celle des armatures tendues, A_s peuvent être calculées à partir des équations (3.38) et (3.39).

La quantité d'armatures comprimées a été obtenue en supposant que les aciers comprimés travaillent dans le domaine plastique, d'où $f_{sc} = 0,87 f_{yk}$. Il va falloir s'assurer que $\varepsilon_{sc} > \varepsilon_y$, ε_{sc} est lié à ε_{cu} et d' et x . Donc il faudrait voir qu'elle est la limite de (d'/d) qui condamne les aciers comprimés à travailler dans le domaine plastique, pour ce faire et en prenant les trois types d'acier utilisés, les caractéristiques connues ε_{sc} et f_{yk} et déterminer le (d'/d) limite pour chacun d'eux.

$$\frac{\varepsilon_{sc}}{x - d'} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \quad (3.40)$$

De sorte que :

$$\frac{x - d'}{x} = \frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{cu}} \Rightarrow \frac{d'}{x} = 1 - \frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{cu}} \quad \text{Avec : } x = 0,45d$$

Donc :

$$\frac{d'}{d} = 0,45 \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{cu}} \right)$$

A l'écoulement avec $\begin{cases} f_{yk} = 400 \text{MPa}, \text{ la déformation de l'acier } \varepsilon_{sc} = \varepsilon_y = 1730 \mu\text{strain} \\ f_{yk} = 500 \text{MPa}, \text{ la déformation de l'acier } \varepsilon_{sc} = \varepsilon_y = 2170 \mu\text{strain} \end{cases}$

Par conséquent, pour l'écoulement de l'acier de compression :

$$\frac{d'}{d} \leq 0,45 \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{cu}} \right) \quad (3.41)$$

a. Béton ordinaire, $\varepsilon_{cu} = 3500 \mu\text{strain}$

Donc :

$$\text{pour } f_{yk} = 400 \text{MPa}, \frac{d'}{d} \leq 0,45 \cdot \left(1 - \frac{0,00173}{0,0035}\right) \Rightarrow \frac{d'}{d} \leq 0,23 \quad (3.42)$$

$$\text{pour } f_{yk} = 500 \text{MPa}, \frac{d'}{d} \leq 0,45 \cdot \left(1 - \frac{0,00217}{0,0035}\right) \Rightarrow \frac{d'}{d} \leq 0,17 \quad (3.43)$$

b. Béton de sable, $\varepsilon_{cu} = 5000 \mu\text{strain}$

Donc :

$$\text{pour } f_{yk} = 400 \text{MPa}, \frac{d'}{d} \leq 0,45 \cdot \left(1 - \frac{0,00173}{0,005}\right) \Rightarrow \frac{d'}{d} \leq 0,29 \quad (3.44)$$

$$\text{pour } f_{yk} = 500 \text{MPa}, \frac{d'}{d} \leq 0,45 \cdot \left(1 - \frac{0,00217}{0,005}\right) \Rightarrow \frac{d'}{d} \leq 0,25 \quad (3.45)$$

Si d'/d est supérieur à ces valeurs limites données précédemment, alors il est nécessaire pour calculer la déformation ε_{sc} de l'équation (3.40) et puis pour déterminer f_{sc} de :

$$f_{sc} = E_s \cdot \varepsilon_{sc} = 200.10^3 \cdot \varepsilon_{sc}$$

Cette valeur de contrainte pour l'acier comprimé doit être alors employée dans le dénominateur des équations (3.36) et (3.37) au lieu de $0.87f_{yk}$ afin de calculer la section A'_s de l'acier comprimé. La section de l'acier tendu est calculée à partir des équations modifiée (3.38) et (3.39) tels que :

$$\text{Béton ordinaire } A_s = \frac{0,168 f_{ck} b d^2}{0,87 f_{yk} z_{\acute{e}q}} + A'_s \cdot \frac{f_{sc}}{0,87 f_{yk}}$$

$$\text{Béton de sable } A_s = \frac{0,196 f_{ck} b d^2}{0,87 f_{yk} z_{\acute{e}q}} + A'_s \cdot \frac{f_{sc}}{0,87 f_{yk}}$$

(ii) CP110

Par conséquent :

$$z_{\acute{e}q} = d - K_2 x \Rightarrow z_{\acute{e}q} = (1 - 0,5 K_2) d$$

L'équation d'équilibre devient : $(\sum F)_{\text{comp}} = (\sum F)_{\text{trac}}$

$$F_{st} = F_{cc} + F_{sc}$$

De sorte qu'avec les armatures tendues et comprimées à l'écoulement :

$$0,87f_{yk} A_s = K_1 f_{cu} b x + 0,87f_{yk} A'_s ; \quad \text{Avec : } x = 0,5d$$

$$0,87f_{yk} A_s = 0,5K_1 f_{cu} b d + 0,87f_{yk} A'_s \quad (3.46)$$

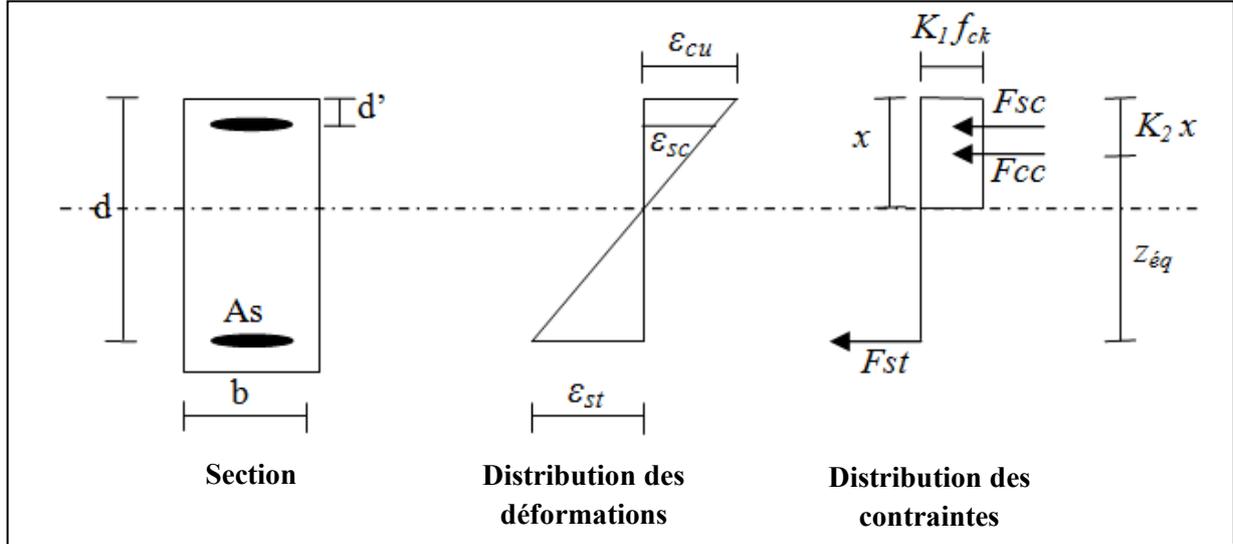


Figure (3.12). Section en béton doublement armée à l'E.L.U

Et en calcule le moment ultime par rapport au C.D.G des armatures tendues

$$M_{u/CDG A_s} = F_{cc} z_{\text{éq}} + F_{sc} (d - d')$$

$$M_{u/CDG A_s} = K_1 f_{cu} b x (d - K_2 x) + 0,87f_{yk} A'_s (d - d')$$

$$M_{u/CDG A_s} = K_1 f_{cu} b (0,5d) (d - K_2 (0,5d)) + 0,87f_{yk} A'_s (d - d')$$

$$M_{u/CDG A_s} = K_1 (0,5 - 0,25K_2) f_{cu} b d^2 + 0,87f_{yk} A'_s (d - d') \quad (3.47)$$

A partir de l'équation (3.47), on trouve :

$$A'_s = \frac{M_u - K_1 (0,5 - 0,25K_2) f_{cu} b d^2}{0,87f_{yk} (d - d')} \quad (3.48)$$

A'_s , Est complètement définie, où M_u est le moment extérieur obtenu à partir de la combinaison des charges à l'E.L.U.

Multipliant les deux côtés de l'équation (3.46) par $z_{\text{éq}}$ et le réarrangement donne :

$$A_s = \frac{K_1 \cdot (0,5 - 0,25 \cdot K_2) f_{cu} b d^2}{0,87 f_{yk} z_{\acute{e}q}} + A'_s \quad (3.49)$$

Avec : $z_{\acute{e}q} = d - K_2 x$

Et les coefficients K_1 et K_2 sont en fonction de f_{cu} .

Par conséquent, la section des armatures comprimées, A'_s et celle des armatures tendues, A_s peuvent être calculées à partir des équations (3.48) et (3.49).

La quantité d'armatures comprimées a été obtenue en supposant que les aciers comprimés travaillent dans le domaine plastique, d'où $f_{sc} = 0,87 f_{yk}$. Il va falloir s'assurer que $\varepsilon_{sc} > 0,002$, ε_{sc} est lié à ε_{cu} et d' et x . Donc il faudrait voir qu'elle est la limite de (d'/d) qui condamne les aciers comprimés à travailler dans le domaine plastique.

Le domaine plastique est caractérisé par les déformations suivantes :

$$\varepsilon_{cu} = 3500 \mu\text{strain}, \quad \varepsilon_{st} \geq \varepsilon_y, \quad \varepsilon_{sc} \geq 2000 \mu\text{strain}$$

$$\varepsilon_{sc} = \frac{x - d'}{x} \varepsilon_{cu} \geq 2000 \mu\text{strain} \quad (3.50)$$

$$\varepsilon_{sc} = \frac{\frac{x}{d} - \frac{d'}{d}}{\frac{x}{d}} \varepsilon_{cu} \geq 2000 \mu\text{strain}$$

$$\frac{d'}{d} \leq \frac{x}{d} \left(1 - \frac{0,002}{\varepsilon_{cu}} \right) \quad \text{Avec : } x = 0,5d \text{ et } \varepsilon_{cu} = 3500 \mu\text{strain}$$

Donc :

$$\frac{d'}{d} \leq 0,21 \quad (3.51)$$

Si d'/d est supérieur à ces valeurs limites données précédemment, alors il est nécessaire pour calculer la déformation ε_{sc} de l'équation (3.40) et puis pour déterminer f_{sc} de :

$$f_{sc} = f(\varepsilon_{sc})$$

Cette valeur de contrainte pour l'acier comprimé doit être alors employée dans le dénominateur de l'équation (3.48) au lieu de $0,87 f_{yk}$ afin de calculer la section A'_s de l'acier

comprimé. La section de l'acier tendu est calculée à partir de l'équation modifiée (3.49) et tels que :

$$A_s = \frac{K_1 \cdot (0,5 - 0,25 \cdot K_2) f_{cu} b d^2}{0,87 f_{yk} z_{\text{éq}}} + A'_s \frac{f_{sc}}{0,87 f_{yk}}$$

3.6.3 Conception et développement graphique d'abaques à trois entrées

La conception et le développement d'un catalogue d'abaques à trois entrées pour des sections rectangulaires en béton armé en flexion, liant graphiquement le moment réduit M_u/bd^2 et les taux d'armatures tendues $\rho = 100A_s/bd$ et comprimées $\rho' = 100A'_s/bd$ et en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2] et le CP110 [3] est basée sur la numérisation des équations obtenues en prenant l'équilibre des moments autour de l'axe des aciers tendus.

(i) EUROCODE 2

L'équation d'équilibre

$$F_{st} = F_{cc} + F_{sc}$$

$$f_{st} A_s = K_1 f_{ck} b x + f_{sc} A'_s \quad (3.52)$$

Le moment autour de l'axe des aciers tendus

$$M_u = F_{cc} z + F_{sc} (d - d')$$

$$M_u = K_1 f_{ck} b x (d - K_2 x) + f_{sc} A'_s (d - d') \quad (3.53)$$

Ces équations (3.52) et (3.53) peuvent être écrites sous la forme :

$$f_{st} \frac{A_s}{b d} = K_1 f_{ck} \frac{x}{d} + f_{sc} \frac{A'_s}{b d}$$

$$\frac{M_u}{b d^2} = K_1 f_{ck} \frac{x}{d} \left(1 - K_2 \frac{x}{d}\right) + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \left(1 - \frac{d'}{d}\right)$$

a. Béton ordinaire

$K_1 = 0,459$ et $K_2 = 0,416$

$$f_{st} \frac{A_s}{b d} = 0,459 f_{ck} \frac{x}{d} + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \quad (3.54)$$

$$\frac{M_u}{b d^2} = 0,459 f_{ck} \frac{x}{d} \cdot \left(1 - 0,416 \frac{x}{d}\right) + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \quad (3.55)$$

b. Béton de sable

$$K_1 = 0,536 \text{ et } K_2 = 0,413$$

$$f_{st} \frac{A_s}{b d} = 0,536 f_{ck} \frac{x}{d} + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \quad (3.56)$$

$$\frac{M_u}{b d^2} = 0,536 f_{ck} \frac{x}{d} \cdot \left(1 - 0,413 \frac{x}{d}\right) + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \quad (3.57)$$

(ii) CP110

L'équation d'équilibre

$$F_{st} = F_{cc} + F_{sc}$$

$$f_{st} A_s = K_1 f_{cu} b x + f_{sc} A'_s \quad (3.58)$$

Le moment autour de l'axe des aciers tendus

$$M_u = F_{cc} z + F_{sc} (d - d')$$

$$M_u = K_1 f_{cu} b x (d - K_2 x) + f_{sc} A'_s (d - d') \quad (3.59)$$

Ces équations (3.58) et (3.59) peuvent être écrites sous la forme :

$$f_{st} \frac{A_s}{b d} = K_1 f_{cu} \frac{x}{d} + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \quad (3.60)$$

$$\frac{M_u}{b d^2} = K_1 f_{cu} \frac{x}{d} \cdot \left(1 - K_2 \frac{x}{d}\right) + f_{sc} \frac{A'_s}{b d} \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \quad (3.61)$$

Pour des rapports indiqués de A'_s/bd , x/d et d'/d , les deux équations peuvent être résolues pour donner des valeurs pour A_s/bd et M/bd^2 de sorte qu'un ensemble de conception d'abaques tels que celui représenté sur les figures 3.13, 3.14 et 3.15 puisse être tracé. Avant que les équations ne puissent être résolues, les contraintes de l'acier f_{st} , et f_{sc} doivent être calculées pour chaque valeur de x/d . Ceci est réalisé en déterminant d'abord les déformations appropriées à partir du diagramme de déformations (ou en appliquant les équations (3.5) et (3.6)), et puis en évaluant les contraintes à partir de la courbe de contrainte-déformation appropriée.

Par conséquent, on peut éviter la lourdeur de l'utilisation des équations dérivées précédemment dans ce chapitre, il est impératif de développer un catalogue d'abaques (*Annexe C*), car la caractérisation de manière analytique est presque impossible.

Ce catalogue aura pour deux utilisations possibles. La première, c'est quand la section est complètement définie (sur le plan géométrique et mécanique), la détermination du moment ultime ou moment plastique. La seconde, c'est quand le moment ultime est connu et qu'il va falloir ferrailer de manière optimale

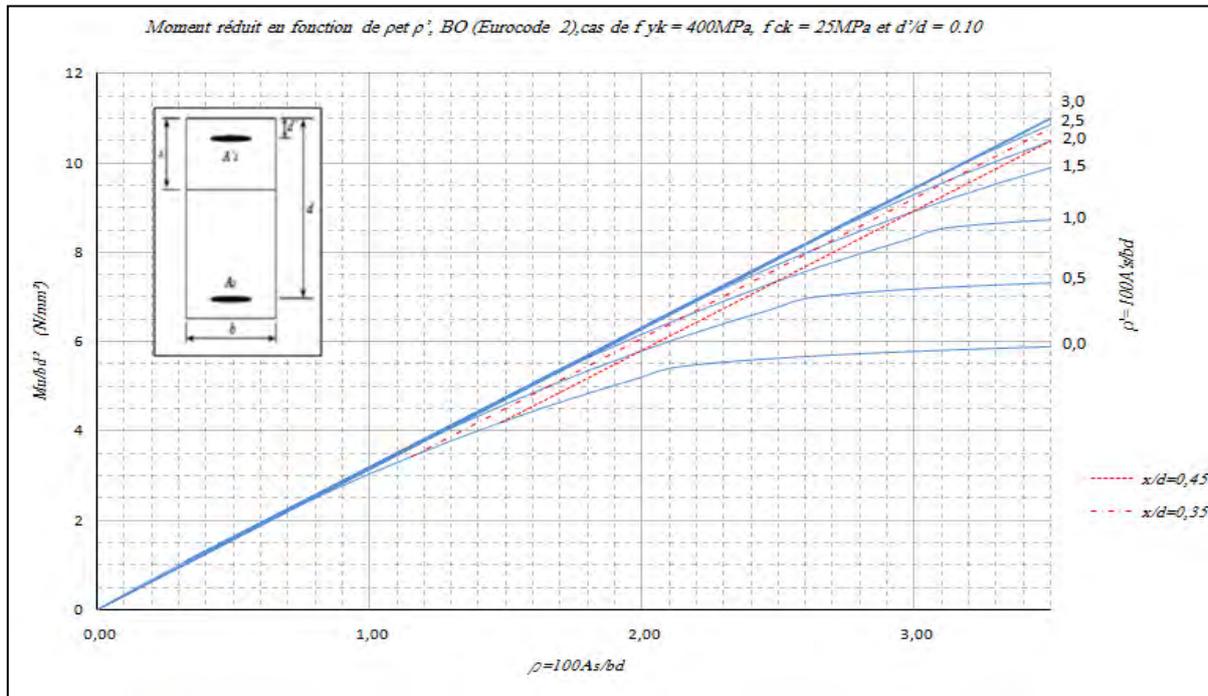


Figure (3.13). Abaque développé liant graphiquement le moment réduit et les taux d'armatures tendues et comprimées d'une section rectangulaire en BOA en flexion en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2

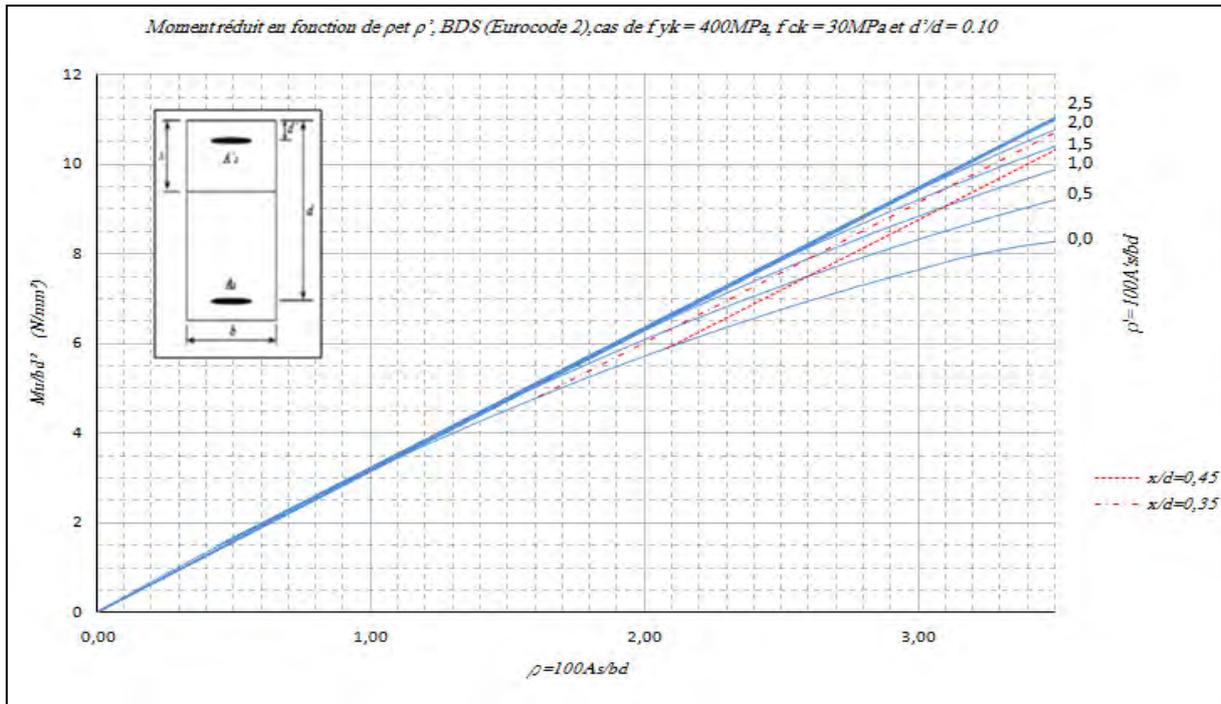


Figure (3.14). Abaque développé liant graphiquement le moment réduit et les taux d'armatures tendues et comprimées d'une section rectangulaire en BDSA en flexion en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2

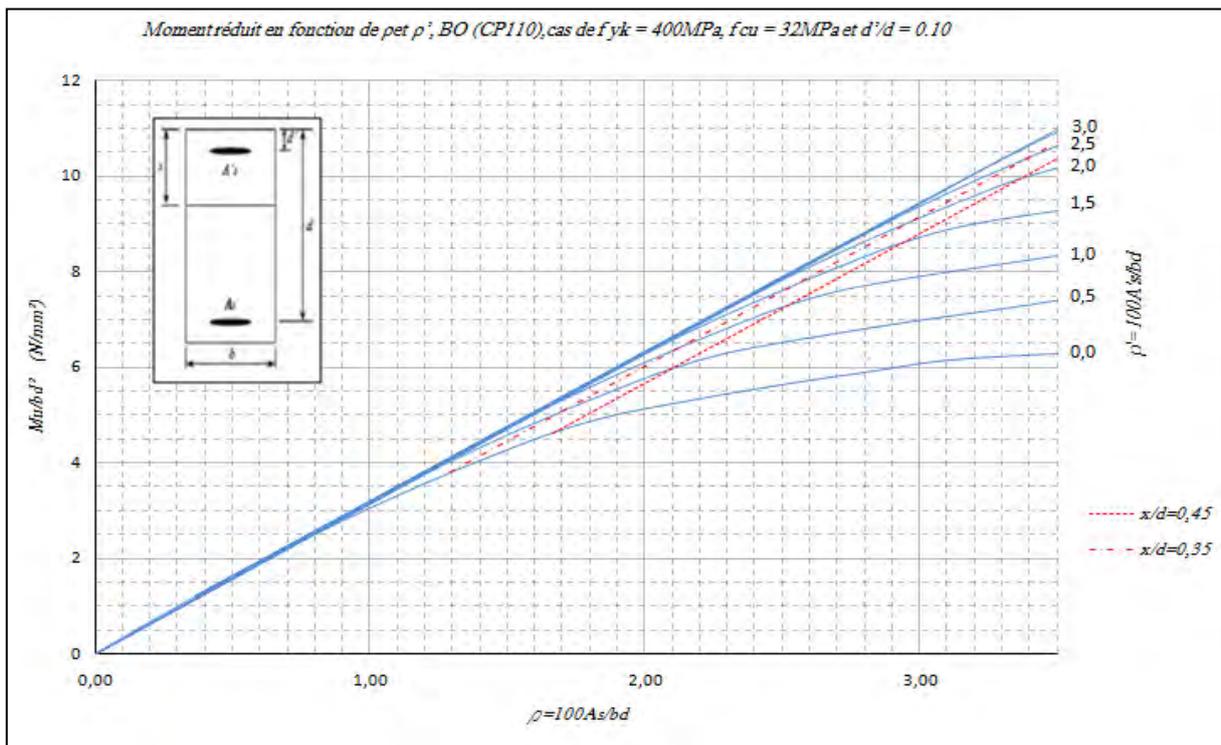


Figure (3.15). Abaque développé liant graphiquement le moment réduit et les taux d'armatures tendues et comprimées d'une section rectangulaire en BOA en flexion en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par le CP110

3.6.4 Organigramme de calcul

Afin qu'on puisse développer ce catalogue d'abaques à trois entrées pour des sections rectangulaires en béton (ordinaire et sable) armé en flexion. Un programme assisté par ordinateur est nécessaire (*MICROSOFT EXCEL*), celui-ci permet de donner les valeurs de Mu/bd^2 en fonction de $\rho=100As/bd$ et $\rho'=100A's/bd$ en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par les deux codes (l'Eurocode 2 [1], CP110 [3]) et ce pour les différents paramètres influents à savoir la résistance caractéristique à la compression du béton, la résistance caractéristique de l'acier, l'enrobage des armatures, d'/d , ainsi que la position de l'axe neutre. Avec un pas de calcul à choisir ou à fixer.

L'organigramme de calcul de ce programme est représenté par la figure 3.16.

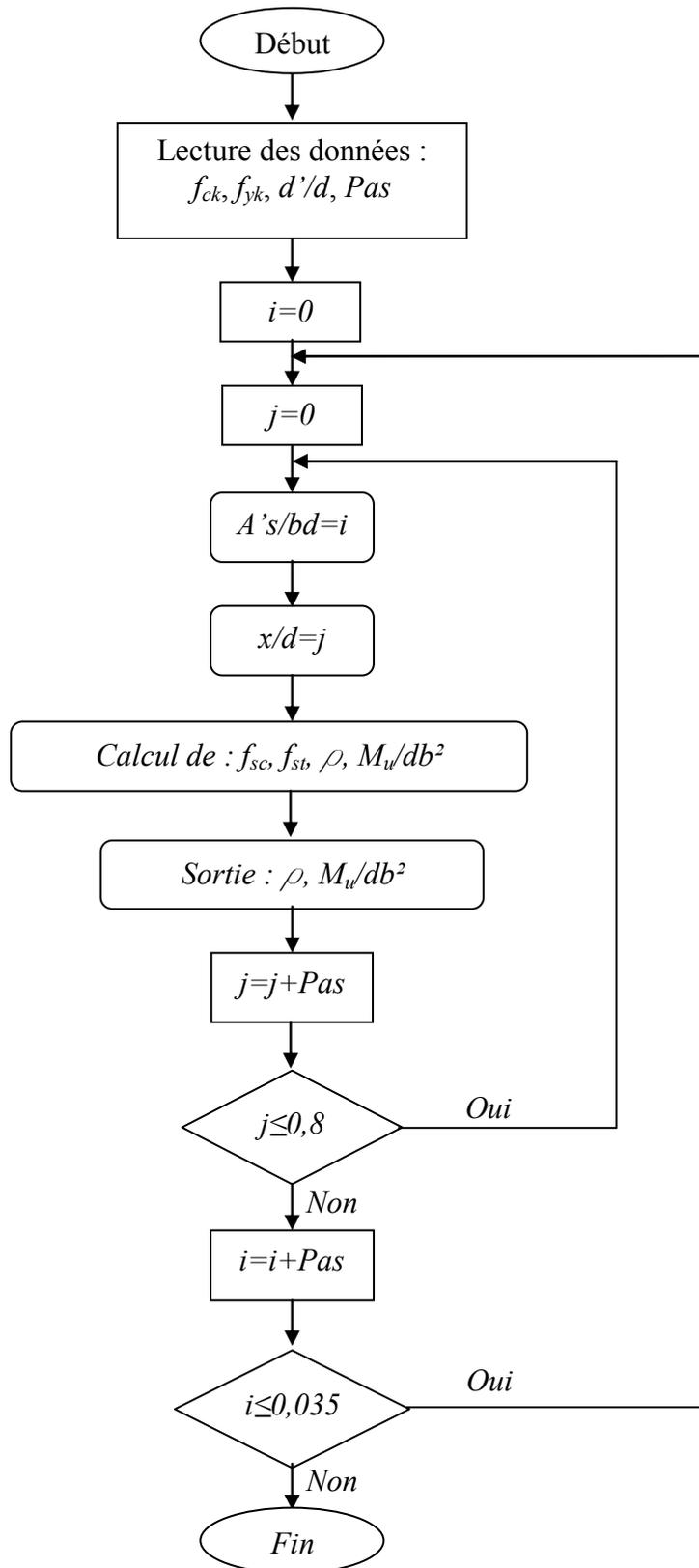


Figure (3.16). Organigramme de calcul du programme numérique

CHAPITRE 4
CONCEPTION DE SECTIONS
RECTANGULAIRES EN BÉTON ARMÉ
ÉQUIVALENTES AUX DIFFÉRENTS IPE

4. CONCEPTION DE SECTIONS RECTANGULAIRES EN BÉTON ARMÉ ÉQUIVALENTES AUX DIFFÉRENTS IPE

4.1 Introduction et problématique

Du fait que les profilés en charpente métallique sont réalisés en usine et que leurs modules et moments plastiques sont directement donnés dans la littérature et tabulés. Aussi, il va de soit pour le béton ordinaire où on peut lire avec suffisamment de détails dans différentes publications et œuvres contrairement au béton de sable qui présente une carence de données et ce compte tenu son classement en tant qu'un nouveau matériau. La problématique consiste à proposer une meilleure section rectangulaire en béton de sable et ordinaire équivalente possible simplement ou doublement armé en tenant compte de ce qui suit :

Sections de béton de sable et ordinaire doivent impérativement être sous armées (matériau béton de sable et acier exploités au maximum, $\varepsilon = \varepsilon_{cu}$ et $\varepsilon_{sc} > \varepsilon_y$) ;

Sections produites économiquement (minimisation de la section de béton et celle des aciers).

Pour résoudre ce problème, le développement d'un catalogue d'abaques à trois entrées liant graphiquement le moment réduit, Mu/bd^2 , et les taux d'armatures tendues et comprimées ρ et ρ' utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par CP110 [3] et l'Eurocode 2 [1,2] est indispensable. L'objectif principal étant de sélectionner une série de sections équivalentes en béton de sable armé répondant à deux exigences fondamentales (conception optimale et meilleure plastification possible), et faire une comparaison entre les résultats obtenus et ceux données par béton ordinaire, est également présentée.

4.2 Caractéristiques des matériaux utilisés

4.2.1 Acier de construction

(i) Introduction

Parmi les essais destructifs normalisés de contrôle de l'acier et qui renseignent sur les qualités mécaniques des aciers, seul l'essai de traction est mis en valeur et semble être le plus révélateur de données physiques, il permet de mesurer le module d'élasticité longitudinale E_s , le coefficient du poisson, les contraintes limites d'élasticité et de rupture, l'allongement à la rupture.

(ii) Essai de traction

Il est pratiqué sur une éprouvette, soumise à un effort de traction progressif, croissant de zéro à la rupture (NF A. 03101) [7]. Un enregistrement graphique mesure l'allongement de l'éprouvette en fonction de l'effort de traction appliqué (ou de contrainte). On obtient un diagramme contrainte / déformation, selon la figure 4.1 ci-après.

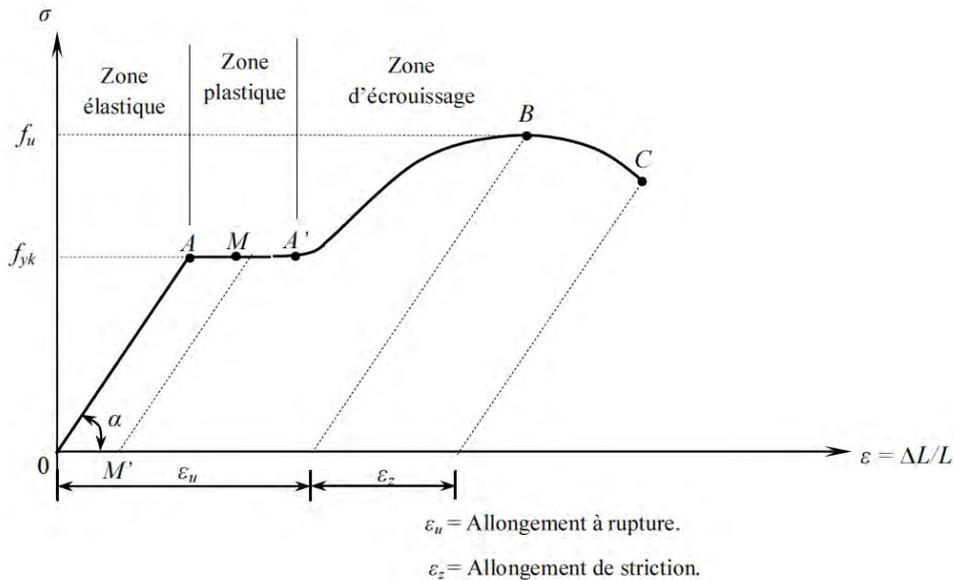


Figure (4.1). Diagramme contrainte-déformation de l'acier pour $\sigma_y = 235\text{N/mm}^2$ [7].

Ce diagramme se décompose en 4 phases :

- **phase OA** : zone rectiligne, pour les allongements sont proportionnels aux efforts appliqués. C'est la zone élastique, qui est réversible, car si l'on supprime l'effort de traction, la barre revient à sa longueur initiale ($\Delta L/L = 0$) ;
- **phase AA'** : palier horizontal, qui traduit un allongement sous charge constante. Il y a écoulement du matériau. C'est la zone plastique. A partir de A (par exemple, en M), si on supprime l'effort de traction, le retour à l'équilibre se fait selon une droite MM', parallèle à OA, et la pièce conserve un allongement rémanent OM' ;
- **phase A'B** : la charge croît à nouveau avec les allongements jusqu'au point B ;
- **phase BC** : l'allongement continu, bien que la charge soit décroissante, jusqu'au point C, qui correspond à la rupture. Dans cette dernière phase, la déformation plastique est localisée dans une faible portion de l'éprouvette et n'est plus homogène. Il y a striction.

(iii) Plasticité de l'acier : Réserve de sécurité

Le palier de ductilité AA' est particulièrement important en construction métallique, car il représente une réserve de sécurité. En effet, il peut arriver que localement dans une structure à des pièces qui peuvent être sollicitées au-delà de cette limite élastique. Elles disposent, dans ce cas, du palier AA' pour se décharger dans des zones avoisinantes. On dit qu'il y a adaptation plastique.

Plus la teneur en carbone des aciers augmente, plus, f_{yk} , augmente, plus le palier de ductilité se raccourcit et plus l'allongement à rupture diminue. La sécurité est donc inversement proportionnelle au taux de carbone. C'est pourquoi seuls les aciers doux (à faible taux de carbone) sont autorisés en construction métallique. Le taux moyen de carbone étant de 0.2 %, figure 4.2 [7].

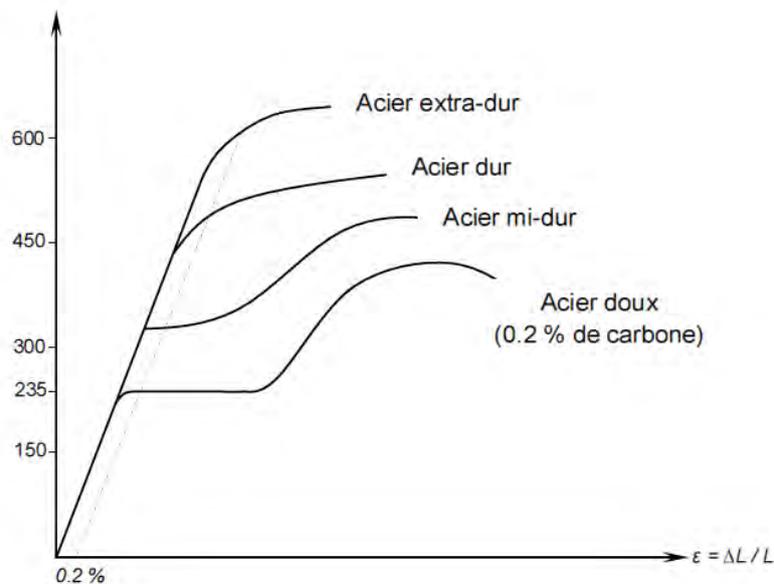


Figure (4.2). Diagramme contrainte-déformation d'aciers en fonction de taux de carbone [7].

Cette notion de plasticité/sécurité est très importante, En effet, lorsqu'une pièce est excessivement sollicitée, au-delà de la limite élastique, f_{yk} , si elle est constituée en acier dur ou en fonte, elle va périr par rupture brutale, sans présenter au préalable de signe ou de déformation prémonitoire. Par contre, une pièce en acier doux va présenter de grandes déformations, qui vont prévenir du danger latent.

Alors que les règles CM 66 [7] ne tenaient que sommairement compte de cette possibilité pour les pièces fléchies (par l'introduction d'un coefficient d'adaptation plastique), l'Eurocode 3 [8], au contraire est établi sur la base de ce comportement élasto-plastique de l'acier.

(iv) Caractéristiques des profils utilisés

Les profils utilisés dans la présente étude sont des profils en double T à ailes étroites, figure 4.3, dont le moment d'inertie I_y est petit vis-à-vis du moment d'inertie I_z . Le poids par mètre courant de ces profils est relativement faible, ils sont principalement utilisés comme éléments fléchis. On distingue la gamme des profils *IPE*, dont les ailes sont d'épaisseur constante. Le tableau (4.1) rassemble les caractéristiques géométriques de la série des *IPE* (80/600) [9].

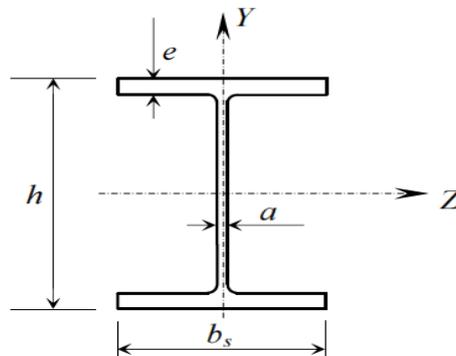


Figure (4.3). Section transversale d'un profilé IPE [9].

Profilé	Dimensions				Section S (mm ²)	Poids P (kg/m)	Modules plastique Wpl/z (mm ³)
	hs (mm)	bs (mm)	a (mm)	e (mm)			
IPE 80	80	46	3,8	5,2	764	6,0	23200
IPE 100	100	55	4,1	5,7	1030	8,1	39400
IPE 120	120	64	4,4	6,3	1320	10,4	60700
IPE 140	140	73	4,7	6,9	1640	12,9	88300
IPE 160	160	82	5,0	7,4	2010	15,8	124000
IPE 180	180	91	5,3	8,0	2390	18,8	166000
IPE 200	200	100	5,6	8,5	2850	22,4	221000
IPE 220	220	110	5,9	9,2	3340	26,2	285000
IPE 240	240	120	6,2	9,8	3910	30,7	367000
IPE 270	270	135	6,6	10,2	4590	36,1	484000
IPE 300	300	150	7,1	10,7	5380	42,2	628000
IPE 330	330	160	7,5	11,5	6260	49,1	804000
IPE 360	360	170	8,0	12,7	7270	57,1	1019000
IPE 400	400	180	8,6	13,5	8450	66,3	1307000
IPE 450	450	190	9,4	14,6	9880	77,6	1702000
IPE 500	500	200	10,2	16,0	11600	90,7	2194000
IPE 550	550	210	11,1	17,2	13440	106,0	2787000
IPE 600	600	220	12,0	19,0	15600	122,0	3512000

4.2.2 Béton

Le béton de sable présente des résistances à la compression assez élevée, de l'ordre de 20 à 32 N/mm^2 , mais sa résistance à la traction est faible, de l'ordre de 1/10 de sa résistance en compression. Pour pallier à sa faible résistance en traction et à sa fragilité, on lui associe des armatures en acier.

La résistance caractéristique à la compression à 28 jours est l'une des principales propriétés du béton, elle est obtenue par des essais de compression sur des éprouvettes normalisées, appelées (16 x 32), de formes cylindriques de hauteur 32cm et de diamètre 16cm (Aire de 200 cm^2).

Pour mettre en exergue l'influence de cette résistance sur les dimensions de la section en béton armé équivalente à un profilé donné, trois valeurs de f_{ck} ont été retenues pour la présente étude à savoir 20, 25 et 30 N/mm^2 .

4.2.3 Acier d'armatures

Les différents types d'aciers d'armatures utilisés dans le béton armé se distinguent par leurs nuances, leur état de surface et de leurs propriétés mécaniques [15].

On distingue quatre types d'aciers pour armatures, du moins au plus écroui :

1. Les aciers doux, sans traitement thermique ayant une valeur caractéristique de la limite élastique garantie de 125 ou 235 N/mm^2 . Ce sont les rond-lisses (noté \emptyset), ils possèdent une très grande déformation à la rupture (allongement de 22‰) ;
2. Les aciers laminés à chaud, naturellement durs, dits aciers à haute adhérence de type I. Ce type d'acier a une limite d'élasticité garantie de 400 N/mm^2 et un allongement à la rupture de 14‰.
3. Les aciers laminés à chaud et écrouis avec faible réduction de section (par traction-torsion), dits aciers à haute adhérence de type II. Ce type d'acier a une limite d'élasticité garantie de 500 N/mm^2 et un allongement à la rupture de 12‰.
4. Les aciers laminés à froid par tréfilage (forte réduction de section), fortement écrouis, utilisés pour fabriquer les treillis soudés et fils sur bobines. Ce type d'acier a une limite d'élasticité garantie de 500 N/mm^2 et un allongement à la rupture de 8‰.

On pourra retenir que l'action de l'écrouissage est d'augmenter la limite d'élasticité en faisant disparaître le palier de plasticité, et de diminuer l'allongement à la rupture (plus fragile). Les quatre types d'acier ont le même comportement élastique, donc un même module de Young

de $E_s = 200\,000\text{ N/mm}^2$. La déformation à la limite élastique est voisine de $2000\mu\text{strain}$, en fonction de la valeur de la limite d'élasticité.

Afin de balayer tout les paramètres qui peuvent être influents sur les dimensions de la section en béton armé équivalente à un profilé donné ainsi que sur les taux d'armatures tendues et comprimées, deux valeurs pour la contrainte d'écoulement, f_{yk} , des aciers ont été retenue dans la présente étude à savoir 400 et 500N/mm^2 .

4.3 Détermination du moment plastique pour les différents IPE

Lors du dimensionnement d'un élément de structure, on fait appel aux lois de la statique et de la résistance des matériaux. Pour le calcul des efforts internes à savoir le moment plastique on peut utiliser la méthode d'analyse plastique, tenant compte de la plastification totale de la section [5]. Du fait que les caractéristiques géométriques des profilés sont données, ce calcul est facile, il suffit de connaître la contrainte d'écoulement, σ_y , de l'acier utilisé.

Les profilés en IPE ont une section en I, Le moment plastique de la gamme des IPE est donné dans le tableau (4.2) ci après.

$$M_p = W_{pl} \cdot \sigma_y \tag{4.1}$$

W_{pl} : Module plastique

$$\sigma_y = 235\text{ N / mm}^2$$

Tableau (4.2). Moment plastique des différents profilés type IPE			
Profilé	Mp (KN.m)	Profilé	Mp (KN.m)
IPE 80	5,45	IPE 270	113,74
IPE 100	9,26	IPE 300	147,58
IPE 120	14,26	IPE 330	188,94
IPE 140	20,75	IPE 360	239,47
IPE 160	29,14	IPE 400	307,15
IPE 180	39,01	IPE 450	399,97
IPE 200	51,94	IPE 500	515,59
IPE 220	66,98	IPE 550	654,95
IPE 240	86,25	IPE 600	825,32

4.4 Caractérisation de sections en béton armé équivalentes

4.4.1 Sections simplement armées

(i) Introduction

La détermination de sections en béton (ordinaire et sable) simplement armées équivalentes aux différents *IPE* doit être établie par une conception optimale. Les sections en béton armé devant impérativement être sous armées (matériaux béton (ordinaire et sable) et acier exploités au maximum $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cu}$, ε_{st} et ε_{sc} dépassant ε_y avec ($x/d = 0.45$ pour l'Eurocode [1] et $0,5$ pour le CP110 [3]) qui correspond à une déformation plastique des aciers. Il s'agit de déterminer les dimensions de la section rectangulaire équivalente bc , hc et la quantité d'armatures tendues, As . Ceci est un problème ardu et complexe car il consiste à déterminer plusieurs inconnues à la fois.

Cette opération ne peut se faire qu'a développé un catalogue d'abaques à trois entrées liant graphiquement le moment réduit Mu/bd^2 et les taux d'armatures tendues, ρ , et comprimées, ρ' , en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2] et le CP110 [3]. Ces abaques doivent être conçus en fonction des paramètres influents à savoir l'enrobage des acier d'/d , la résistance caractéristique à la compression du béton, f_{ck} , la résistance caractéristique des aciers, f_{yk} , la position de l'axe neutre, x/d , etc. (une partie du catalogue d'abaques est donnée à titre illustratif dans l'Annexe C).

(ii) Processus de détermination

1. Principes

Le processus nécessite de connaître ou de fixer au préalable et en premier lieu les paramètres suivants : f_{ck} , f_{yk} et d'/d (Il est à noter que chacun des abaques développés a été fait pour une combinaison donnée de ces paramètres).

Par la suite, il est impératif de fixer l'une des inconnues géométriques. Pour la présente étude, il a été retenu de fixer la largeur de la section de béton équivalente, bc , et ce proportionnellement à la largeur d'un profilé donné, bs ; le rapport de proportionnalité est noté $\beta = bc/bs$ et varie de $1,5$ à $2,5$ avec un pas de $0,25$. Cet intervalle correspondant à des sections courantes et pratiques.

En outre, il faudrait aussi fixer le rapport entre la hauteur utile de la section équivalente de béton, d , et sa hauteur totale, hc , dans la présente étude, il a été retenu $d = 0.9hc$.

A partir de là, le processus de détermination peut être lancé et avec à la clef une autre exigence par rapport à x/d . En effet pour que les aciers soient condamnés à travailler dans le domaine plastique, il faudrait que x/d soit égale à 0.45 pour l'Eurocode 2 et 0,5 pour le CP110.

En prenant l'abaque appropriée pour une combinaison donnée de f_{ck} , f_{yk} et d'/d et en fixant x/d , par simple lecture sur la courbe de $\rho'=0$ on détermine $\rho=100A_s/bd$ et M_u/bd^2 (projection verticale et projection horizontale), $M_u = M_p$ du profilé, $b_c = \beta.bs$ et $d = 0.9hc$. L'ensemble des inconnues se trouve de ce fait déterminé.

2. Procédure

a. Détermination de la hauteur utile d_c :

Dans le cas général on pose :

$$\frac{M_u}{bd^2} = \lambda \quad (4.2)$$

à partir de l'équation (4.2) on trouve :

$$d_c = \sqrt{\frac{M_u}{\lambda b_c}} \quad (4.3)$$

b. Détermination de la quantité des armatures tendues A_s :

$$\text{On a : } \frac{100A_s}{bd} = \rho \quad (4.4)$$

De l'équation (4.4) on obtient :

$$A_s = \rho \frac{bd}{100} \quad (4.5)$$

En faisant varier le rapport géométrique, β , la résistance caractéristique du béton (ordinaire ou de sable) de 20, 25, 30N/mm² et la contrainte d'écoulement des aciers de 235, 400, 500N/mm² et en balayant toute la gamme des profilés IPE on trouve des séries de sections rectangulaires en béton simplement armées (les résultats sont tabulés dans le §4.4.1.4).

3. Traitement d'un exemple :

Les données : IPE220, la contrainte d'écoulement $\sigma_y=235\text{Mpa}$ et le rapport $\beta=2.00$, Le module plastique $W_{pl} 220 = 285000 \text{ mm}^3$. Le moment plastique : $M_p=66,98 \text{ KN.m}$, $bs=110 \text{ mm}$.

A partir de l'abaque approprié pour un $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ et $f_{yk} = 400 \text{ Mpa}$, $d'/d = 0.10$ et pour un $x/d = 0.45$, on déduit les valeurs de: $Mu/bd^2 = 4.20 \text{ N/mm}^2$ et $100As/bds = 1.48$, pour un béton ordinaire et en utilisant les caractéristiques de l'Eurocode 2.

Résultats :

$$bc = 220 \text{ mm}, dc = 269 \text{ mm}, hc = 299 \text{ mm}, As = 876 \text{ mm}^2$$

(iii) Organigramme de calcul

Pour obtenir rapidement et facilement les dimensions de la section en béton armé bc , hc et leur ferrailage As , le nombre de paramètres influents est important à savoir la variation des f_{ck} , f_{yk} et le rapport géométrique β , un programme de calcul automatique assisté par l'ordinateur est nécessaire. L'organigramme de calcul est représenté par la figure 4.4.

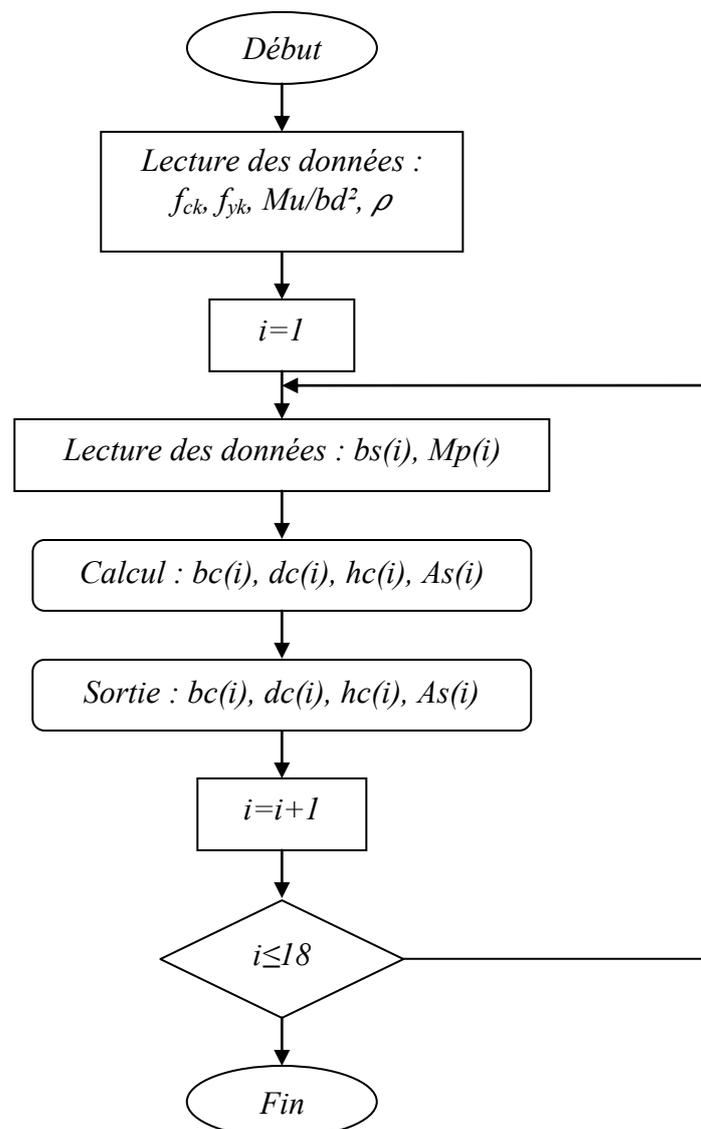


Figure (4.4). Organigramme de calcul de sections rectangulaires simplement armées

(iv) Résultats

L'exécution du programme de calcul a été effectuée en tenant compte, à chaque fois, de tous les paramètres influents à savoir la variation de la résistance caractéristique du béton, f_{ck} , et la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier d'armatures, f_{yk} , et ce pour les cinq valeurs du rapport géométrique β . Le nombre important de résultats a permis d'apprécier l'effet de la variation de ces paramètres sur les dimensions de la section rectangulaire équivalente possédant un moment ultime qui est supposé dans la présente étude égale au moment plastique d'un profilé en charpente métallique de type IPE.

Le tableau (4.3) est un tableau type qui présente les résultats de calcul pour les sections simplement armées.

Tableau (4.3). Détermination de sections rectangulaires en (BO ou BDS) simplement armées équivalentes pour f_{yk} , β et x/d .											
$(f_{ck}$ ou $f_{cu}) (N/mm^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	15,3	17,0	1,26	13,7	15,2	1,40	12,5	13,9	1,54
IPE100	9,26	8,25	18,3	20,3	1,79	16,3	18,2	2,00	14,9	16,6	2,19
IPE120	14,26	9,60	21,0	23,4	2,40	18,8	20,9	2,67	17,2	19,1	2,93
IPE140	20,75	10,95	23,7	26,4	3,09	21,2	23,6	3,44	19,4	21,5	3,78
IPE160	29,14	12,30	26,6	29,5	3,89	23,8	26,4	4,32	21,7	24,1	4,75
IPE180	39,01	13,65	29,2	32,4	4,74	26,1	29,0	5,27	23,8	26,5	5,79
IPE200	51,94	15,00	32,1	35,7	5,73	28,7	31,9	6,37	26,2	29,1	7,00
IPE220	66,98	16,50	34,8	38,6	6,82	31,1	34,5	7,59	28,4	31,5	8,34
IPE240	86,25	18,00	37,8	42,0	8,09	33,8	37,5	9,00	30,8	34,3	9,88
IPE270	113,74	20,25	40,9	45,4	9,85	36,6	40,6	10,96	33,4	37,1	12,03
IPE300	147,58	22,50	44,2	49,1	11,83	39,5	43,9	13,16	36,1	40,1	14,45
IPE330	188,94	24,00	48,4	53,8	13,82	43,3	48,1	15,38	39,5	43,9	16,88
IPE360	239,47	25,50	52,9	58,7	16,04	47,3	52,5	17,85	43,2	48,0	19,59
IPE400	307,15	27,00	58,2	64,7	18,70	52,0	57,8	20,80	47,5	52,8	22,83
IPE450	399,97	28,50	64,6	71,8	21,92	57,8	64,2	24,38	52,8	58,6	26,77
IPE500	515,59	30,00	71,5	79,5	25,53	64,0	71,1	28,40	58,4	64,9	31,18
IPE550	654,95	31,50	78,7	87,4	29,49	70,4	78,2	32,80	64,2	71,4	36,01
IPE600	825,32	33,00	86,3	95,9	33,88	77,2	85,7	37,69	70,4	78,3	41,38

4.4.2 Sections doublement armées

(i) Méthode de calcul

Les sections des poutres en béton armé utilisées en pratique sont en général doublement armées (c'est-à-dire avec armatures de montage), leurs conception doit être aussi sous armées ($x/d = (x/d)_{limite}$), la détermination des dimensions bc et hc , ainsi que la quantité d'armatures tendues, As , et comprimées, $A's$, doit passer par les étapes suivantes :

➤ Les données du problème sont :

- Les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés, tel que f_{ck} et f_{yk} ;
- Le moment ultime exercé qui est pris égal à M_p d'un profilé donné ;
- Les dimensions et les armatures tendues des sections simplement armées obtenues (bc , hc et As)

➤ L'approche dans cette partie est analytique ; la détermination des quantités d'armatures tendues et comprimées ainsi que le moment plastique peuvent être obtenus analytiquement en prenant un bloc parabole-rectangle basé sur le principe de HOGNESTAD.

Pour une section rectangulaire en béton simplement armée on calcule le moment résistant :

$$z = d - K_2 x \quad (4.1)$$

Avec ;
$$x = \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{cc} + \epsilon_{st}} d$$

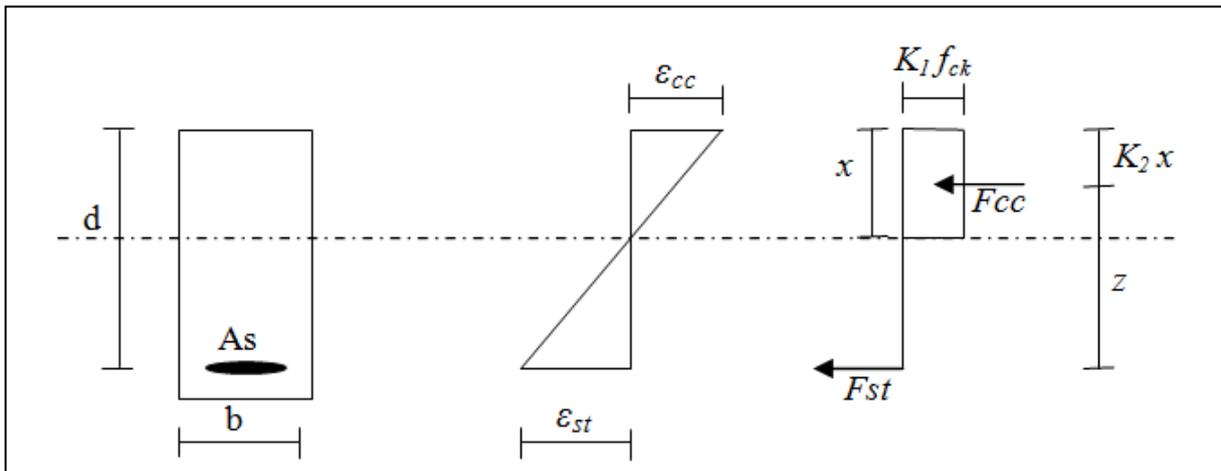


Figure (4.5). Section en béton simplement armée

La conception des sections doublement armées est établie à la limite de $x/d=0.45$ pour l'Eurocode 2 [1] et $x/d = 0.5$ pour le CP110 [3], où on assure que les armatures tendues et comprimées travaillent dans le domaine plastique, (ϵ_{sc} et $\epsilon_{st} > \epsilon_y$, $\epsilon_{cc(BO)}=3500 \mu strain$, $\epsilon_{cc(BDS)}=5000 \mu strain$) et c'est l'exploitation au maximum des matériaux utilisés.

$$M_{ur1} = F_{cc} \cdot z \quad (4.2)$$

a. Eurocode 2 ;(x/d=0,45)

$$M_{ur1} = K_1 f_{ck} b x \cdot (d - K_2 x)$$

$$M_{ur1} = K_1 f_{ck} b \cdot (0,45 d) \cdot (d - K_2 \cdot (0,45 d))$$

$$M_{ur1} = 0,45 \cdot K_1 \cdot (1 - 0,45 \cdot K_2) f_{ck} b d^2$$

Béton ordinaire $M_{ur1} = 0,168 f_{ck} b d^2$ (4.3)

Béton de sable $M_{ur1} = 0,196 f_{ck} b d^2$ (4.4)

b. CP110 ;(x/d=0,5)

$$M_{ur1} = K_1 f_{cu} b x \cdot (d - K_2 x)$$

$$M_{ur1} = K_1 f_{cu} b \cdot (0,5 d) \cdot (d - K_2 \cdot (0,5 d))$$

$$M_{ur1} = 0,5 \cdot K_1 \cdot (1 - 0,5 \cdot K_2) f_{cu} b d^2 \quad (4.5)$$

Avec : K_1 et K_2 sont en fonction de f_{cu} .

Lorsque $M_u \leq M_{ur1}$, il convient de redimensionner la section de béton (ordinaire et sable), on substitue la valeur de d par $d_{mod} = 0,9d$ jusqu'à ce M_u (moment extérieur exercé et qui pris égal à M_p d'un profilé donné) soit supérieur à M_{ur1} (moment résistant de la section) d'où en prévoit des armatures comprimées. Le calcul des sections doublement armées permet d'évaluer le taux de diminution de la hauteur utile d .

D'après l'équilibre des moments internes la quantité d'armatures comprimées, A'_s , est donnée par :

$$A'_s = \frac{M_u - M_{ur1}}{0,87 f_{yk} \cdot (d_{mod} - d')} ; \text{ Avec : } d'/d=0,1 \text{ Donc :}$$

a. Eurocode 2 ;(x/d=0,45)

Béton ordinaire $A'_s = \frac{M_u - 0,168 f_{ck} b d_{mod}^2}{0,783 f_{yk} d_{mod}}$ (4.6)

Béton de sable $A'_s = \frac{M_u - 0,196 f_{ck} b d_{mod}^2}{0,783 f_{yk} d_{mod}}$ (4.7)

D'après l'équilibre des forces, la quantité d'armatures tendues est donnée par :

$$A_s = \frac{M_{uri}}{0,87 f_{yk} z} + A'_s$$

Béton ordinaire $A_s = \frac{0,168 f_{ck} b d_{mod}}{0,707 f_{yk}} + A'_s$ (4.8)

Béton de sable $A_s = \frac{0,196 f_{ck} b d_{mod}}{0,708 f_{yk}} + A'_s$ (4.9)

b. CP110 ; (x/d=0,5)

$$A'_s = \frac{M_u - 0,5 K_1 \cdot (1 - 0,5 K_2) f_{cu} b d_{mod}^2}{0,783 f_{yk} d_{mod}} \quad (4.10)$$

D'après l'équilibre des forces, la quantité d'armatures tendues est donnée par :

$$A_s = \frac{0,5 K_1 \cdot (1 - 0,5 K_2) f_{cu} b d_{mod}^2}{0,87 f_{yk} z} + A'_s$$

$$A_s = \frac{0,5 K_1 \cdot (1 - 0,5 K_2) f_{cu} b d_{mod}^2}{0,87 f_{yk} \cdot (1 - 0,5 K_2) d_{mod}} + A'_s$$

Donc : $A_s = \frac{0,5 K_1 f_{cu} b d_{mod}}{0,87 f_{yk}} + A'_s$ (4.11)

(ii) Organigramme de calcul

Un programme de calcul automatique a été établi pour déterminer les taux d'armatures tendues et comprimées ainsi que les nouvelles dimensions des sections doublement armées, cet organigramme est représenté par la figure 4.6.

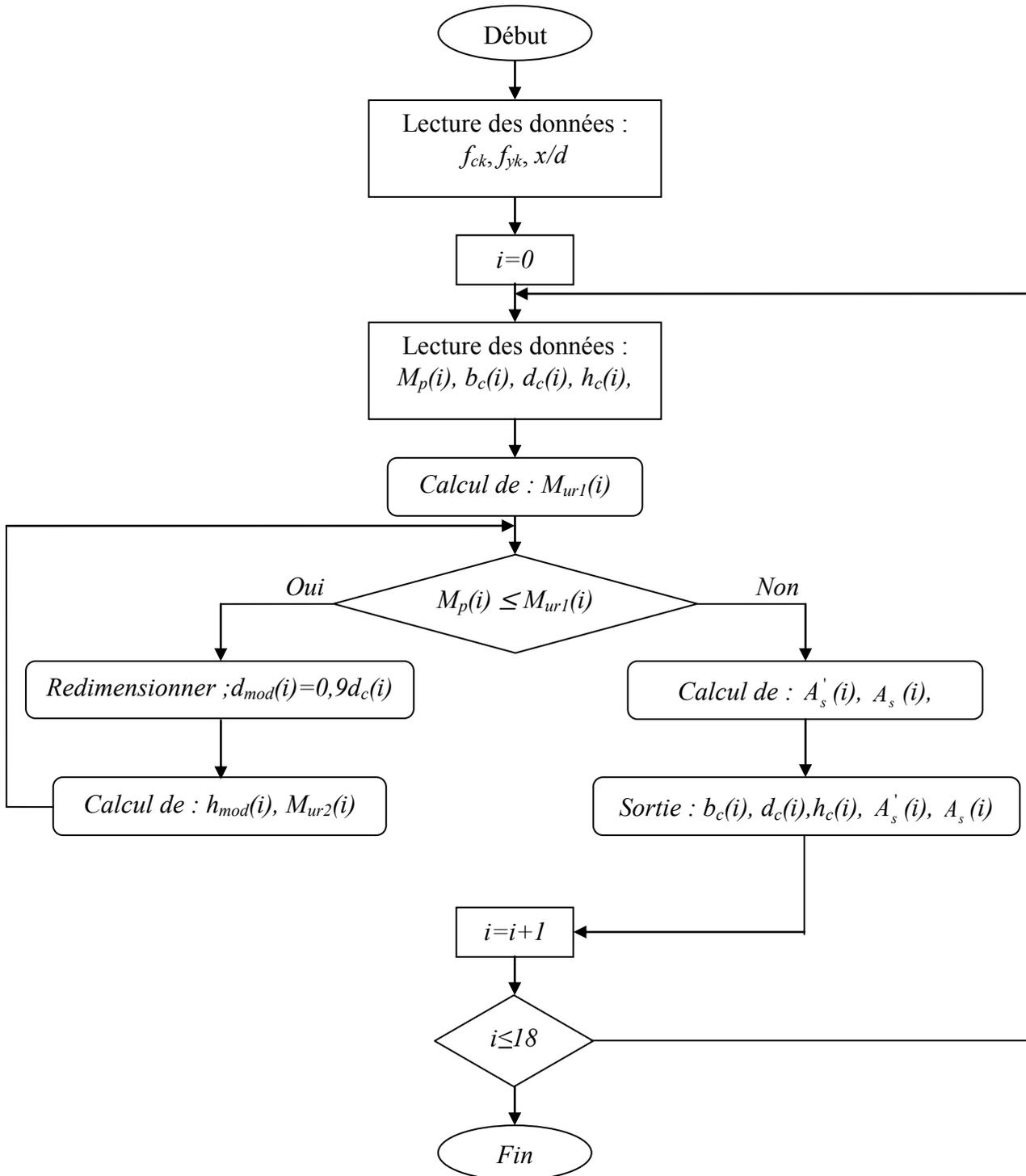


Figure (4.6). Organigramme de calcul de sections rectangulaires doublement armées

(iii) Résultats

Les tableaux des résultats obtenus par les calculs effectués en tenant compte à chaque fois de tous les paramètres influents à savoir la variation de la résistance caractéristique du béton, f_{ck} , et la variation de la contrainte d'écoulement des aciers d'armatures, f_{yk} , et ce pour les cinq valeurs du rapport géométrique β .

Le tableau (4.4) est un tableau type qui présente les résultats de calcul pour les sections doublement armées.

Tableau (4.4). Détermination de sections rectangulaires en (BO ou BDS) doublement armées équivalentes pour (f_{ck} ou f_{cu}), f_{yk} , β et x/d .								
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,5	4,42	11,7	0,31	1,87
IPE100	9,26	9,63	13,9	12,5	7,51	13,9	0,45	2,67
IPE120	14,26	11,20	16,0	14,4	11,56	16,0	0,60	3,58
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,82	18,0	0,77	4,61
IPE160	29,14	14,35	20,2	18,2	23,62	20,2	0,97	5,79
IPE180	39,01	15,93	22,2	19,9	31,62	22,2	1,18	7,05
IPE200	51,94	17,50	24,4	22,0	42,11	24,4	1,43	8,53
IPE220	66,98	19,25	26,4	23,8	54,30	26,4	1,70	10,16
IPE240	86,25	21,00	28,7	25,8	69,92	28,7	2,02	12,05
IPE270	113,74	23,63	31,1	28,0	92,20	31,1	2,46	14,67
IPE300	147,58	26,25	33,6	30,2	119,64	33,6	2,95	17,62
IPE330	188,94	28,00	36,8	33,1	153,16	36,8	3,45	20,59
IPE360	239,47	29,75	40,2	36,2	194,13	40,2	4,00	23,89
IPE400	307,15	31,50	44,2	39,8	248,99	44,2	4,67	27,84
IPE450	399,97	33,25	49,1	44,2	324,23	49,1	5,47	32,64
IPE500	515,59	35,00	54,3	48,9	417,96	54,3	6,37	38,02
IPE550	654,95	36,75	59,8	53,8	530,93	59,8	7,36	43,91
IPE600	825,32	38,50	65,6	59,0	669,04	65,6	8,46	50,46

L'ensemble des résultats de calcul pour les sections simplement et doublement armées sont exposés à l'annexe A.

CHAPITRE 5
DISCUSSION DES RÉSULTATS

5. DISCUSSION DES RÉSULTATS

5.1 Introduction

Les dimensions des sections ainsi que leurs taux d'armatures tendues et comprimées obtenues au Chapitre 4 représentent les sections usuelles (rectangulaires) simplement et doublement armées équivalentes à la gamme des différents profilés en charpente métallique type *IPE*.

L'exposition adéquate des différents résultats est la présentation graphique ou plus précisément, le développement de séries de courbes pour les gammes de sections en fonction des différents paramètres influents, qui fait l'objet de l'*annexe B*.

L'exploitation de ces graphes permet la détermination rapide de sections en béton armé (simplement ou doublement armées) les plus appropriées équivalentes aux différents IPE en utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2] et CP110 [3].

La figure (5.1) est une *abaque type* qui présente graphiquement les résultats de calcul pour les sections en béton armé simplement armées équivalentes aux différents profilés *IPE*.

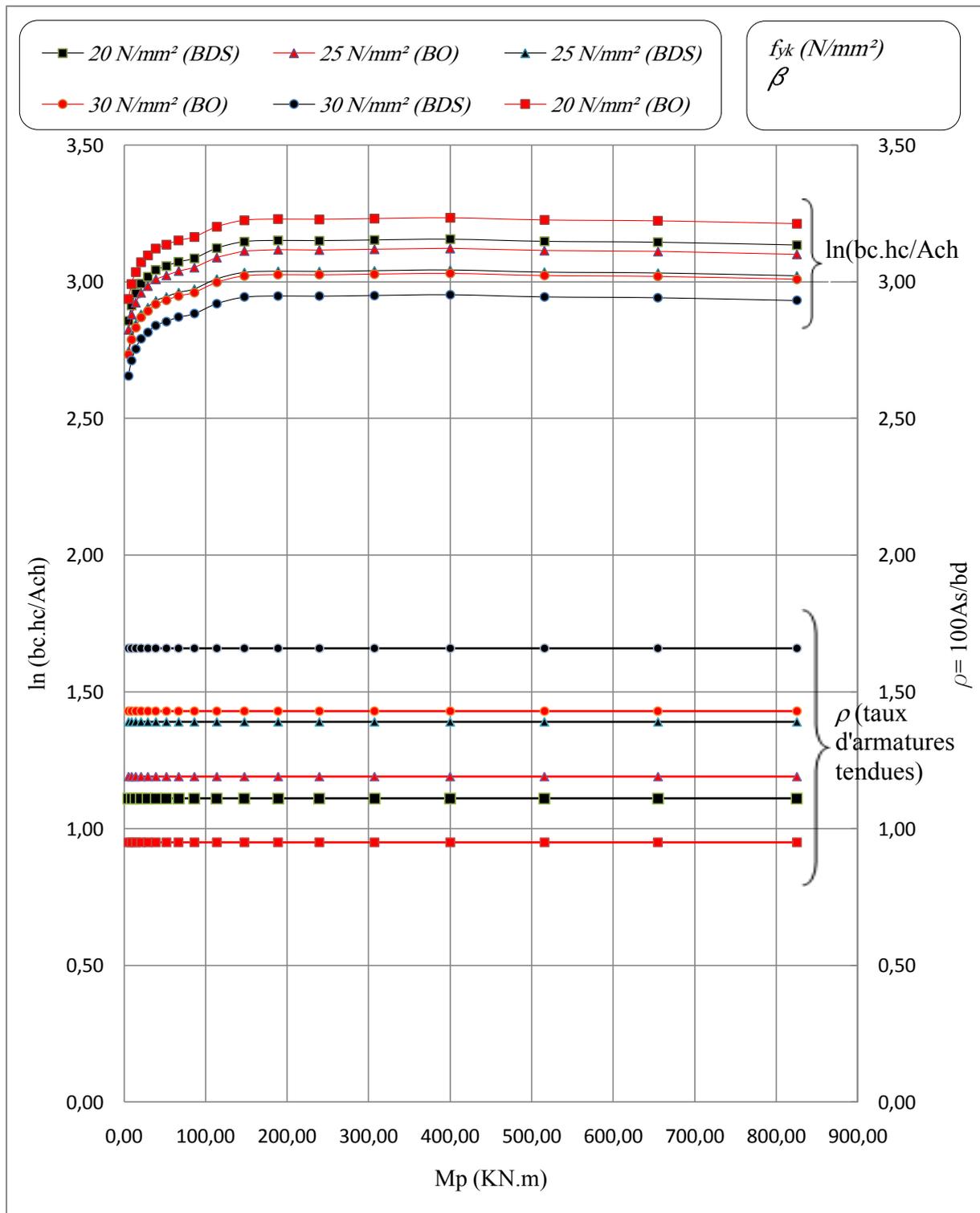


Figure (5.1). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme *IPE* pour une valeur de β .

Et la figure (5.2) est une *abaque type* qui présente graphiquement les résultats de calcul pour les sections en béton armé doublement armées équivalentes aux différents profilés *IPE*.

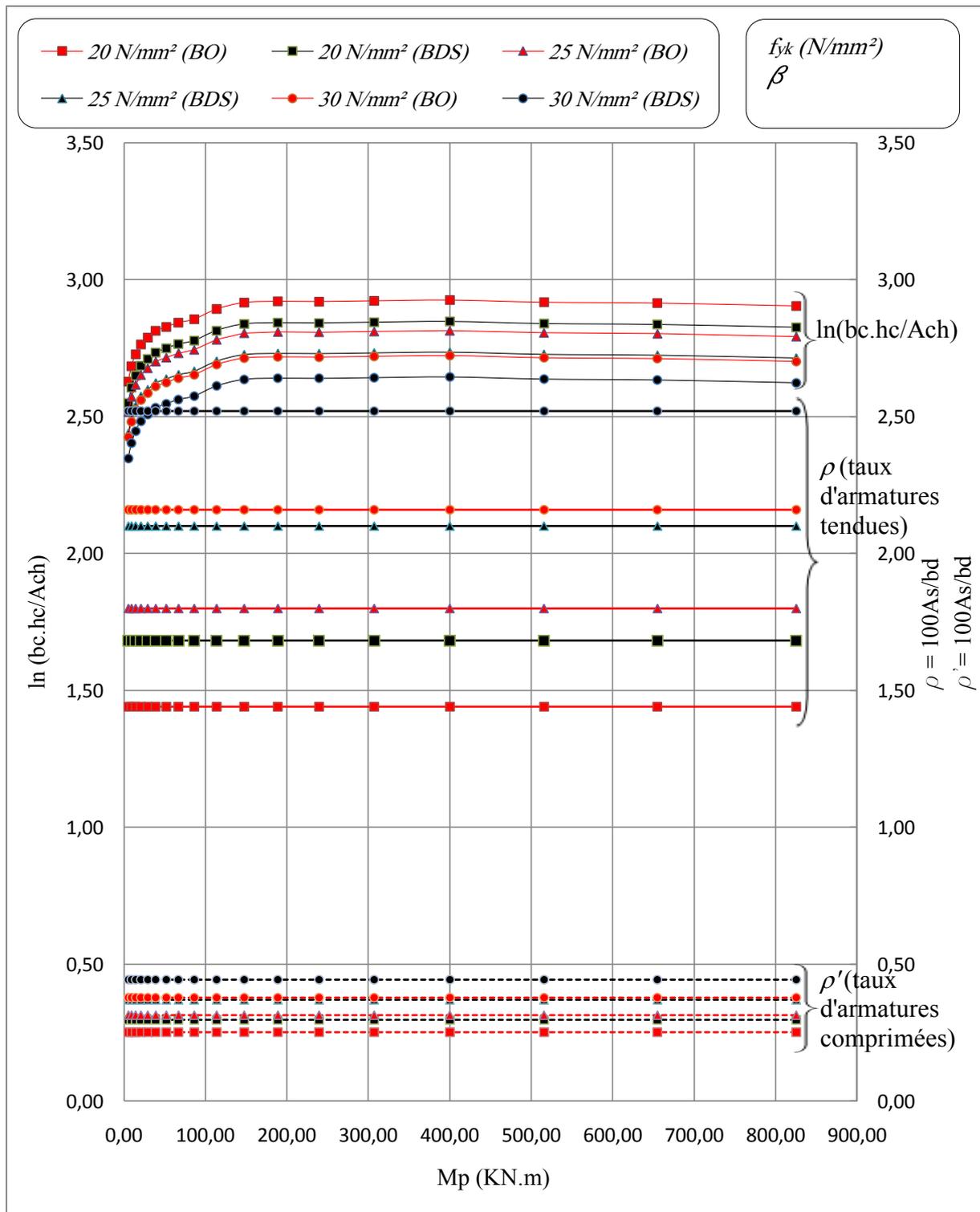


Figure (5.2). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme *IPE* pour une valeur de β .

Avec : $\beta \in [1,5,2,5]$; pour un pas de 0,25.

5.2 Effets des paramètres influents

5.2.1 Sur les abaques à trois entrées

(i) Effets de la résistance à la compression du béton f_{ck}

A partir du catalogue d'abaques (*Annexe D*), pour un code donné (*EC2* ou *CP110*), prenant le même matériau (*BO* ou *BDS*) pour la même valeur de f_{yk} , on trouve que:

- Pour une valeur du moment réduit (Mu/bd^2) donnée le taux d'armature totale ($\rho+\rho'$) d'une section en béton armé diminue avec l'augmentation de la résistance à la compression.
- Pour un taux d'armature totale d'une section en béton armé ($\rho+\rho'$), la capacité flexionnelle de cette section augmente avec l'augmentation de la résistance à la compression.

Exemple :

La figure 5.3 expose la superposition des abaques à trois entrées pour trois valeurs de la résistance à la compression ($f_{ck}=20, 25$ et $30MPa$), utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocode 2 pour le *BOA*, avec un contrainte d'écoulement d'acier $f_{yk}=400MPa$ et un taux d'armature comprimé ($\rho'=1\%$).

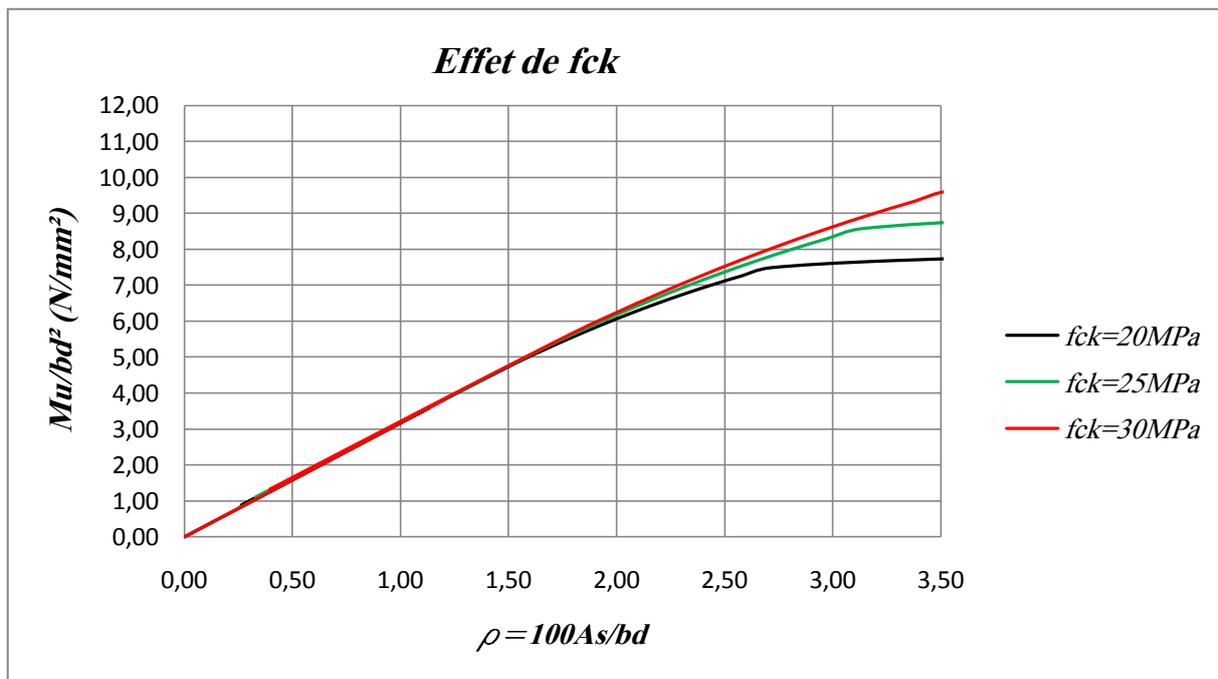


Figure (5.3). Effet de la variation de f_{ck} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.

Les diminutions du taux d'armature ainsi que les augmentations de la capacité flexionnelle sont présentées dans les tableaux (5.1) et (5.2) ci-après :

Tableau (5.1). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour les différents f_{ck}					
$f_{ck}(MPa)$	$f_{yk}(MPa)$	$Mu/bd^2(MPa)$	$\rho'(\%)$	$\rho(\%)$	$\rho+\rho'(\%)$
20	400	7,5	1	2,71	3,71
25	400	7,5	1	2,57	3,57
30	400	7,5	1	2,43	3,43
$f_{ck}(MPa)$	$f_{yk}(MPa)$	$\rho'(\%)$	$\rho(\%)$	$\rho+\rho'(\%)$	$Mu/bd^2(MPa)$
20	400	1	3	4	7,6
25	400	1	3	4	8,3
30	400	1	3	4	8,6

Tableau (5.2). Effet de la variation de f_{ck} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle		
$f_{ck}(MPa)$	20/25	25/30
Ordre de diminution du taux d'armature ($\rho+\rho'$)	0,14 %	0,14 %
Ordre d'augmentation de la capacité flexionnelle (Mu/bd^2)	8,43 %	3,48 %

(ii) Effets de la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier f_{yk}

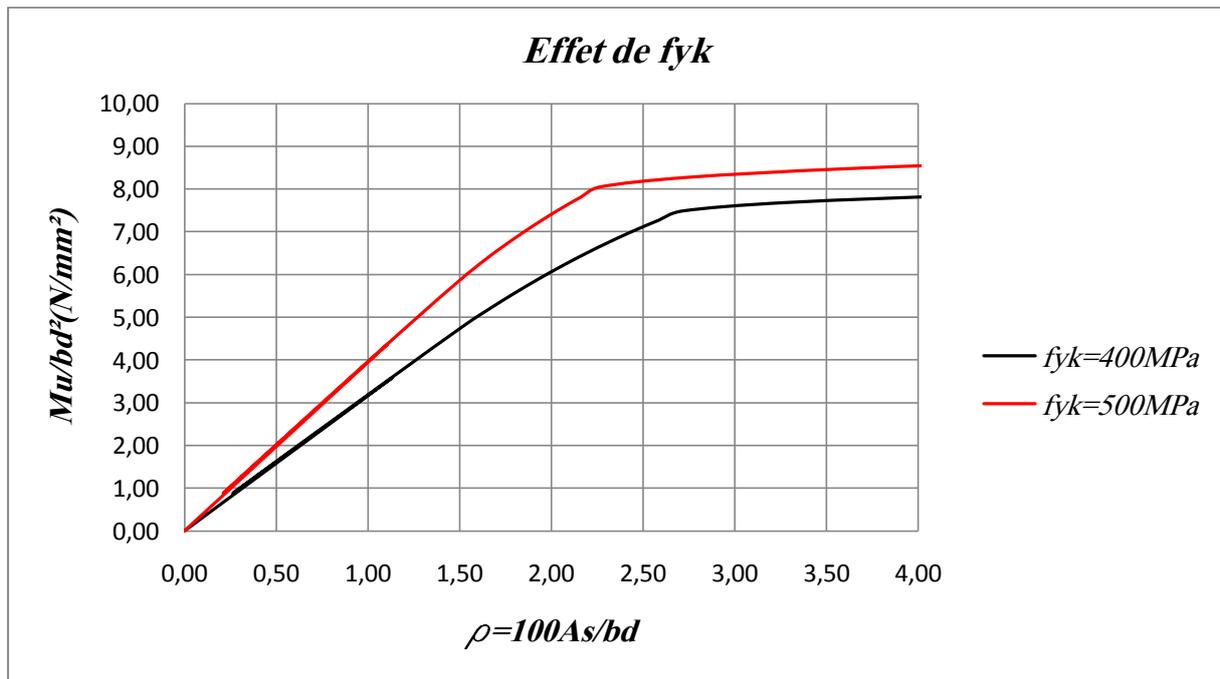


Figure (5.4). Effet de la variation de f_{yk} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.

A partir de la figure 5.4 en résumé l'effet de la variation de f_{yk} comme suite :

- Pour une valeur du moment réduit (Mu/bd^2) donnée le taux d'armature totale ($\rho+\rho'$) d'une section en béton armé diminue avec l'augmentation de f_{yk} .

- Pour un taux d'armature totale d'une section en béton armé ($\rho+\rho'$), la capacité flexionnelle de cette section augmente avec l'augmentation de f_{yk} .

Exemple :

La figure 5.4 ci-dessus expose la superposition des abaques à trois entrées pour deux valeurs de f_{yk} (400 et 500MPa), utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocode 2 pour le BOA, avec un $f_{ck}=20MPa$ et un taux d'armature comprimé ($\rho'=1\%$)

Les diminutions du taux d'armature ainsi que les augmentations de la capacité flexionnelle sont présentées dans les tableaux (5.3) et (5.4) ci-après :

Tableau (5.3). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour les différents f_{yk}					
$f_{yk}(MPa)$	$f_{ck}(MPa)$	$Mu/bd^2(MPa)$	$\rho'(\%)$	$\rho(\%)$	$\rho+\rho'(\%)$
400	20	7,5	1	2,71	3,71
500	20	7,5	1	2,05	3,05
$f_{yk}(MPa)$	$f_{ck}(MPa)$	$\rho'(\%)$	$\rho(\%)$	$\rho+\rho'(\%)$	$Mu/bd^2(MPa)$
400	20	1	3	4	7,60
500	20	1	3	4	8,35

Tableau (5.4). Effet de la variation de f_{yk} sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle	
$f_{yk}(MPa)$	400/500
Ordre de diminution du taux d'armature ($\rho+\rho'$)	0,66 %
Ordre d'augmentation de la capacité flexionnelle (Mu/bd^2)	8,98 %

(iii) Effets de changement du matériau utilisé

La superposition des abaques pour le BOA et le BDSA, en prenant les mêmes paramètres (f_{ck} , f_{yk} , le code utilisé, d'/d) montre que la courbe du BDSA couvre la courbe du BOA (figure 5.3), c.-à-d. le BDSA présente une capacité flexionnelle plus grande et un taux d'armature inférieur relativement au BOA.

Exemple :

La figure 5.5 ci-dessus expose la superposition des abaques à trois entrées pour le BOA et BDSA, utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocode 2, avec un $f_{ck}=20MPa$, un $f_{yk}=400MPa$ et un taux d'armature comprimé ($\rho'=1\%$)

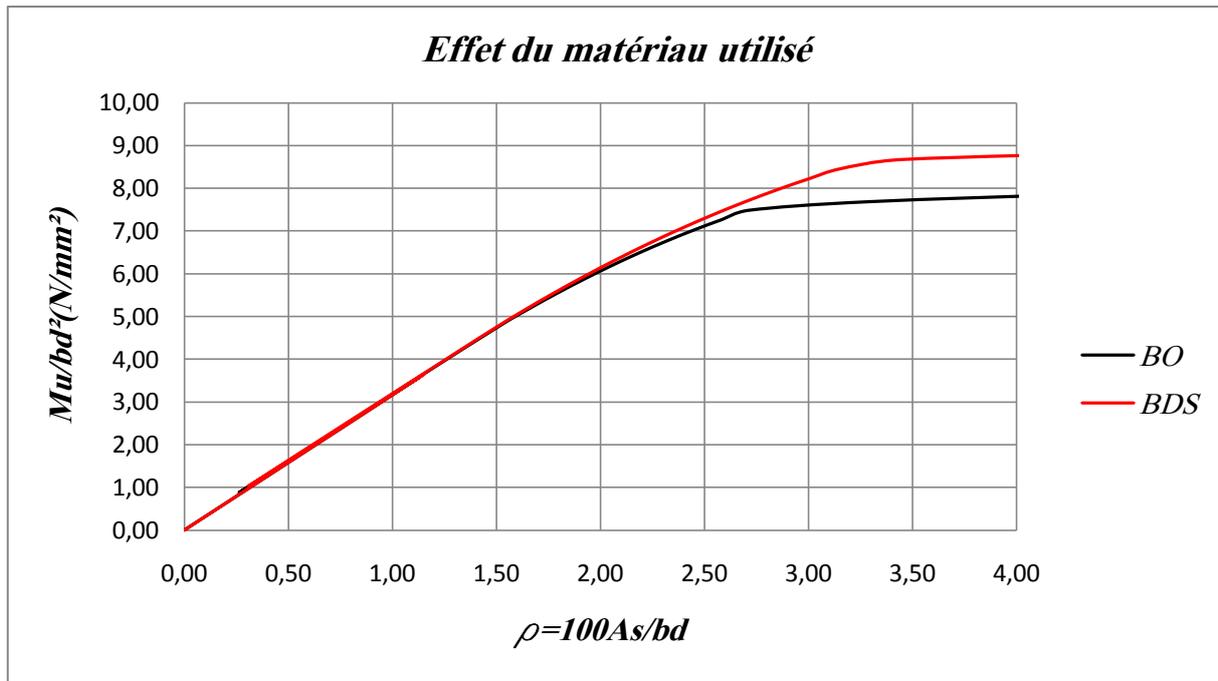


Figure (5.5). Effet de la variation du matériau utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.

Les diminutions du taux d'armature ainsi que les augmentations de la capacité flexionnelle sont présentées dans les tableaux (5.4) et (5.5) ci-après :

Tableau (5.5). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour le BOA et le BDSA

Le matériau	Mu/bd^2 (MPa)	ρ' (%)	ρ (%)	$\rho+\rho'$ (%)
BOA	7,5	1	2,75	3,75
BDSA	7,5	1	2,60	3,60
Le matériau	ρ' (%)	ρ (%)	$\rho+\rho'$ (%)	Mu/bd^2 (MPa)
BOA	1	3	4	7,60
BDSA	1	3	4	8,20

Tableau (5.6). Effet de la variation du matériau utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle

Le matériau utilisé	BOA/BDSA
Ordre de diminution du taux d'armature ($\rho+\rho'$)	0,15 %
Ordre d'augmentation de la capacité flexionnelle (Mu/bd^2)	7,32 %

(iv) Effets de changement du code utilisé

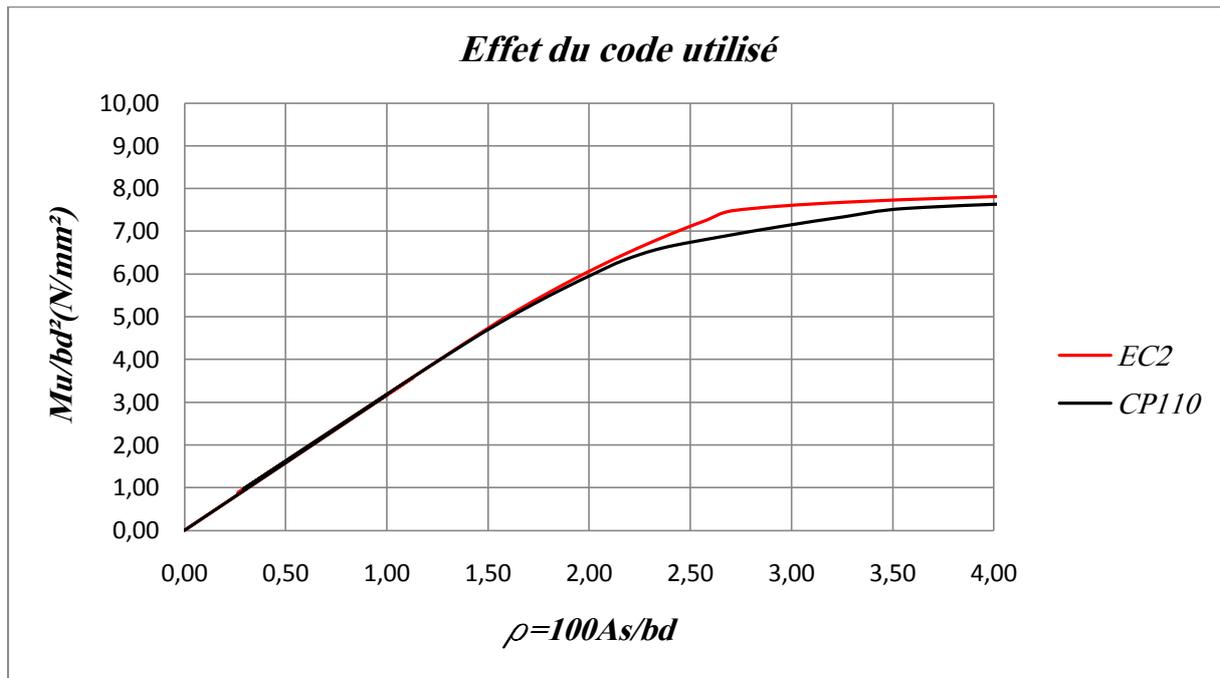


Figure (5.6). Effet de la variation du code utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle.

Le changement du code utilisé (*EC2/CP110*) engendre les effets suivants :

- Augmentation du taux d'armature pour une capacité flexionnelle donnée.
- Diminution de la capacité flexionnelle pour un taux d'armature donné.

Exemple :

Pour les mêmes caractéristiques (f_{ck} (f_{cu}), f_{yk} , BOA), en fait changer le code utilisé et présente les diminutions de la capacité flexionnelle ainsi que les augmentations du taux d'armature dans les tableaux (5.7) et (5.8) :

Tableau (5.7). Les valeurs du taux d'armatures et des capacités flexionnelles pour le *BOA* et le *BDSA*

Le code	Mu/bd^2 (MPa)	ρ' (%)	ρ (%)	$\rho + \rho'$ (%)
EC2	7,5	1	2,75	3,75
CP110	7,5	1	3,50	4,50
Le code	ρ' (%)	ρ (%)	$\rho + \rho'$ (%)	Mu/bd^2 (MPa)
EC2	1	3	4	7,60
CP110	1	3	4	7,15

Tableau (5.6). Effet de la variation du matériau utilisé sur le taux d'armatures et la capacité flexionnelle	
<i>Le code utilisé</i>	<i>EC2/CP110</i>
Ordre de diminution du taux d'armature ($\rho+\rho'$)	0,75 %
Ordre d'augmentation de la capacité flexionnelle (Mu/bd^2)	5,92 %

5.2.2 Sur la caractérisation des sections équivalentes

(i) Effets de la résistance à la compression du béton

On remarque que les courbes pour les trois valeurs de résistance à la compression du béton ont la même allure dans le même graphe, les figures B.1 à B.40 (*Annexe B*) mettent en évidence l'effet de la variation de la résistance caractéristique à la compression du béton sur la hauteur totale, hc , de la section rectangulaire équivalente en béton simplement ou doublement armée.

La hauteur, hc , diminue avec l'augmentation de f_{ck} pour les sections simplement armées pour un f_{yk} donné, par contre le taux d'armatures augmente ; ces diminutions ainsi que les augmentations relatives sont présentées dans le tableau (5.9) et (5.10)

Tableau (5.9). Effet de la variation de f_{ck} sur la hauteur hc et sur le taux d'armatures tendues ρ pour les sections simplement armées pour l'Eurocode 2					
		Béton ordinaire		Béton de sable	
		f_{ck} 20/25 MPa	f_{ck} 25/30 MPa	f_{ck} 20/25 MPa	f_{ck} 25/30 MPa
$f_{yk}=400$ MPa	Ordre de diminution de hc	10,56 %	8,71 %	10,53 %	8,70 %
	Ordre d'augmentation de ρ	19,59 %	16,85 %	19,65 %	16,83 %
$f_{yk}=500$ MPa	Ordre de diminution de hc	10,56 %	8,71 %	10,53 %	8,70 %
	Ordre d'augmentation de ρ	20,17 %	16,78 %	20,14 %	16,27 %

Tableau (5.10). Effet de la variation de f_{cu} sur la hauteur hc et sur le taux d'armatures tendues ρ pour les sections simplement armées pour le CP110					
		Béton ordinaire		Béton de sable	
		f_{cu} 25/32 MPa	f_{cu} 32/38 MPa	f_{cu} 25/32 MPa	f_{cu} 32/38 MPa
$f_{yk}=400$ MPa	Ordre de diminution de hc	11,24 %	7,78 %	11,24 %	7,78 %
	Ordre d'augmentation de ρ	20,90 %	14,73 %	20,90 %	14,73 %
$f_{yk}=500$ MPa	Ordre de diminution de hc	11,24 %	7,78 %	11,24 %	7,78 %
	Ordre d'augmentation de ρ	20,90 %	14,73 %	20,90 %	14,73 %

En ce qui concerne les sections doublement armées, la hauteur, hc , diminue avec l'augmentation de f_{ck} pour un f_{yk} donné, par contre les taux d'armatures tendues et comprimées augmentent, ces diminutions ainsi que les augmentations relatives sont présentées dans le tableau (5.11) et (5.12)

Tableau (5.11). Effet de la variation de f_{ck} sur la hauteur hc et sur le taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' pour les sections doublement armées pour l'Eurocode 2

		Béton ordinaire		Béton de sable	
		f_{ck} 20/25 MPa	f_{ck} 25/30 MPa	f_{ck} 20/25 MPa	f_{ck} 25/30 MPa
$f_{yk}=400$ MPa	Ordre de diminution de hc	10,56 %	8,71 %	10,53 %	8,70 %
	Ordre d'augmentation de ρ'	20,0 %	16,67 %	19,79 %	16,52 %
	Ordre d'augmentation de ρ	20,0 %	16,67 %	19,96 %	16,64 %
$f_{yk}=500$ MPa	Ordre de diminution de hc	10,56 %	8,71 %	10,53 %	8,70 %
	Ordre d'augmentation de ρ'	20,0 %	16,67 %	19,79 %	16,52 %
	Ordre d'augmentation de ρ	20,0 %	16,67 %	19,96 %	16,64 %

Tableau (5.12). Effet de la variation de f_{cu} sur la hauteur hc et sur le taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' pour les sections doublement armées pour CP110

		Béton ordinaire		Béton de sable	
		f_{cu} 25/32 MPa	f_{cu} 32/38 MPa	f_{cu} 25/32 MPa	f_{cu} 32/38 MPa
$f_{yk}=400$ MPa	Ordre de diminution de hc	11,24 %	7,78 %	11,24 %	7,78 %
	Ordre d'augmentation de ρ'	20,50 %	16,01 %	20,50 %	16,01 %
	Ordre d'augmentation de ρ	21,03 %	14,71 %	21,03 %	14,71 %
$f_{yk}=500$ MPa	Ordre de diminution de hc	11,24 %	7,78 %	11,24 %	7,78 %
	Ordre d'augmentation de ρ'	20,50 %	16,01 %	20,50 %	16,01 %
	Ordre d'augmentation de ρ	21,03 %	14,71 %	21,03 %	14,71 %

(ii) Effets du rapport β

La hauteur totale hc diminue avec l'augmentation de β pour un f_{ck} et f_{yk} donnés d'un profilé, cette diminution est constante pour la gamme des sections testées, cette diminutions sont représentés dans le tableau (5.13) et (5.14).

Tableau (5.13). Effet de l'augmentation de β sur la hauteur de la section hc pour l'Eurocode 2

Intervalle de diminution de hc en % pour l'augmentation de β (de 1.50 à 2.50)

		Béton ordinaire			Béton de sable		
		20	25	30	20	25	30
$f_{yk}=400$ MPa	Sections simplement armées	7,42 à 5,13 %					
	Sections doublement armées	7,42 à 5,13 %					
	Sections doublement armées	7,42 à 5,13 %					
$f_{yk}=500$ MPa	Sections simplement armées	7,42 à 5,13 %					
	Sections doublement armées	7,42 à 5,13 %					
	Sections doublement armées	7,42 à 5,13 %					

Tableau (5.14). Effet de l'augmentation de β sur la hauteur de la section hc pour le CP110

Intervalle de diminution de hc en % pour l'augmentation de β (de 1.50 à 2.50)

$f_{cu}(MPa)$		Béton ordinaire			Béton de sable		
		25	32	38	25	32	38
$f_{yk}=400$ MPa	Sections simplement armées	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %
	Sections doublement armées	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %
$f_{yk}=500$ MPa	Sections simplement armées	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %
	Sections doublement armées	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %	7,42 à 5,13 %

(iii) Effets de la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier f_{yk}

L'effet de la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier, f_{yk} , sur la hauteur totale, hc , de la section rectangulaire simplement ou doublement armée équivalente est nulle, et cela pour un f_{ck} donné et pour une même valeur du rapport β .

Par contre les taux d'armatures tendues, ρ , et comprimées, ρ' , pour les deux types de sections équivalentes (simplement et doublement armées) diminuent avec l'augmentation de la contrainte d'écoulement de l'acier f_{yk} pour un f_{ck} donné, ces diminutions sont représentés dans les tableaux (5.15) et (5.16) suivants :

Tableau (5.15). Effet de la variation de f_{yk} sur les taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' des sections équivalentes pour l'Eurocode 2

$f_{ck}(MPa)$		Béton ordinaire			Béton de sable		
		20	25	30	20	25	30
Sections simplement armées	Ordre de diminution de ρ	20,17 %	19,59 %	19,66 %	20,14 %	19,65 %	20,19 %
	Ordre de diminution de ρ'	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Sections doublement armées	Ordre de diminution de ρ	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
	Ordre de diminution de ρ'	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %

Tableau (5.16). Effet de la variation de f_{yk} sur les taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' des sections équivalentes pour le CP110

$f_{cu}(MPa)$		Béton ordinaire			Béton de sable		
		25	32	38	25	32	38
Sections simplement armées	Ordre de diminution de ρ	17,11 %	17,11 %	17,11 %	20 %	20 %	20 %
	Ordre de diminution de ρ'	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Sections doublement armées	Ordre de diminution de ρ	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
	Ordre de diminution de ρ'	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %

(iv) Effets de changement du matériau utilisé

La hauteur hc diminue lorsque en change le matériau utilisé (BO/BDS), Par contre les taux d'armatures tendues, ρ , et comprimées, ρ' , pour les deux types de sections équivalentes (simplement et doublement armées) augmentent pour l'Eurocode 2, ces diminutions ainsi que les augmentations relatives sont présentées dans le tableau (5.17) :

Tableau (5.17). Effet de changement du matériau sur la hauteur hc et sur les taux d'armatures tendues ρ et comprimées ρ' des sections équivalentes pour l'Eurocode 2							
$f_{yk}(MPa)$		400			500		
$f_{ck}(MPa)$		20	25	30	20	25	30
Sections simplement armées	Ordre de diminution de hc	7,54 %	7,51 %	7,50 %	7,54 %	7,51 %	7,50 %
	Ordre d'augmentation de ρ	14,39 %	14,45 %	14,42 %	14,41 %	14,39 %	13,86 %
Sections doublement armées	Ordre de diminution de hc	7,54 %	7,51 %	7,50 %	7,54 %	7,51 %	7,50 %
	Ordre d'augmentation de ρ'	15,42 %	15,20 %	15,05 %	15,42 %	15,20 %	15,05 %
	Ordre d'augmentation de ρ	14,39 %	14,35 %	14,32 %	14,39 %	14,35 %	14,32 %

Pour le CP110, lorsque en change le matériau utilisé (BO/BDS), la hauteur hc ne change pas, et le taux d'armatures tendues, ρ , pour les sections simplement armées diminue, ces diminutions relatives du taux d'armature tendues pour les sections simplement armées sont présentées dans le tableau (5.18).

Mais pour les sections doublement armées la variation de hc , ρ et ρ' est nulle,

Tableau (5.18). Effet de changement du matériau sur la hauteur le taux d'armatures tendues ρ des sections équivalentes simplement armées pour le CP110							
$f_{yk}(MPa)$		400			500		
$f_{cu}(MPa)$		25	32	38	25	32	38
Sections simplement armées	Ordre de diminution de ρ	2,03 %	2,03 %	2,03 %	5,72 %	5,72 %	5,72 %

CHAPITRE 6
CONCLUSION GÉNÉRALE

6. CONCLUSION GENERALE

6.1 Importance et rôle du développement du catalogue d'abaques

La présente étude a mis en relief l'importance du dit catalogue. Le développement d'abaques à trois entrées liant graphiquement la relation du moment réduit Mu/bd^2 et les taux géométriques des armatures tendues, ρ , et comprimées ρ' , utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2] et le CP110 [3] était nécessaire et indispensable pour les raisons suivantes :

- Facilitation de l'opération de caractérisation (sans ce catalogue, l'opération aurait été impossible à mener de manière analytique).
- Facilitation de l'opération de comparaison entre les codes CP110 et Eurocode 2, ainsi que les matériaux *BOA* et *BDSA*.
- Facilitation de la comparaison du point de vue économique.
- Permission au concepteur d'aller vers les solutions optimales.

Par ailleurs ce catalogue peut être utilisé dans les calculs des poutres fléchies en béton armé qui ont des sections rectangulaires à l'état limite ultime (dimensionnement et ferrailage), il peut être aussi utilisé par une vérification rapide sur la classification d'une section donnée en béton armé quelconque (sous armée ou sur armée).

En outre, le catalogue permet la détermination rapide de la capacité flexionnelle, moment ultime ou moment plastique d'une section rectangulaire donnée immédiatement si l'ensemble des paramètres est connu à savoir f_{ck} , f_{yk} ou f_{cu} et d'/d .

Dans le présent travail en fait la variation de f_{ck} , f_{yk} , le matériau utilisé et le code appliqué, la variation de ces paramètres engendrer les effets suivants :

- L'augmentation de la résistance à la compression et la contrainte d'écoulement d'acier donne plus de capacité flexionnelle et un taux d'armatures inférieur.
- Le changement du matériau utilisé (*BOA/BDSA*) donne des sections plus économiques (ferrailage minimal) avec une capacité flexionnelle supérieure.
- Le changement du code appliqué (*EC2/CP110*) donne un taux d'armature supérieure et une capacité flexionnelle inférieur (L'Eurocode 2 est économique que le CP110).

6.2 Caractérisation

L'étude a révélé de cette caractérisation les points suivants :

- Hormis quelques sections obsolètes ($bc \cong hc$ pour, β , prenant des valeurs de 2,25 et 2,50), l'ensemble des sections en béton simplement ou doublement armées équivalentes aux différents profilés *IPE* est irrégulier avec les dimensions utilisées en pratique.
- En outre, la caractérisation a permis l'obtention d'une multitude de sections en béton armé équivalentes à un profilé donné. Du fait du nombre important de paramètres sur les plans (géométrique d'/d , $\beta=bc/bs$ et mécanique f_{ck} , f_{ck} ou f_{cu} , f_{yk}).
- Le choix de la meilleure section équivalente est difficile à arrêter à ce stade car il dépend de deux facteurs essentiels à savoir la performance plastique (meilleure plastification possible du point de vue expérimental avec le plus petit facteur de forme possible) et le coût (étude comparative de prix pour chaque mètre linéaire de poutre en béton armé avec les différentes sections obtenues par la caractérisation comparées à un mètre linéaire de l'*IPE* en question).

ANNEXE A
RESULTATS DE CALCUL

A. RESULTATS DE CALCUL

A.1 Introduction

L'exécution du programme de calcul à été effectuée en tenant compte, à chaque fois, de tous les paramètres influents à savoir la variation de la résistance caractéristique du béton, f_{ck} , et la variation de la contrainte d'écoulement de l'acier d'armatures, f_{yk} , et ce pour les cinq valeurs du rapport géométrique β . Les tableaux (A.1) à (A.160) présentent les résultats obtenus par ce calcul pour les sections simplement et doublement armées.

A.2 Sections simplement armées

A.2.1 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocod2

(i) Pour béton ordinaire

a. Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.1). Détermination de sections rectangulaires en BO simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$, $\beta=1,50$ et $x/d = 0,45$.											
$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	15,3	17,0	1,26	13,7	15,2	1,40	12,5	13,9	1,54
IPE100	9,26	8,25	18,3	20,3	1,79	16,3	18,2	2,00	14,9	16,6	2,19
IPE120	14,26	9,60	21,0	23,4	2,40	18,8	20,9	2,67	17,2	19,1	2,93
IPE140	20,75	10,95	23,7	26,4	3,09	21,2	23,6	3,44	19,4	21,5	3,78
IPE160	29,14	12,30	26,6	29,5	3,89	23,8	26,4	4,32	21,7	24,1	4,75
IPE180	39,01	13,65	29,2	32,4	4,74	26,1	29,0	5,27	23,8	26,5	5,79
IPE200	51,94	15,00	32,1	35,7	5,73	28,7	31,9	6,37	26,2	29,1	7,00
IPE220	66,98	16,50	34,8	38,6	6,82	31,1	34,5	7,59	28,4	31,5	8,34
IPE240	86,25	18,00	37,8	42,0	8,09	33,8	37,5	9,00	30,8	34,3	9,88
IPE270	113,74	20,25	40,9	45,4	9,85	36,6	40,6	10,96	33,4	37,1	12,03
IPE300	147,58	22,50	44,2	49,1	11,83	39,5	43,9	13,16	36,1	40,1	14,45
IPE330	188,94	24,00	48,4	53,8	13,82	43,3	48,1	15,38	39,5	43,9	16,88
IPE360	239,47	25,50	52,9	58,7	16,04	47,3	52,5	17,85	43,2	48,0	19,59
IPE400	307,15	27,00	58,2	64,7	18,70	52,0	57,8	20,80	47,5	52,8	22,83
IPE450	399,97	28,50	64,6	71,8	21,92	57,8	64,2	24,38	52,8	58,6	26,77
IPE500	515,59	30,00	71,5	79,5	25,53	64,0	71,1	28,40	58,4	64,9	31,18
IPE550	654,95	31,50	78,7	87,4	29,49	70,4	78,2	32,80	64,2	71,4	36,01
IPE600	825,32	33,00	86,3	95,9	33,88	77,2	85,7	37,69	70,4	78,3	41,38

Tableau (A.2). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	14,2	15,8	1,36	12,7	14,1	1,51	11,6	12,9	1,66
IPE100	9,3	9,63	16,9	18,8	1,94	15,1	16,8	2,16	13,8	15,4	2,37
IPE120	14,3	11,20	19,5	21,6	2,59	17,4	19,3	2,89	15,9	17,7	3,17
IPE140	20,8	12,78	22,0	24,4	3,34	19,7	21,9	3,72	18,0	19,9	4,08
IPE160	29,1	14,35	24,6	27,3	4,20	22,0	24,4	4,67	20,1	22,3	5,13
IPE180	39,0	15,93	27,0	30,0	5,12	24,2	26,8	5,69	22,0	24,5	6,25
IPE200	51,9	17,50	29,7	33,0	6,19	26,6	29,5	6,89	24,3	27,0	7,56
IPE220	67,0	19,25	32,2	35,8	7,37	28,8	32,0	8,20	26,3	29,2	9,00
IPE240	86,3	21,00	35,0	38,8	8,74	31,3	34,7	9,72	28,5	31,7	10,67
IPE270	113,7	23,63	37,9	42,1	10,64	33,9	37,6	11,84	30,9	34,3	13,00
IPE300	147,6	26,25	40,9	45,5	12,78	36,6	40,7	14,21	33,4	37,1	15,61
IPE330	188,9	28,00	44,8	49,8	14,93	40,1	44,5	16,61	36,6	40,7	18,24
IPE360	239,5	29,75	48,9	54,4	17,33	43,8	48,6	19,28	40,0	44,4	21,16
IPE400	307,2	31,50	53,9	59,9	20,19	48,2	53,5	22,46	44,0	48,9	24,66
IPE450	400,0	33,25	59,8	66,5	23,67	53,5	59,5	26,34	48,9	54,3	28,91
IPE500	515,6	35,00	66,2	73,6	27,58	59,2	65,8	30,68	54,1	60,1	33,68
IPE550	655,0	36,75	72,8	80,9	31,85	65,1	72,4	35,43	59,5	66,1	38,90
IPE600	825,3	38,50	79,9	88,8	36,59	71,4	79,4	40,71	65,2	72,5	44,69

Tableau (A.3). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	13,3	14,8	1,45	11,9	13,2	1,62	10,8	12,0	1,78
IPE100	9,3	11,00	15,8	17,6	2,07	14,2	15,7	2,30	12,9	14,4	2,53
IPE120	14,3	12,80	18,2	20,2	2,77	16,3	18,1	3,09	14,9	16,5	3,39
IPE140	20,8	14,60	20,6	22,9	3,57	18,4	20,4	3,97	16,8	18,7	4,36
IPE160	29,1	16,40	23,0	25,6	4,49	20,6	22,9	4,99	18,8	20,9	5,48
IPE180	39,0	18,20	25,3	28,1	5,47	22,6	25,1	6,09	20,6	22,9	6,68
IPE200	51,9	20,00	27,8	30,9	6,62	24,9	27,6	7,36	22,7	25,2	8,08
IPE220	67,0	22,00	30,1	33,4	7,88	26,9	29,9	8,77	24,6	27,3	9,62
IPE240	86,3	24,00	32,7	36,3	9,34	29,3	32,5	10,39	26,7	29,7	11,41
IPE270	113,7	27,00	35,4	39,3	11,38	31,7	35,2	12,66	28,9	32,1	13,89
IPE300	147,6	30,00	38,3	42,5	13,66	34,2	38,0	15,20	31,2	34,7	16,68
IPE330	188,9	32,00	41,9	46,6	15,96	37,5	41,7	17,76	34,2	38,0	19,50
IPE360	239,5	34,00	45,8	50,9	18,52	41,0	45,5	20,61	37,4	41,5	22,62
IPE400	307,2	36,00	50,4	56,0	21,59	45,1	50,1	24,01	41,1	45,7	26,37
IPE450	400,0	38,00	56,0	62,2	25,31	50,1	55,6	28,15	45,7	50,8	30,91
IPE500	515,6	40,00	61,9	68,8	29,48	55,4	61,6	32,80	50,6	56,2	36,01
IPE550	655,0	42,00	68,1	75,7	34,05	60,9	67,7	37,88	55,6	61,8	41,58
IPE600	825,3	44,00	74,7	83,0	39,12	66,8	74,3	43,52	61,0	67,8	47,78

Tableau (A.4). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	12,5	13,9	1,54	11,2	12,4	1,72	10,2	11,4	1,88
IPE100	9,3	12,38	14,9	16,6	2,20	13,3	14,8	2,44	12,2	13,5	2,68
IPE120	14,3	14,40	17,2	19,1	2,94	15,4	17,1	3,27	14,0	15,6	3,59
IPE140	20,8	16,43	19,4	21,5	3,79	17,3	19,3	4,22	15,8	17,6	4,63
IPE160	29,1	18,45	21,7	24,1	4,76	19,4	21,5	5,30	17,7	19,7	5,81
IPE180	39,0	20,48	23,8	26,5	5,80	21,3	23,7	6,45	19,4	21,6	7,09
IPE200	51,9	22,50	26,2	29,1	7,02	23,4	26,0	7,81	21,4	23,8	8,57
IPE220	67,0	24,75	28,4	31,5	8,36	25,4	28,2	9,30	23,2	25,7	10,21
IPE240	86,3	27,00	30,8	34,3	9,91	27,6	30,6	11,02	25,2	28,0	12,10
IPE270	113,7	30,38	33,4	37,1	12,07	29,9	33,2	13,42	27,3	30,3	14,74
IPE300	147,6	33,75	36,1	40,1	14,49	32,3	35,9	16,12	29,5	32,7	17,70
IPE330	188,9	36,00	39,5	43,9	16,93	35,3	39,3	18,83	32,3	35,9	20,68
IPE360	239,5	38,25	43,2	48,0	19,65	38,6	42,9	21,86	35,2	39,2	24,00
IPE400	307,2	40,50	47,5	52,8	22,90	42,5	47,2	25,47	38,8	43,1	27,96
IPE450	400,0	42,75	52,8	58,6	26,84	47,2	52,4	29,86	43,1	47,9	32,79
IPE500	515,6	45,00	58,4	64,9	31,27	52,2	58,0	34,79	47,7	53,0	38,19
IPE550	655,0	47,25	64,2	71,4	36,11	57,4	63,8	40,17	52,4	58,3	44,11
IPE600	825,3	49,50	70,4	78,3	41,49	63,0	70,0	46,16	57,5	63,9	50,68

Tableau (A.5). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	11,50	11,9	13,2	1,63	10,6	11,8	1,81	9,7	10,8	1,98
IPE100	9,3	13,75	14,2	15,7	2,32	12,7	14,1	2,58	11,6	12,8	2,83
IPE120	14,3	16,00	16,3	18,1	3,10	14,6	16,2	3,45	13,3	14,8	3,79
IPE140	20,8	18,25	18,4	20,4	4,00	16,5	18,3	4,44	15,0	16,7	4,88
IPE160	29,1	20,50	20,6	22,9	5,02	18,4	20,4	5,58	16,8	18,7	6,13
IPE180	39,0	22,75	22,6	25,1	6,12	20,2	22,5	6,80	18,4	20,5	7,47
IPE200	51,9	25,00	24,9	27,6	7,40	22,2	24,7	8,23	20,3	22,6	9,03
IPE220	67,0	27,50	26,9	29,9	8,81	24,1	26,8	9,80	22,0	24,4	10,76
IPE240	86,3	30,00	29,3	32,5	10,44	26,2	29,1	11,62	23,9	26,5	12,75
IPE270	113,7	33,75	31,7	35,2	12,72	28,3	31,5	14,15	25,9	28,7	15,53
IPE300	147,6	37,50	34,2	38,0	15,27	30,6	34,0	16,99	27,9	31,0	18,65
IPE330	188,9	40,00	37,5	41,7	17,85	33,5	37,3	19,85	30,6	34,0	21,80
IPE360	239,5	42,50	41,0	45,5	20,71	36,6	40,7	23,04	33,4	37,2	25,29
IPE400	307,2	45,00	45,1	50,1	24,14	40,3	44,8	26,85	36,8	40,9	29,48
IPE450	400,0	47,50	50,1	55,6	28,30	44,8	49,8	31,48	40,9	45,4	34,56
IPE500	515,6	50,00	55,4	61,6	32,96	49,5	55,1	36,67	45,2	50,3	40,26
IPE550	655,0	52,50	60,9	67,7	38,07	54,5	60,6	42,35	49,8	55,3	46,49
IPE600	825,3	55,00	66,8	74,3	43,74	59,8	66,4	48,66	54,6	60,6	53,42

b. Pour $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.6). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	15,3	17,0	1,01	13,7	15,2	1,13	12,5	13,9	1,24
IPE100	9,26	8,25	18,3	20,3	1,43	16,3	18,2	1,60	14,9	16,6	1,76
IPE120	14,26	9,60	21,0	23,4	1,92	18,8	20,9	2,15	17,2	19,1	2,36
IPE140	20,75	10,95	23,7	26,4	2,47	21,2	23,6	2,77	19,4	21,5	3,04
IPE160	29,14	12,30	26,6	29,5	3,10	23,8	26,4	3,48	21,7	24,1	3,81
IPE180	39,01	13,65	29,2	32,4	3,78	26,1	29,0	4,24	23,8	26,5	4,65
IPE200	51,94	15,00	32,1	35,7	4,57	28,7	31,9	5,13	26,2	29,1	5,62
IPE220	66,98	16,50	34,8	38,6	5,45	31,1	34,5	6,10	28,4	31,5	6,70
IPE240	86,25	18,00	37,8	42,0	6,46	33,8	37,5	7,23	30,8	34,3	7,94
IPE270	113,74	20,25	40,9	45,4	7,87	36,6	40,6	8,81	33,4	37,1	9,67
IPE300	147,58	22,50	44,2	49,1	9,44	39,5	43,9	10,58	36,1	40,1	11,61
IPE330	188,94	24,00	48,4	53,8	11,04	43,3	48,1	12,36	39,5	43,9	13,56
IPE360	239,47	25,50	52,9	58,7	12,81	47,3	52,5	14,35	43,2	48,0	15,74
IPE400	307,15	27,00	58,2	64,7	14,92	52,0	57,8	16,72	47,5	52,8	18,34
IPE450	399,97	28,50	64,6	71,8	17,50	57,8	64,2	19,60	52,8	58,6	21,51
IPE500	515,59	30,00	71,5	79,5	20,38	64,0	71,1	22,84	58,4	64,9	25,05
IPE550	654,95	31,50	78,7	87,4	23,54	70,4	78,2	26,37	64,2	71,4	28,93
IPE600	825,32	33,00	86,3	95,9	27,05	77,2	85,7	30,30	70,4	78,3	33,24

Tableau (A.7). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	14,2	15,8	1,09	12,7	14,1	1,22	11,6	12,9	1,33
IPE100	9,3	9,63	16,9	18,8	1,55	15,1	16,8	1,73	13,8	15,4	1,90
IPE120	14,3	11,20	19,5	21,6	2,07	17,4	19,3	2,32	15,9	17,7	2,55
IPE140	20,8	12,78	22,0	24,4	2,67	19,7	21,9	2,99	18,0	19,9	3,28
IPE160	29,1	14,35	24,6	27,3	3,35	22,0	24,4	3,75	20,1	22,3	4,12
IPE180	39,0	15,93	27,0	30,0	4,08	24,2	26,8	4,58	22,0	24,5	5,02
IPE200	51,9	17,50	29,7	33,0	4,94	26,6	29,5	5,54	24,3	27,0	6,07
IPE220	67,0	19,25	32,2	35,8	5,88	28,8	32,0	6,59	26,3	29,2	7,23
IPE240	86,3	21,00	35,0	38,8	6,97	31,3	34,7	7,81	28,5	31,7	8,57
IPE270	113,7	23,63	37,9	42,1	8,50	33,9	37,6	9,52	30,9	34,3	10,44
IPE300	147,6	26,25	40,9	45,5	10,20	36,6	40,7	11,43	33,4	37,1	12,54
IPE330	188,9	28,00	44,8	49,8	11,92	40,1	44,5	13,36	36,6	40,7	14,65
IPE360	239,5	29,75	48,9	54,4	13,83	43,8	48,6	15,50	40,0	44,4	17,00
IPE400	307,2	31,50	53,9	59,9	16,12	48,2	53,5	18,06	44,0	48,9	19,81
IPE450	400,0	33,25	59,8	66,5	18,90	53,5	59,5	21,18	48,9	54,3	23,23
IPE500	515,6	35,00	66,2	73,6	22,02	59,2	65,8	24,67	54,1	60,1	27,06
IPE550	655,0	36,75	72,8	80,9	25,43	65,1	72,4	28,49	59,5	66,1	31,25
IPE600	825,3	38,50	79,9	88,8	29,21	71,4	79,4	32,73	65,2	72,5	35,91

Tableau (A.8). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	13,3	14,8	1,16	11,9	13,2	1,30	10,8	12,0	1,43
IPE100	9,3	11,00	15,8	17,6	1,65	14,2	15,7	1,85	12,9	14,4	2,03
IPE120	14,3	12,80	18,2	20,2	2,21	16,3	18,1	2,48	14,9	16,5	2,72
IPE140	20,8	14,60	20,6	22,9	2,85	18,4	20,4	3,20	16,8	18,7	3,51
IPE160	29,1	16,40	23,0	25,6	3,58	20,6	22,9	4,01	18,8	20,9	4,40
IPE180	39,0	18,20	25,3	28,1	4,37	22,6	25,1	4,89	20,6	22,9	5,37
IPE200	51,9	20,00	27,8	30,9	5,28	24,9	27,6	5,92	22,7	25,2	6,49
IPE220	67,0	22,00	30,1	33,4	6,29	26,9	29,9	7,05	24,6	27,3	7,73
IPE240	86,3	24,00	32,7	36,3	7,46	29,3	32,5	8,35	26,7	29,7	9,16
IPE270	113,7	27,00	35,4	39,3	9,08	31,7	35,2	10,18	28,9	32,1	11,16
IPE300	147,6	30,00	38,3	42,5	10,91	34,2	38,0	12,22	31,2	34,7	13,40
IPE330	188,9	32,00	41,9	46,6	12,74	37,5	41,7	14,28	34,2	38,0	15,66
IPE360	239,5	34,00	45,8	50,9	14,79	41,0	45,5	16,57	37,4	41,5	18,18
IPE400	307,2	36,00	50,4	56,0	17,23	45,1	50,1	19,31	41,1	45,7	21,18
IPE450	400,0	38,00	56,0	62,2	20,21	50,1	55,6	22,64	45,7	50,8	24,83
IPE500	515,6	40,00	61,9	68,8	23,54	55,4	61,6	26,37	50,6	56,2	28,93
IPE550	655,0	42,00	68,1	75,7	27,18	60,9	67,7	30,45	55,6	61,8	33,41
IPE600	825,3	44,00	74,7	83,0	31,23	66,8	74,3	34,99	61,0	67,8	38,38

Tableau (A.9). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	12,5	13,9	1,23	11,2	12,4	1,38	10,2	11,4	1,51
IPE100	9,3	12,38	14,9	16,6	1,75	13,3	14,8	1,97	12,2	13,5	2,16
IPE120	14,3	14,40	17,2	19,1	2,35	15,4	17,1	2,63	14,0	15,6	2,89
IPE140	20,8	16,43	19,4	21,5	3,03	17,3	19,3	3,39	15,8	17,6	3,72
IPE160	29,1	18,45	21,7	24,1	3,80	19,4	21,5	4,26	17,7	19,7	4,67
IPE180	39,0	20,48	23,8	26,5	4,63	21,3	23,7	5,19	19,4	21,6	5,69
IPE200	51,9	22,50	26,2	29,1	5,60	23,4	26,0	6,28	21,4	23,8	6,89
IPE220	67,0	24,75	28,4	31,5	6,67	25,4	28,2	7,48	23,2	25,7	8,20
IPE240	86,3	27,00	30,8	34,3	7,91	27,6	30,6	8,86	25,2	28,0	9,72
IPE270	113,7	30,38	33,4	37,1	9,63	29,9	33,2	10,79	27,3	30,3	11,84
IPE300	147,6	33,75	36,1	40,1	11,57	32,3	35,9	12,96	29,5	32,7	14,22
IPE330	188,9	36,00	39,5	43,9	13,52	35,3	39,3	15,14	32,3	35,9	16,61
IPE360	239,5	38,25	43,2	48,0	15,69	38,6	42,9	17,57	35,2	39,2	19,28
IPE400	307,2	40,50	47,5	52,8	18,28	42,5	47,2	20,48	38,8	43,1	22,47
IPE450	400,0	42,75	52,8	58,6	21,43	47,2	52,4	24,01	43,1	47,9	26,34
IPE500	515,6	45,00	58,4	64,9	24,96	52,2	58,0	27,97	47,7	53,0	30,68
IPE550	655,0	47,25	64,2	71,4	28,83	57,4	63,8	32,30	52,4	58,3	35,43
IPE600	825,3	49,50	70,4	78,3	33,13	63,0	70,0	37,11	57,5	63,9	40,71

Tableau (A.10). Détermination de sections rectangulaires en <i>BO</i> simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.											
$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	11,50	11,9	13,2	1,30	10,6	11,8	1,45	9,7	10,8	1,59
IPE100	9,3	13,75	14,2	15,7	1,85	12,7	14,1	2,07	11,6	12,8	2,27
IPE120	14,3	16,00	16,3	18,1	2,48	14,6	16,2	2,77	13,3	14,8	3,04
IPE140	20,8	18,25	18,4	20,4	3,19	16,5	18,3	3,57	15,0	16,7	3,92
IPE160	29,1	20,50	20,6	22,9	4,01	18,4	20,4	4,49	16,8	18,7	4,92
IPE180	39,0	22,75	22,6	25,1	4,88	20,2	22,5	5,47	18,4	20,5	6,00
IPE200	51,9	25,00	24,9	27,6	5,91	22,2	24,7	6,62	20,3	22,6	7,26
IPE220	67,0	27,50	26,9	29,9	7,03	24,1	26,8	7,88	22,0	24,4	8,64
IPE240	86,3	30,00	29,3	32,5	8,34	26,2	29,1	9,34	23,9	26,5	10,25
IPE270	113,7	33,75	31,7	35,2	10,15	28,3	31,5	11,38	25,9	28,7	12,48
IPE300	147,6	37,50	34,2	38,0	12,19	30,6	34,0	13,66	27,9	31,0	14,98
IPE330	188,9	40,00	37,5	41,7	14,25	33,5	37,3	15,96	30,6	34,0	17,51
IPE360	239,5	42,50	41,0	45,5	16,53	36,6	40,7	18,52	33,4	37,2	20,32
IPE400	307,2	45,00	45,1	50,1	19,27	40,3	44,8	21,59	36,8	40,9	23,68
IPE450	400,0	47,50	50,1	55,6	22,59	44,8	49,8	25,31	40,9	45,4	27,76
IPE500	515,6	50,00	55,4	61,6	26,31	49,5	55,1	29,48	45,2	50,3	32,34
IPE550	655,0	52,50	60,9	67,7	30,39	54,5	60,6	34,05	49,8	55,3	37,35
IPE600	825,3	55,00	66,8	74,3	34,92	59,8	66,4	39,12	54,6	60,6	42,92

(ii) Pour béton de sable

a. Pour $f_{yk}=400\text{ N/mm}^2$

Tableau (A.11). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(N/mm^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	14,2	15,8	1,36	12,7	14,1	1,51	11,6	12,9	1,66
IPE100	9,26	8,25	16,9	18,8	1,94	15,1	16,8	2,16	13,8	15,3	2,37
IPE120	14,26	9,60	19,4	21,6	2,59	17,4	19,3	2,89	15,9	17,6	3,17
IPE140	20,75	10,95	22,0	24,4	3,34	19,6	21,8	3,72	17,9	19,9	4,09
IPE160	29,14	12,30	24,6	27,3	4,20	22,0	24,4	4,67	20,1	22,3	5,13
IPE180	39,01	13,65	27,0	30,0	5,12	24,1	26,8	5,70	22,0	24,5	6,25
IPE200	51,94	15,00	29,7	33,0	6,19	26,6	29,5	6,89	24,2	26,9	7,56
IPE220	66,98	16,50	32,1	35,7	7,37	28,8	31,9	8,21	26,3	29,2	9,01
IPE240	86,25	18,00	34,9	38,8	8,74	31,2	34,7	9,73	28,5	31,7	10,68
IPE270	113,74	20,25	37,8	42,0	10,64	33,8	37,6	11,85	30,9	34,3	13,01
IPE300	147,58	22,50	40,9	45,4	12,78	36,5	40,6	14,23	33,4	37,1	15,62
IPE330	188,94	24,00	44,8	49,7	14,93	40,0	44,5	16,63	36,6	40,6	18,25
IPE360	239,47	25,50	48,9	54,3	17,33	43,7	48,6	19,29	39,9	44,4	21,18
IPE400	307,15	27,00	53,8	59,8	20,19	48,1	53,5	22,48	43,9	48,8	24,68
IPE450	399,97	28,50	59,8	66,4	23,67	53,5	59,4	26,36	48,8	54,2	28,94
IPE500	515,59	30,00	66,1	73,5	27,58	59,2	65,7	30,71	54,0	60,0	33,71
IPE550	654,95	31,50	72,7	80,8	31,85	65,1	72,3	35,46	59,4	66,0	38,93
IPE600	825,32	33,00	79,8	88,6	36,59	71,4	79,3	40,74	65,2	72,4	44,73

Tableau (A.12). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(N/mm^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	13,1	14,6	1,47	11,7	13,0	1,64	10,7	11,9	1,80
IPE100	9,3	9,63	15,6	17,4	2,09	14,0	15,6	2,33	12,8	14,2	2,56
IPE120	14,3	11,20	18,0	20,0	2,80	16,1	17,9	3,12	14,7	16,3	3,43
IPE140	20,8	12,78	20,3	22,6	3,61	18,2	20,2	4,02	16,6	18,5	4,41
IPE160	29,1	14,35	22,7	25,3	4,53	20,3	22,6	5,05	18,6	20,6	5,54
IPE180	39,0	15,93	25,0	27,7	5,53	22,3	24,8	6,15	20,4	22,7	6,76
IPE200	51,9	17,50	27,5	30,5	6,68	24,6	27,3	7,44	22,4	24,9	8,17
IPE220	67,0	19,25	29,8	33,1	7,96	26,6	29,6	8,87	24,3	27,0	9,73
IPE240	86,3	21,00	32,3	35,9	9,44	28,9	32,1	10,51	26,4	29,3	11,53
IPE270	113,7	23,63	35,0	38,9	11,49	31,3	34,8	12,80	28,6	31,8	14,05
IPE300	147,6	26,25	37,8	42,0	13,80	33,8	37,6	15,37	30,9	34,3	16,87
IPE330	188,9	28,00	41,4	46,0	16,13	37,1	41,2	17,96	33,8	37,6	19,71
IPE360	239,5	29,75	45,3	50,3	18,71	40,5	45,0	20,84	37,0	41,1	22,88
IPE400	307,2	31,50	49,8	55,3	21,81	44,6	49,5	24,28	40,7	45,2	26,66
IPE450	400,0	33,25	55,3	61,5	25,57	49,5	55,0	28,47	45,2	50,2	31,25
IPE500	515,6	35,00	61,2	68,0	29,79	54,8	60,9	33,17	50,0	55,6	36,41
IPE550	655,0	36,75	67,3	74,8	34,40	60,2	66,9	38,30	55,0	61,1	42,05
IPE600	825,3	38,50	73,9	82,1	39,52	66,1	73,4	44,01	60,3	67,0	48,31

Tableau (A.13). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	12,3	13,6	1,57	11,0	12,2	1,75	10,0	11,1	1,92
IPE100	9,3	11,00	14,6	16,3	2,24	13,1	14,5	2,49	12,0	13,3	2,74
IPE120	14,3	12,80	16,8	18,7	3,00	15,1	16,7	3,34	13,8	15,3	3,66
IPE140	20,8	14,60	19,0	21,1	3,86	17,0	18,9	4,30	15,5	17,3	4,72
IPE160	29,1	16,40	21,3	23,6	4,85	19,0	21,1	5,40	17,4	19,3	5,92
IPE180	39,0	18,20	23,4	25,9	5,91	20,9	23,2	6,58	19,1	21,2	7,22
IPE200	51,9	20,00	25,7	28,6	7,15	23,0	25,6	7,96	21,0	23,3	8,74
IPE220	67,0	22,00	27,8	30,9	8,51	24,9	27,7	9,48	22,7	25,3	10,40
IPE240	86,3	24,00	30,2	33,6	10,09	27,1	30,1	11,23	24,7	27,4	12,33
IPE270	113,7	27,00	32,7	36,4	12,29	29,3	32,5	13,68	26,7	29,7	15,02
IPE300	147,6	30,00	35,4	39,3	14,75	31,7	35,2	16,43	28,9	32,1	18,03
IPE330	188,9	32,00	38,8	43,1	17,24	34,7	38,5	19,20	31,7	35,2	21,07
IPE360	239,5	34,00	42,3	47,0	20,01	37,9	42,1	22,28	34,6	38,4	24,46
IPE400	307,2	36,00	46,6	51,8	23,32	41,7	46,3	25,96	38,1	42,3	28,50
IPE450	400,0	38,00	51,8	57,5	27,34	46,3	51,4	30,44	42,3	47,0	33,41
IPE500	515,6	40,00	57,3	63,6	31,84	51,2	56,9	35,46	46,8	52,0	38,92
IPE550	655,0	42,00	63,0	70,0	36,77	56,4	62,6	40,95	51,5	57,2	44,95
IPE600	825,3	44,00	69,1	76,8	42,25	61,8	68,7	47,05	56,4	62,7	51,65

Tableau (A.14). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$			20			25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	11,6	12,9	1,67	10,4	11,5	1,85	9,5	10,5	2,04
IPE100	9,3	12,38	13,8	15,3	2,37	12,3	13,7	2,64	11,3	12,5	2,90
IPE120	14,3	14,40	15,9	17,6	3,18	14,2	15,8	3,54	13,0	14,4	3,88
IPE140	20,8	16,43	17,9	19,9	4,09	16,0	17,8	4,56	14,6	16,3	5,00
IPE160	29,1	18,45	20,0	22,3	5,14	17,9	19,9	5,72	16,4	18,2	6,28
IPE180	39,0	20,48	22,0	24,5	6,27	19,7	21,9	6,98	18,0	20,0	7,66
IPE200	51,9	22,50	24,2	26,9	7,58	21,7	24,1	8,44	19,8	22,0	9,27
IPE220	67,0	24,75	26,2	29,2	9,03	23,5	26,1	10,05	21,4	23,8	11,03
IPE240	86,3	27,00	28,5	31,7	10,70	25,5	28,3	11,91	23,3	25,9	13,08
IPE270	113,7	30,38	30,9	34,3	13,03	27,6	30,7	14,51	25,2	28,0	15,93
IPE300	147,6	33,75	33,4	37,1	15,65	29,8	33,2	17,42	27,2	30,3	19,13
IPE330	188,9	36,00	36,5	40,6	18,29	32,7	36,3	20,36	29,9	33,2	22,35
IPE360	239,5	38,25	39,9	44,3	21,22	35,7	39,7	23,63	32,6	36,2	25,94
IPE400	307,2	40,50	43,9	48,8	24,73	39,3	43,7	27,54	35,9	39,9	30,23
IPE450	400,0	42,75	48,8	54,2	28,99	43,7	48,5	32,28	39,9	44,3	35,44
IPE500	515,6	45,00	54,0	60,0	33,77	48,3	53,7	37,61	44,1	49,0	41,28
IPE550	655,0	47,25	59,4	66,0	39,01	53,1	59,0	43,43	48,5	53,9	47,68
IPE600	825,3	49,50	65,1	72,4	44,82	58,3	64,7	49,90	53,2	59,1	54,78

Tableau (A.15). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,5	11,50	11,0	12,2	1,76	9,8	10,9	1,95	9,0	10,0	2,15
IPE100	9,3	13,75	13,1	14,5	2,50	11,7	13,0	2,79	10,7	11,9	3,06
IPE120	14,3	16,00	15,1	16,7	3,35	13,5	15,0	3,73	12,3	13,7	4,09
IPE140	20,8	18,25	17,0	18,9	4,31	15,2	16,9	4,80	13,9	15,4	5,27
IPE160	29,1	20,50	19,0	21,1	5,42	17,0	18,9	6,03	15,5	17,3	6,62
IPE180	39,0	22,75	20,9	23,2	6,61	18,7	20,8	7,36	17,1	19,0	8,07
IPE200	51,9	25,00	23,0	25,5	7,99	20,6	22,9	8,90	18,8	20,9	9,77
IPE220	67,0	27,50	24,9	27,7	9,52	22,3	24,7	10,60	20,3	22,6	11,63
IPE240	86,3	30,00	27,0	30,1	11,28	24,2	26,9	12,56	22,1	24,5	13,79
IPE270	113,7	33,75	29,3	32,5	13,74	26,2	29,1	15,30	23,9	26,6	16,79
IPE300	147,6	37,50	31,6	35,2	16,49	28,3	31,5	18,37	25,8	28,7	20,16
IPE330	188,9	40,00	34,7	38,5	19,28	31,0	34,5	21,46	28,3	31,5	23,56
IPE360	239,5	42,50	37,9	42,1	22,37	33,9	37,6	24,91	30,9	34,4	27,34
IPE400	307,2	45,00	41,7	46,3	26,07	37,3	41,4	29,03	34,0	37,8	31,86
IPE450	400,0	47,50	46,3	51,4	30,56	41,4	46,0	34,03	37,8	42,0	37,36
IPE500	515,6	50,00	51,2	56,9	35,60	45,8	50,9	39,64	41,8	46,5	43,52
IPE550	655,0	52,50	56,3	62,6	41,12	50,4	56,0	45,78	46,0	51,1	50,26
IPE600	825,3	55,00	61,8	68,7	47,24	55,3	61,4	52,60	50,5	56,1	57,74

b. Pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$

Tableau (A.16). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	15,8	1,09	12,7	14,1	1,22	11,6	12,9	1,33
IPE100	9,26	8,25	16,9	18,8	1,55	15,1	16,8	1,73	13,8	15,3	1,89
IPE120	14,26	9,60	19,4	21,6	2,07	17,4	19,3	2,32	15,9	17,6	2,53
IPE140	20,75	10,95	22,0	24,4	2,67	19,6	21,8	2,99	17,9	19,9	3,26
IPE160	29,14	12,30	24,6	27,3	3,35	22,0	24,4	3,76	20,1	22,3	4,09
IPE180	39,01	13,65	27,0	30,0	4,09	24,1	26,8	4,58	22,0	24,5	4,99
IPE200	51,94	15,00	29,7	33,0	4,94	26,6	29,5	5,54	24,2	26,9	6,04
IPE220	66,98	16,50	32,1	35,7	5,89	28,8	31,9	6,59	26,3	29,2	7,19
IPE240	86,25	18,00	34,9	38,8	6,98	31,2	34,7	7,82	28,5	31,7	8,52
IPE270	113,74	20,25	37,8	42,0	8,50	33,8	37,6	9,52	30,9	34,3	10,38
IPE300	147,58	22,50	40,9	45,4	10,20	36,5	40,6	11,43	33,4	37,1	12,46
IPE330	188,94	24,00	44,8	49,7	11,92	40,0	44,5	13,36	36,6	40,6	14,57
IPE360	239,47	25,50	48,9	54,3	13,84	43,7	48,6	15,50	39,9	44,4	16,90
IPE400	307,15	27,00	53,8	59,8	16,12	48,1	53,5	18,06	43,9	48,8	19,70
IPE450	399,97	28,50	59,8	66,4	18,90	53,5	59,4	21,18	48,8	54,2	23,09
IPE500	515,59	30,00	66,1	73,5	22,02	59,2	65,7	24,67	54,0	60,0	26,90
IPE550	654,95	31,50	72,7	80,8	25,43	65,1	72,3	28,49	59,4	66,0	31,07
IPE600	825,32	33,00	79,8	88,6	29,22	71,4	79,3	32,74	65,2	72,4	35,70

Tableau (A.17). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(N/mm^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	13,1	14,6	1,17	11,7	13,0	1,31	10,7	11,9	1,43
IPE100	9,3	9,63	15,6	17,4	1,67	14,0	15,6	1,87	12,8	14,2	2,04
IPE120	14,3	11,20	18,0	20,0	2,24	16,1	17,9	2,51	14,7	16,3	2,73
IPE140	20,8	12,78	20,3	22,6	2,88	18,2	20,2	3,23	16,6	18,5	3,52
IPE160	29,1	14,35	22,7	25,3	3,62	20,3	22,6	4,06	18,6	20,6	4,42
IPE180	39,0	15,93	25,0	27,7	4,41	22,3	24,8	4,94	20,4	22,7	5,39
IPE200	51,9	17,50	27,5	30,5	5,34	24,6	27,3	5,98	22,4	24,9	6,52
IPE220	67,0	19,25	29,8	33,1	6,36	26,6	29,6	7,12	24,3	27,0	7,77
IPE240	86,3	21,00	32,3	35,9	7,54	28,9	32,1	8,44	26,4	29,3	9,21
IPE270	113,7	23,63	35,0	38,9	9,18	31,3	34,8	10,28	28,6	31,8	11,21
IPE300	147,6	26,25	37,8	42,0	11,02	33,8	37,6	12,35	30,9	34,3	13,46
IPE330	188,9	28,00	41,4	46,0	12,88	37,1	41,2	14,43	33,8	37,6	15,73
IPE360	239,5	29,75	45,3	50,3	14,94	40,5	45,0	16,74	37,0	41,1	18,26
IPE400	307,2	31,50	49,8	55,3	17,42	44,6	49,5	19,51	40,7	45,2	21,28
IPE450	400,0	33,25	55,3	61,5	20,42	49,5	55,0	22,88	45,2	50,2	24,94
IPE500	515,6	35,00	61,2	68,0	23,79	54,8	60,9	26,65	50,0	55,6	29,06
IPE550	655,0	36,75	67,3	74,8	27,47	60,2	66,9	30,78	55,0	61,1	33,56
IPE600	825,3	38,50	73,9	82,1	31,56	66,1	73,4	35,36	60,3	67,0	38,56

Tableau (A.18). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(N/mm^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	12,3	13,6	1,25	11,0	12,2	1,40	10,0	11,1	1,53
IPE100	9,3	11,00	14,6	16,3	1,79	13,1	14,5	2,00	12,0	13,3	2,18
IPE120	14,3	12,80	16,8	18,7	2,39	15,1	16,7	2,68	13,8	15,3	2,92
IPE140	20,8	14,60	19,0	21,1	3,08	17,0	18,9	3,45	15,5	17,3	3,76
IPE160	29,1	16,40	21,3	23,6	3,87	19,0	21,1	4,34	17,4	19,3	4,73
IPE180	39,0	18,20	23,4	25,9	4,72	20,9	23,2	5,29	19,1	21,2	5,76
IPE200	51,9	20,00	25,7	28,6	5,71	23,0	25,6	6,39	21,0	23,3	6,97
IPE220	67,0	22,00	27,8	30,9	6,80	24,9	27,7	7,61	22,7	25,3	8,30
IPE240	86,3	24,00	30,2	33,6	8,06	27,1	30,1	9,03	24,7	27,4	9,84
IPE270	113,7	27,00	32,7	36,4	9,81	29,3	32,5	10,99	26,7	29,7	11,99
IPE300	147,6	30,00	35,4	39,3	11,78	31,7	35,2	13,20	28,9	32,1	14,39
IPE330	188,9	32,00	38,8	43,1	13,77	34,7	38,5	15,42	31,7	35,2	16,82
IPE360	239,5	34,00	42,3	47,0	15,98	37,9	42,1	17,90	34,6	38,4	19,52
IPE400	307,2	36,00	46,6	51,8	18,62	41,7	46,3	20,86	38,1	42,3	22,74
IPE450	400,0	38,00	51,8	57,5	21,83	46,3	51,4	24,46	42,3	47,0	26,67
IPE500	515,6	40,00	57,3	63,6	25,43	51,2	56,9	28,49	46,8	52,0	31,06
IPE550	655,0	42,00	63,0	70,0	29,37	56,4	62,6	32,90	51,5	57,2	35,87
IPE600	825,3	44,00	69,1	76,8	33,74	61,8	68,7	37,80	56,4	62,7	41,22

Tableau (A.19). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(N/mm^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	11,6	12,9	1,33	10,4	11,5	1,49	9,5	10,5	1,62
IPE100	9,3	12,38	13,8	15,3	1,90	12,3	13,7	2,12	11,3	12,5	2,32
IPE120	14,3	14,40	15,9	17,6	2,54	14,2	15,8	2,84	13,0	14,4	3,10
IPE140	20,8	16,43	17,9	19,9	3,27	16,0	17,8	3,66	14,6	16,3	3,99
IPE160	29,1	18,45	20,0	22,3	4,11	17,9	19,9	4,60	16,4	18,2	5,02
IPE180	39,0	20,48	22,0	24,5	5,00	19,7	21,9	5,61	18,0	20,0	6,11
IPE200	51,9	22,50	24,2	26,9	6,05	21,7	24,1	6,78	19,8	22,0	7,39
IPE220	67,0	24,75	26,2	29,2	7,21	23,5	26,1	8,08	21,4	23,8	8,81
IPE240	86,3	27,00	28,5	31,7	8,54	25,5	28,3	9,57	23,3	25,9	10,44
IPE270	113,7	30,38	30,9	34,3	10,41	27,6	30,7	11,66	25,2	28,0	12,71
IPE300	147,6	33,75	33,4	37,1	12,50	29,8	33,2	14,00	27,2	30,3	15,27
IPE330	188,9	36,00	36,5	40,6	14,60	32,7	36,3	16,36	29,9	33,2	17,84
IPE360	239,5	38,25	39,9	44,3	16,95	35,7	39,7	18,99	32,6	36,2	20,70
IPE400	307,2	40,50	43,9	48,8	19,75	39,3	43,7	22,12	35,9	39,9	24,12
IPE450	400,0	42,75	48,8	54,2	23,15	43,7	48,5	25,94	39,9	44,3	28,28
IPE500	515,6	45,00	54,0	60,0	26,97	48,3	53,7	30,22	44,1	49,0	32,95
IPE550	655,0	47,25	59,4	66,0	31,15	53,1	59,0	34,90	48,5	53,9	38,05
IPE600	825,3	49,50	65,1	72,4	35,79	58,3	64,7	40,09	53,2	59,1	43,72

Tableau (A.20). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

$f_{ck}(N/mm^2)$		20				25			30		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	11,50	11,0	12,2	1,40	9,8	10,9	1,57	9,0	10,0	1,71
IPE100	9,3	13,75	13,1	14,5	2,00	11,7	13,0	2,24	10,7	11,9	2,44
IPE120	14,3	16,00	15,1	16,7	2,67	13,5	15,0	3,00	12,3	13,7	3,27
IPE140	20,8	18,25	17,0	18,9	3,45	15,2	16,9	3,86	13,9	15,4	4,21
IPE160	29,1	20,50	19,0	21,1	4,33	17,0	18,9	4,85	15,5	17,3	5,29
IPE180	39,0	22,75	20,9	23,2	5,27	18,7	20,8	5,91	17,1	19,0	6,44
IPE200	51,9	25,00	23,0	25,5	6,38	20,6	22,9	7,15	18,8	20,9	7,79
IPE220	67,0	27,50	24,9	27,7	7,60	22,3	24,7	8,51	20,3	22,6	9,28
IPE240	86,3	30,00	27,0	30,1	9,01	24,2	26,9	10,09	22,1	24,5	11,00
IPE270	113,7	33,75	29,3	32,5	10,97	26,2	29,1	12,29	23,9	26,6	13,40
IPE300	147,6	37,50	31,6	35,2	13,17	28,3	31,5	14,76	25,8	28,7	16,09
IPE330	188,9	40,00	34,7	38,5	15,39	31,0	34,5	17,25	28,3	31,5	18,80
IPE360	239,5	42,50	37,9	42,1	17,86	33,9	37,6	20,01	30,9	34,4	21,82
IPE400	307,2	45,00	41,7	46,3	20,82	37,3	41,4	23,32	34,0	37,8	25,43
IPE450	400,0	47,50	46,3	51,4	24,41	41,4	46,0	27,34	37,8	42,0	29,81
IPE500	515,6	50,00	51,2	56,9	28,43	45,8	50,9	31,85	41,8	46,5	34,73
IPE550	655,0	52,50	56,3	62,6	32,83	50,4	56,0	36,78	46,0	51,1	40,11
IPE600	825,3	55,00	61,8	68,7	37,72	55,3	61,4	42,26	50,5	56,1	46,08

A.2.2 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110

(i) Pour béton ordinaire

a. Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.21). Détermination de sections rectangulaires en BO simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	15,8	1,46	12,6	14,0	1,64	11,6	12,9	1,77
IPE100	9,26	8,25	16,9	18,8	2,08	15,0	16,7	2,34	13,8	15,4	2,53
IPE120	14,26	9,60	19,4	21,6	2,79	17,3	19,2	3,13	15,9	17,7	3,38
IPE140	20,75	10,95	22,0	24,4	3,59	19,5	21,7	4,03	18,0	20,0	4,36
IPE160	29,14	12,30	24,6	27,3	4,51	21,8	24,2	5,06	20,1	22,3	5,47
IPE180	39,01	13,65	27,0	30,0	5,49	23,9	26,6	6,16	22,1	24,5	6,67
IPE200	51,94	15,00	29,7	33,0	6,64	26,3	29,3	7,46	24,3	27,0	8,06
IPE220	66,98	16,50	32,1	35,7	7,91	28,5	31,7	8,88	26,3	29,2	9,61
IPE240	86,25	18,00	34,9	38,8	9,38	31,0	34,4	10,53	28,6	31,8	11,38
IPE270	113,74	20,25	37,8	42,0	11,42	33,6	37,3	12,82	30,9	34,4	13,87
IPE300	147,58	22,50	40,9	45,4	13,72	36,3	40,3	15,39	33,4	37,2	16,65
IPE330	188,94	24,00	44,8	49,7	16,03	39,7	44,1	17,99	36,6	40,7	19,46
IPE360	239,47	25,50	48,9	54,3	18,60	43,4	48,2	20,88	40,0	44,5	22,58
IPE400	307,15	27,00	53,8	59,8	21,68	47,8	53,1	24,33	44,0	48,9	26,31
IPE450	399,97	28,50	59,8	66,4	25,42	53,0	58,9	28,52	48,9	54,4	30,85
IPE500	515,59	30,00	66,1	73,5	29,61	58,7	65,2	33,23	54,1	60,1	35,93
IPE550	654,95	31,50	72,7	80,8	34,19	64,6	71,7	38,37	59,5	66,2	41,50
IPE600	825,32	33,00	79,8	88,6	39,29	70,8	78,7	44,09	65,3	72,6	47,68

Tableau (A.22). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	13,1	14,6	1,58	11,7	12,9	1,77	10,7	11,9	1,91
IPE100	9,3	9,63	15,6	17,4	2,25	13,9	15,4	2,52	12,8	14,2	2,73
IPE120	14,3	11,20	18,0	20,0	3,01	16,0	17,8	3,38	14,7	16,4	3,65
IPE140	20,8	12,78	20,3	22,6	3,88	18,0	20,1	4,35	16,6	18,5	4,70
IPE160	29,1	14,35	22,7	25,3	4,87	20,2	22,4	5,46	18,6	20,7	5,91
IPE180	39,0	15,93	25,0	27,7	5,93	22,2	24,6	6,66	20,4	22,7	7,20
IPE200	51,9	17,50	27,5	30,5	7,18	24,4	27,1	8,05	22,5	25,0	8,71
IPE220	67,0	19,25	29,8	33,1	8,55	26,4	29,3	9,59	24,4	27,1	10,37
IPE240	86,3	21,00	32,3	35,9	10,13	28,7	31,9	11,37	26,5	29,4	12,30
IPE270	113,7	23,63	35,0	38,9	12,34	31,1	34,5	13,85	28,7	31,8	14,98
IPE300	147,6	26,25	37,8	42,0	14,82	33,6	37,3	16,63	31,0	34,4	17,98
IPE330	188,9	28,00	41,4	46,0	17,31	36,8	40,9	19,43	33,9	37,7	21,02
IPE360	239,5	29,75	45,3	50,3	20,09	40,2	44,6	22,55	37,0	41,2	24,39
IPE400	307,2	31,50	49,8	55,3	23,42	44,2	49,1	26,28	40,8	45,3	28,42
IPE450	400,0	33,25	55,3	61,5	27,45	49,1	54,6	30,81	45,3	50,3	33,32
IPE500	515,6	35,00	61,2	68,0	31,98	54,3	60,4	35,89	50,1	55,7	38,81
IPE550	655,0	36,75	67,3	74,8	36,93	59,8	66,4	41,45	55,1	61,3	44,83
IPE600	825,3	38,50	73,9	82,1	42,43	65,6	72,8	47,62	60,5	67,2	51,50

Tableau (A.23). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	12,3	13,6	1,69	10,9	12,1	1,89	10,1	11,2	2,05
IPE100	9,3	11,00	14,6	16,3	2,40	13,0	14,4	2,70	12,0	13,3	2,92
IPE120	14,3	12,80	16,8	18,7	3,22	14,9	16,6	3,61	13,8	15,3	3,90
IPE140	20,8	14,60	19,0	21,1	4,14	16,9	18,8	4,65	15,6	17,3	5,03
IPE160	29,1	16,40	21,3	23,6	5,20	18,9	21,0	5,84	17,4	19,3	6,32
IPE180	39,0	18,20	23,4	25,9	6,34	20,7	23,0	7,12	19,1	21,2	7,70
IPE200	51,9	20,00	25,7	28,6	7,67	22,8	25,4	8,61	21,0	23,4	9,31
IPE220	67,0	22,00	27,8	30,9	9,14	24,7	27,5	10,26	22,8	25,3	11,09
IPE240	86,3	24,00	30,2	33,6	10,83	26,8	29,8	12,15	24,8	27,5	13,15
IPE270	113,7	27,00	32,7	36,4	13,19	29,1	32,3	14,80	26,8	29,8	16,01
IPE300	147,6	30,00	35,4	39,3	15,84	31,4	34,9	17,78	29,0	32,2	19,23
IPE330	188,9	32,00	38,8	43,1	18,51	34,4	38,2	20,77	31,7	35,3	22,47
IPE360	239,5	34,00	42,3	47,0	21,48	37,6	41,8	24,11	34,7	38,5	26,07
IPE400	307,2	36,00	46,6	51,8	25,03	41,4	46,0	28,09	38,1	42,4	30,38
IPE450	400,0	38,00	51,8	57,5	29,35	45,9	51,0	32,94	42,4	47,1	35,62
IPE500	515,6	40,00	57,3	63,6	34,19	50,8	56,5	38,37	46,9	52,1	41,49
IPE550	655,0	42,00	63,0	70,0	39,48	55,9	62,1	44,31	51,6	57,3	47,92
IPE600	825,3	44,00	69,1	76,8	45,36	61,3	68,1	50,91	56,6	62,8	55,06

Tableau (A.24). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,5	10,35	11,6	12,9	1,79	10,3	11,4	2,01	9,5	10,5	2,17
IPE100	9,3	12,38	13,8	15,3	2,55	12,2	13,6	2,86	11,3	12,6	3,09
IPE120	14,3	14,40	15,9	17,6	3,41	14,1	15,7	3,83	13,0	14,4	4,14
IPE140	20,8	16,43	17,9	19,9	4,39	15,9	17,7	4,93	14,7	16,3	5,33
IPE160	29,1	18,45	20,0	22,3	5,52	17,8	19,8	6,19	16,4	18,2	6,70
IPE180	39,0	20,48	22,0	24,5	6,73	19,5	21,7	7,55	18,0	20,0	8,17
IPE200	51,9	22,50	24,2	26,9	8,14	21,5	23,9	9,13	19,8	22,0	9,88
IPE220	67,0	24,75	26,2	29,2	9,69	23,3	25,9	10,88	21,5	23,9	11,76
IPE240	86,3	27,00	28,5	31,7	11,49	25,3	28,1	12,89	23,3	25,9	13,94
IPE270	113,7	30,38	30,9	34,3	13,99	27,4	30,4	15,70	25,3	28,1	16,98
IPE300	147,6	33,75	33,4	37,1	16,80	29,6	32,9	18,85	27,3	30,3	20,39
IPE330	188,9	36,00	36,5	40,6	19,63	32,4	36,0	22,03	29,9	33,2	23,83
IPE360	239,5	38,25	39,9	44,3	22,78	35,4	39,4	25,57	32,7	36,3	27,65
IPE400	307,2	40,50	43,9	48,8	26,55	39,0	43,3	29,80	36,0	40,0	32,23
IPE450	400,0	42,75	48,8	54,2	31,13	43,3	48,1	34,93	39,9	44,4	37,78
IPE500	515,6	45,00	54,0	60,0	36,26	47,9	53,3	40,69	44,2	49,1	44,01
IPE550	655,0	47,25	59,4	66,0	41,88	52,7	58,6	47,00	48,6	54,0	50,83
IPE600	825,3	49,50	65,1	72,4	48,12	57,8	64,2	54,00	53,3	59,2	58,40

Tableau (A.25). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,5	11,50	11,0	12,2	1,88	9,7	10,8	2,11	9,0	10,0	2,29
IPE100	9,3	13,75	13,1	14,5	2,69	11,6	12,9	3,01	10,7	11,9	3,26
IPE120	14,3	16,00	15,1	16,7	3,60	13,4	14,9	4,04	12,3	13,7	4,36
IPE140	20,8	18,25	17,0	18,9	4,63	15,1	16,8	5,20	13,9	15,5	5,62
IPE160	29,1	20,50	19,0	21,1	5,82	16,9	18,8	6,53	15,6	17,3	7,06
IPE180	39,0	22,75	20,9	23,2	7,09	18,5	20,6	7,96	17,1	19,0	8,61
IPE200	51,9	25,00	23,0	25,5	8,58	20,4	22,7	9,63	18,8	20,9	10,41
IPE220	67,0	27,50	24,9	27,7	10,22	22,1	24,6	11,47	20,4	22,6	12,40
IPE240	86,3	30,00	27,0	30,1	12,11	24,0	26,7	13,59	22,1	24,6	14,70
IPE270	113,7	33,75	29,3	32,5	14,75	26,0	28,9	16,55	24,0	26,6	17,90
IPE300	147,6	37,50	31,6	35,2	17,71	28,1	31,2	19,87	25,9	28,8	21,49
IPE330	188,9	40,00	34,7	38,5	20,70	30,8	34,2	23,22	28,4	31,5	25,12
IPE360	239,5	42,50	37,9	42,1	24,02	33,6	37,3	26,95	31,0	34,4	29,15
IPE400	307,2	45,00	41,7	46,3	27,99	37,0	41,1	31,41	34,1	37,9	33,97
IPE450	400,0	47,50	46,3	51,4	32,81	41,1	45,7	36,82	37,9	42,1	39,82
IPE500	515,6	50,00	51,2	56,9	38,22	45,5	50,5	42,89	41,9	46,6	46,39
IPE550	655,0	52,50	56,3	62,6	44,14	50,0	55,6	49,54	46,1	51,2	53,58
IPE600	825,3	55,00	61,8	68,7	50,72	54,8	60,9	56,92	50,6	56,2	61,56

b. Pour $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.26). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	14,2	15,8	1,21	12,6	14,0	1,36	11,6	12,9	1,47
IPE100	9,26	8,25	16,9	18,8	1,72	15,0	16,7	1,94	13,8	15,4	2,09
IPE120	14,26	9,60	19,4	21,6	2,31	17,3	19,2	2,59	15,9	17,7	2,80
IPE140	20,75	10,95	22,0	24,4	2,97	19,5	21,7	3,34	18,0	20,0	3,61
IPE160	29,14	12,30	24,6	27,3	3,74	21,8	24,2	4,19	20,1	22,3	4,53
IPE180	39,01	13,65	27,0	30,0	4,55	23,9	26,6	5,11	22,1	24,5	5,53
IPE200	51,94	15,00	29,7	33,0	5,51	26,3	29,3	6,18	24,3	27,0	6,69
IPE220	66,98	16,50	32,1	35,7	6,56	28,5	31,7	7,36	26,3	29,2	7,96
IPE240	86,25	18,00	34,9	38,8	7,78	31,0	34,4	8,73	28,6	31,8	9,44
IPE270	113,74	20,25	37,8	42,0	9,47	33,6	37,3	10,63	30,9	34,4	11,49
IPE300	147,58	22,50	40,9	45,4	11,37	36,3	40,3	12,76	33,4	37,2	13,80
IPE330	188,94	24,00	44,8	49,7	13,29	39,7	44,1	14,91	36,6	40,7	16,13
IPE360	239,47	25,50	48,9	54,3	15,42	43,4	48,2	17,31	40,0	44,5	18,72
IPE400	307,15	27,00	53,8	59,8	17,97	47,8	53,1	20,17	44,0	48,9	21,81
IPE450	399,97	28,50	59,8	66,4	21,07	53,0	58,9	23,64	48,9	54,4	25,57
IPE500	515,59	30,00	66,1	73,5	24,54	58,7	65,2	27,54	54,1	60,1	29,79
IPE550	654,95	31,50	72,7	80,8	28,34	64,6	71,7	31,81	59,5	66,2	34,40
IPE600	825,32	33,00	79,8	88,6	32,57	70,8	78,7	36,55	65,3	72,6	39,53

Tableau (A.27). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	13,1	14,6	1,31	11,7	12,9	1,47	10,7	11,9	1,59
IPE100	9,3	9,63	15,6	17,4	1,86	13,9	15,4	2,09	12,8	14,2	2,26
IPE120	14,3	11,20	18,0	20,0	2,49	16,0	17,8	2,80	14,7	16,4	3,03
IPE140	20,8	12,78	20,3	22,6	3,21	18,0	20,1	3,61	16,6	18,5	3,90
IPE160	29,1	14,35	22,7	25,3	4,04	20,2	22,4	4,53	18,6	20,7	4,90
IPE180	39,0	15,93	25,0	27,7	4,92	22,2	24,6	5,52	20,4	22,7	5,97
IPE200	51,9	17,50	27,5	30,5	5,95	24,4	27,1	6,68	22,5	25,0	7,22
IPE220	67,0	19,25	29,8	33,1	7,09	26,4	29,3	7,95	24,4	27,1	8,60
IPE240	86,3	21,00	32,3	35,9	8,40	28,7	31,9	9,42	26,5	29,4	10,19
IPE270	113,7	23,63	35,0	38,9	10,23	31,1	34,5	11,48	28,7	31,8	12,42
IPE300	147,6	26,25	37,8	42,0	12,28	33,6	37,3	13,78	31,0	34,4	14,91
IPE330	188,9	28,00	41,4	46,0	14,35	36,8	40,9	16,11	33,9	37,7	17,42
IPE360	239,5	29,75	45,3	50,3	16,66	40,2	44,6	18,69	37,0	41,2	20,22
IPE400	307,2	31,50	49,8	55,3	19,41	44,2	49,1	21,78	40,8	45,3	23,56
IPE450	400,0	33,25	55,3	61,5	22,76	49,1	54,6	25,54	45,3	50,3	27,62
IPE500	515,6	35,00	61,2	68,0	26,51	54,3	60,4	29,75	50,1	55,7	32,17
IPE550	655,0	36,75	67,3	74,8	30,61	59,8	66,4	34,36	55,1	61,3	37,16
IPE600	825,3	38,50	73,9	82,1	35,18	65,6	72,8	39,47	60,5	67,2	42,69

Tableau (A.28). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	12,3	13,6	1,40	10,9	12,1	1,57	10,1	11,2	1,70
IPE100	9,3	11,00	14,6	16,3	1,99	13,0	14,4	2,24	12,0	13,3	2,42
IPE120	14,3	12,80	16,8	18,7	2,67	14,9	16,6	2,99	13,8	15,3	3,24
IPE140	20,8	14,60	19,0	21,1	3,43	16,9	18,8	3,85	15,6	17,3	4,17
IPE160	29,1	16,40	21,3	23,6	4,31	18,9	21,0	4,84	17,4	19,3	5,24
IPE180	39,0	18,20	23,4	25,9	5,26	20,7	23,0	5,90	19,1	21,2	6,38
IPE200	51,9	20,00	25,7	28,6	6,36	22,8	25,4	7,14	21,0	23,4	7,72
IPE220	67,0	22,00	27,8	30,9	7,57	24,7	27,5	8,50	22,8	25,3	9,19
IPE240	86,3	24,00	30,2	33,6	8,98	26,8	29,8	10,08	24,8	27,5	10,90
IPE270	113,7	27,00	32,7	36,4	10,94	29,1	32,3	12,27	26,8	29,8	13,27
IPE300	147,6	30,00	35,4	39,3	13,13	31,4	34,9	14,74	29,0	32,2	15,94
IPE330	188,9	32,00	38,8	43,1	15,34	34,4	38,2	17,22	31,7	35,3	18,62
IPE360	239,5	34,00	42,3	47,0	17,81	37,6	41,8	19,98	34,7	38,5	21,61
IPE400	307,2	36,00	46,6	51,8	20,75	41,4	46,0	23,29	38,1	42,4	25,19
IPE450	400,0	38,00	51,8	57,5	24,33	45,9	51,0	27,30	42,4	47,1	29,53
IPE500	515,6	40,00	57,3	63,6	28,34	50,8	56,5	31,80	46,9	52,1	34,40
IPE550	655,0	42,00	63,0	70,0	32,73	55,9	62,1	36,73	51,6	57,3	39,72
IPE600	825,3	44,00	69,1	76,8	37,60	61,3	68,1	42,20	56,6	62,8	45,64

Tableau (A.29). Détermination de sections rectangulaires en *BO* simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	11,6	12,9	1,48	10,3	11,4	1,66	9,5	10,5	1,80
IPE100	9,3	12,38	13,8	15,3	2,11	12,2	13,6	2,37	11,3	12,6	2,56
IPE120	14,3	14,40	15,9	17,6	2,83	14,1	15,7	3,17	13,0	14,4	3,43
IPE140	20,8	16,43	17,9	19,9	3,64	15,9	17,7	4,09	14,7	16,3	4,42
IPE160	29,1	18,45	20,0	22,3	4,58	17,8	19,8	5,13	16,4	18,2	5,55
IPE180	39,0	20,48	22,0	24,5	5,58	19,5	21,7	6,26	18,0	20,0	6,77
IPE200	51,9	22,50	24,2	26,9	6,75	21,5	23,9	7,57	19,8	22,0	8,19
IPE220	67,0	24,75	26,2	29,2	8,03	23,3	25,9	9,02	21,5	23,9	9,75
IPE240	86,3	27,00	28,5	31,7	9,52	25,3	28,1	10,69	23,3	25,9	11,56
IPE270	113,7	30,38	30,9	34,3	11,60	27,4	30,4	13,02	25,3	28,1	14,08
IPE300	147,6	33,75	33,4	37,1	13,93	29,6	32,9	15,63	27,3	30,3	16,90
IPE330	188,9	36,00	36,5	40,6	16,27	32,4	36,0	18,26	29,9	33,2	19,75
IPE360	239,5	38,25	39,9	44,3	18,89	35,4	39,4	21,19	32,7	36,3	22,92
IPE400	307,2	40,50	43,9	48,8	22,01	39,0	43,3	24,70	36,0	40,0	26,71
IPE450	400,0	42,75	48,8	54,2	25,80	43,3	48,1	28,96	39,9	44,4	31,32
IPE500	515,6	45,00	54,0	60,0	30,06	47,9	53,3	33,73	44,2	49,1	36,48
IPE550	655,0	47,25	59,4	66,0	34,71	52,7	58,6	38,96	48,6	54,0	42,13
IPE600	825,3	49,50	65,1	72,4	39,89	57,8	64,2	44,76	53,3	59,2	48,41

Tableau (A.30). Détermination de sections rectangulaires en <i>BO</i> simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.											
$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	11,50	11,0	12,2	1,56	9,7	10,8	1,75	9,0	10,0	1,90
IPE100	9,3	13,75	13,1	14,5	2,23	11,6	12,9	2,50	10,7	11,9	2,70
IPE120	14,3	16,00	15,1	16,7	2,98	13,4	14,9	3,34	12,3	13,7	3,62
IPE140	20,8	18,25	17,0	18,9	3,84	15,1	16,8	4,31	13,9	15,5	4,66
IPE160	29,1	20,50	19,0	21,1	4,82	16,9	18,8	5,41	15,6	17,3	5,85
IPE180	39,0	22,75	20,9	23,2	5,88	18,5	20,6	6,60	17,1	19,0	7,14
IPE200	51,9	25,00	23,0	25,5	7,11	20,4	22,7	7,98	18,8	20,9	8,63
IPE220	67,0	27,50	24,9	27,7	8,47	22,1	24,6	9,50	20,4	22,6	10,28
IPE240	86,3	30,00	27,0	30,1	10,04	24,0	26,7	11,26	22,1	24,6	12,18
IPE270	113,7	33,75	29,3	32,5	12,23	26,0	28,9	13,72	24,0	26,6	14,84
IPE300	147,6	37,50	31,6	35,2	14,68	28,1	31,2	16,47	25,9	28,8	17,82
IPE330	188,9	40,00	34,7	38,5	17,15	30,8	34,2	19,25	28,4	31,5	20,82
IPE360	239,5	42,50	37,9	42,1	19,91	33,6	37,3	22,34	31,0	34,4	24,16
IPE400	307,2	45,00	41,7	46,3	23,20	37,0	41,1	26,04	34,1	37,9	28,16
IPE450	400,0	47,50	46,3	51,4	27,20	41,1	45,7	30,52	37,9	42,1	33,01
IPE500	515,6	50,00	51,2	56,9	31,68	45,5	50,5	35,56	41,9	46,6	38,46
IPE550	655,0	52,50	56,3	62,6	36,59	50,0	55,6	41,06	46,1	51,2	44,41
IPE600	825,3	55,00	61,8	68,7	42,04	54,8	60,9	47,18	50,6	56,2	51,03

(ii) Pour béton de sable

a. Pour $f_{yk}=400\text{ N/mm}^2$

Tableau (A.31). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	15,8	1,43	12,6	14,0	1,61	11,6	12,9	1,74
IPE100	9,26	8,25	16,9	18,8	2,04	15,0	16,7	2,29	13,8	15,4	2,48
IPE120	14,26	9,60	19,4	21,6	2,73	17,3	19,2	3,06	15,9	17,7	3,31
IPE140	20,75	10,95	22,0	24,4	3,52	19,5	21,7	3,95	18,0	20,0	4,27
IPE160	29,14	12,30	24,6	27,3	4,42	21,8	24,2	4,96	20,1	22,3	5,36
IPE180	39,01	13,65	27,0	30,0	5,38	23,9	26,6	6,04	22,1	24,5	6,53
IPE200	51,94	15,00	29,7	33,0	6,51	26,3	29,3	7,31	24,3	27,0	7,90
IPE220	66,98	16,50	32,1	35,7	7,76	28,5	31,7	8,70	26,3	29,2	9,41
IPE240	86,25	18,00	34,9	38,8	9,19	31,0	34,4	10,32	28,6	31,8	11,16
IPE270	113,74	20,25	37,8	42,0	11,20	33,6	37,3	12,57	30,9	34,4	13,59
IPE300	147,58	22,50	40,9	45,4	13,44	36,3	40,3	15,09	33,4	37,2	16,32
IPE330	188,94	24,00	44,8	49,7	15,71	39,7	44,1	17,63	36,6	40,7	19,07
IPE360	239,47	25,50	48,9	54,3	18,23	43,4	48,2	20,46	40,0	44,5	22,13
IPE400	307,15	27,00	53,8	59,8	21,25	47,8	53,1	23,84	44,0	48,9	25,79
IPE450	399,97	28,50	59,8	66,4	24,91	53,0	58,9	27,95	48,9	54,4	30,23
IPE500	515,59	30,00	66,1	73,5	29,02	58,7	65,2	32,56	54,1	60,1	35,22
IPE550	654,95	31,50	72,7	80,8	33,51	64,6	71,7	37,61	59,5	66,2	40,67
IPE600	825,32	33,00	79,8	88,6	38,50	70,8	78,7	43,21	65,3	72,6	46,73

Tableau (A.32). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,5	8,05	13,1	14,6	1,55	11,7	12,9	1,73	10,7	11,9	1,88
IPE100	9,3	9,63	15,6	17,4	2,20	13,9	15,4	2,47	12,8	14,2	2,67
IPE120	14,3	11,20	18,0	20,0	2,95	16,0	17,8	3,31	14,7	16,4	3,58
IPE140	20,8	12,78	20,3	22,6	3,80	18,0	20,1	4,26	16,6	18,5	4,61
IPE160	29,1	14,35	22,7	25,3	4,77	20,2	22,4	5,35	18,6	20,7	5,79
IPE180	39,0	15,93	25,0	27,7	5,82	22,2	24,6	6,53	20,4	22,7	7,06
IPE200	51,9	17,50	27,5	30,5	7,03	24,4	27,1	7,89	22,5	25,0	8,54
IPE220	67,0	19,25	29,8	33,1	8,38	26,4	29,3	9,40	24,4	27,1	10,17
IPE240	86,3	21,00	32,3	35,9	9,93	28,7	31,9	11,14	26,5	29,4	12,05
IPE270	113,7	23,63	35,0	38,9	12,09	31,1	34,5	13,57	28,7	31,8	14,68
IPE300	147,6	26,25	37,8	42,0	14,52	33,6	37,3	16,30	31,0	34,4	17,63
IPE330	188,9	28,00	41,4	46,0	16,97	36,8	40,9	19,04	33,9	37,7	20,60
IPE360	239,5	29,75	45,3	50,3	19,69	40,2	44,6	22,10	37,0	41,2	23,90
IPE400	307,2	31,50	49,8	55,3	22,95	44,2	49,1	25,75	40,8	45,3	27,85
IPE450	400,0	33,25	55,3	61,5	26,91	49,1	54,6	30,19	45,3	50,3	32,66
IPE500	515,6	35,00	61,2	68,0	31,34	54,3	60,4	35,17	50,1	55,7	38,04
IPE550	655,0	36,75	67,3	74,8	36,20	59,8	66,4	40,62	55,1	61,3	43,93
IPE600	825,3	38,50	73,9	82,1	41,59	65,6	72,8	46,67	60,5	67,2	50,48

Tableau (A.33). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	12,3	13,6	1,65	10,9	12,1	1,85	10,1	11,2	2,01
IPE100	9,3	11,00	14,6	16,3	2,35	13,0	14,4	2,64	12,0	13,3	2,86
IPE120	14,3	12,80	16,8	18,7	3,15	14,9	16,6	3,54	13,8	15,3	3,83
IPE140	20,8	14,60	19,0	21,1	4,06	16,9	18,8	4,56	15,6	17,3	4,93
IPE160	29,1	16,40	21,3	23,6	5,10	18,9	21,0	5,72	17,4	19,3	6,19
IPE180	39,0	18,20	23,4	25,9	6,22	20,7	23,0	6,98	19,1	21,2	7,55
IPE200	51,9	20,00	25,7	28,6	7,52	22,8	25,4	8,44	21,0	23,4	9,13
IPE220	67,0	22,00	27,8	30,9	8,96	24,7	27,5	10,05	22,8	25,3	10,87
IPE240	86,3	24,00	30,2	33,6	10,62	26,8	29,8	11,91	24,8	27,5	12,88
IPE270	113,7	27,00	32,7	36,4	12,93	29,1	32,3	14,51	26,8	29,8	15,69
IPE300	147,6	30,00	35,4	39,3	15,52	31,4	34,9	17,42	29,0	32,2	18,84
IPE330	188,9	32,00	38,8	43,1	18,14	34,4	38,2	20,36	31,7	35,3	22,02
IPE360	239,5	34,00	42,3	47,0	21,05	37,6	41,8	23,63	34,7	38,5	25,55
IPE400	307,2	36,00	46,6	51,8	24,53	41,4	46,0	27,53	38,1	42,4	29,78
IPE450	400,0	38,00	51,8	57,5	28,76	45,9	51,0	32,28	42,4	47,1	34,91
IPE500	515,6	40,00	57,3	63,6	33,51	50,8	56,5	37,60	46,9	52,1	40,67
IPE550	655,0	42,00	63,0	70,0	38,70	55,9	62,1	43,43	51,6	57,3	46,97
IPE600	825,3	44,00	69,1	76,8	44,46	61,3	68,1	49,90	56,6	62,8	53,96

Tableau (A.34). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	11,6	12,9	1,75	10,3	11,4	1,97	9,5	10,5	2,13
IPE100	9,3	12,38	13,8	15,3	2,50	12,2	13,6	2,80	11,3	12,6	3,03
IPE120	14,3	14,40	15,9	17,6	3,34	14,1	15,7	3,75	13,0	14,4	4,06
IPE140	20,8	16,43	17,9	19,9	4,31	15,9	17,7	4,83	14,7	16,3	5,23
IPE160	29,1	18,45	20,0	22,3	5,41	17,8	19,8	6,07	16,4	18,2	6,57
IPE180	39,0	20,48	22,0	24,5	6,59	19,5	21,7	7,40	18,0	20,0	8,00
IPE200	51,9	22,50	24,2	26,9	7,98	21,5	23,9	8,95	19,8	22,0	9,68
IPE220	67,0	24,75	26,2	29,2	9,50	23,3	25,9	10,66	21,5	23,9	11,53
IPE240	86,3	27,00	28,5	31,7	11,26	25,3	28,1	12,64	23,3	25,9	13,67
IPE270	113,7	30,38	30,9	34,3	13,71	27,4	30,4	15,39	25,3	28,1	16,64
IPE300	147,6	33,75	33,4	37,1	16,47	29,6	32,9	18,48	27,3	30,3	19,99
IPE330	188,9	36,00	36,5	40,6	19,24	32,4	36,0	21,59	29,9	33,2	23,35
IPE360	239,5	38,25	39,9	44,3	22,33	35,4	39,4	25,06	32,7	36,3	27,10
IPE400	307,2	40,50	43,9	48,8	26,02	39,0	43,3	29,20	36,0	40,0	31,58
IPE450	400,0	42,75	48,8	54,2	30,51	43,3	48,1	34,24	39,9	44,4	37,03
IPE500	515,6	45,00	54,0	60,0	35,54	47,9	53,3	39,88	44,2	49,1	43,13
IPE550	655,0	47,25	59,4	66,0	41,04	52,7	58,6	46,06	48,6	54,0	49,82
IPE600	825,3	49,50	65,1	72,4	47,16	57,8	64,2	52,92	53,3	59,2	57,24

Tableau (A.35). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,5	11,50	11,0	12,2	1,85	9,7	10,8	2,07	9,0	10,0	2,24
IPE100	9,3	13,75	13,1	14,5	2,63	11,6	12,9	2,95	10,7	11,9	3,20
IPE120	14,3	16,00	15,1	16,7	3,52	13,4	14,9	3,95	12,3	13,7	4,28
IPE140	20,8	18,25	17,0	18,9	4,54	15,1	16,8	5,10	13,9	15,5	5,51
IPE160	29,1	20,50	19,0	21,1	5,70	16,9	18,8	6,40	15,6	17,3	6,92
IPE180	39,0	22,75	20,9	23,2	6,95	18,5	20,6	7,80	17,1	19,0	8,44
IPE200	51,9	25,00	23,0	25,5	8,41	20,4	22,7	9,43	18,8	20,9	10,20
IPE220	67,0	27,50	24,9	27,7	10,01	22,1	24,6	11,24	20,4	22,6	12,15
IPE240	86,3	30,00	27,0	30,1	11,87	24,0	26,7	13,32	22,1	24,6	14,40
IPE270	113,7	33,75	29,3	32,5	14,46	26,0	28,9	16,22	24,0	26,6	17,54
IPE300	147,6	37,50	31,6	35,2	17,36	28,1	31,2	19,48	25,9	28,8	21,07
IPE330	188,9	40,00	34,7	38,5	20,28	30,8	34,2	22,76	28,4	31,5	24,62
IPE360	239,5	42,50	37,9	42,1	23,54	33,6	37,3	26,41	31,0	34,4	28,57
IPE400	307,2	45,00	41,7	46,3	27,43	37,0	41,1	30,78	34,1	37,9	33,29
IPE450	400,0	47,50	46,3	51,4	32,16	41,1	45,7	36,09	37,9	42,1	39,03
IPE500	515,6	50,00	51,2	56,9	37,46	45,5	50,5	42,04	41,9	46,6	45,47
IPE550	655,0	52,50	56,3	62,6	43,26	50,0	55,6	48,55	46,1	51,2	52,51
IPE600	825,3	55,00	61,8	68,7	49,71	54,8	60,9	55,78	50,6	56,2	60,33

b. Pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$

Tableau (A.36). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	15,8	1,14	12,6	14,0	1,28	11,6	12,9	1,39
IPE100	9,26	8,25	16,9	18,8	1,63	15,0	16,7	1,83	13,8	15,4	1,98
IPE120	14,26	9,60	19,4	21,6	2,18	17,3	19,2	2,45	15,9	17,7	2,65
IPE140	20,75	10,95	22,0	24,4	2,81	19,5	21,7	3,16	18,0	20,0	3,41
IPE160	29,14	12,30	24,6	27,3	3,53	21,8	24,2	3,97	20,1	22,3	4,29
IPE180	39,01	13,65	27,0	30,0	4,31	23,9	26,6	4,83	22,1	24,5	5,23
IPE200	51,94	15,00	29,7	33,0	5,21	26,3	29,3	5,85	24,3	27,0	6,32
IPE220	66,98	16,50	32,1	35,7	6,21	28,5	31,7	6,96	26,3	29,2	7,53
IPE240	86,25	18,00	34,9	38,8	7,35	31,0	34,4	8,25	28,6	31,8	8,93
IPE270	113,74	20,25	37,8	42,0	8,96	33,6	37,3	10,05	30,9	34,4	10,87
IPE300	147,58	22,50	40,9	45,4	10,76	36,3	40,3	12,07	33,4	37,2	13,05
IPE330	188,94	24,00	44,8	49,7	12,57	39,7	44,1	14,11	36,6	40,7	15,26
IPE360	239,47	25,50	48,9	54,3	14,59	43,4	48,2	16,37	40,0	44,5	17,70
IPE400	307,15	27,00	53,8	59,8	17,00	47,8	53,1	19,08	44,0	48,9	20,63
IPE450	399,97	28,50	59,8	66,4	19,93	53,0	58,9	22,36	48,9	54,4	24,19
IPE500	515,59	30,00	66,1	73,5	23,21	58,7	65,2	26,05	54,1	60,1	28,17
IPE550	654,95	31,50	72,7	80,8	26,81	64,6	71,7	30,09	59,5	66,2	32,54
IPE600	825,32	33,00	79,8	88,6	30,80	70,8	78,7	34,57	65,3	72,6	37,39

Tableau (A.37). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(N/mm^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	8,05	13,1	14,6	1,24	11,7	12,9	1,39	10,7	11,9	1,50
IPE100	9,3	9,63	15,6	17,4	1,76	13,9	15,4	1,98	12,8	14,2	2,14
IPE120	14,3	11,20	18,0	20,0	2,36	16,0	17,8	2,65	14,7	16,4	2,86
IPE140	20,8	12,78	20,3	22,6	3,04	18,0	20,1	3,41	16,6	18,5	3,69
IPE160	29,1	14,35	22,7	25,3	3,82	20,2	22,4	4,28	18,6	20,7	4,63
IPE180	39,0	15,93	25,0	27,7	4,65	22,2	24,6	5,22	20,4	22,7	5,65
IPE200	51,9	17,50	27,5	30,5	5,63	24,4	27,1	6,32	22,5	25,0	6,83
IPE220	67,0	19,25	29,8	33,1	6,70	26,4	29,3	7,52	24,4	27,1	8,13
IPE240	86,3	21,00	32,3	35,9	7,94	28,7	31,9	8,91	26,5	29,4	9,64
IPE270	113,7	23,63	35,0	38,9	9,68	31,1	34,5	10,86	28,7	31,8	11,74
IPE300	147,6	26,25	37,8	42,0	11,62	33,6	37,3	13,04	31,0	34,4	14,10
IPE330	188,9	28,00	41,4	46,0	13,58	36,8	40,9	15,24	33,9	37,7	16,48
IPE360	239,5	29,75	45,3	50,3	15,75	40,2	44,6	17,68	37,0	41,2	19,12
IPE400	307,2	31,50	49,8	55,3	18,36	44,2	49,1	20,60	40,8	45,3	22,28
IPE450	400,0	33,25	55,3	61,5	21,52	49,1	54,6	24,16	45,3	50,3	26,13
IPE500	515,6	35,00	61,2	68,0	25,07	54,3	60,4	28,14	50,1	55,7	30,43
IPE550	655,0	36,75	67,3	74,8	28,96	59,8	66,4	32,50	55,1	61,3	35,15
IPE600	825,3	38,50	73,9	82,1	33,27	65,6	72,8	37,34	60,5	67,2	40,38

Tableau (A.38). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(N/mm^2)$			25			32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	9,20	12,3	13,6	1,32	10,9	12,1	1,48	10,1	11,2	1,60
IPE100	9,3	11,00	14,6	16,3	1,88	13,0	14,4	2,11	12,0	13,3	2,29
IPE120	14,3	12,80	16,8	18,7	2,52	14,9	16,6	2,83	13,8	15,3	3,06
IPE140	20,8	14,60	19,0	21,1	3,25	16,9	18,8	3,65	15,6	17,3	3,94
IPE160	29,1	16,40	21,3	23,6	4,08	18,9	21,0	4,58	17,4	19,3	4,95
IPE180	39,0	18,20	23,4	25,9	4,97	20,7	23,0	5,58	19,1	21,2	6,04
IPE200	51,9	20,00	25,7	28,6	6,02	22,8	25,4	6,75	21,0	23,4	7,30
IPE220	67,0	22,00	27,8	30,9	7,16	24,7	27,5	8,04	22,8	25,3	8,70
IPE240	86,3	24,00	30,2	33,6	8,49	26,8	29,8	9,53	24,8	27,5	10,31
IPE270	113,7	27,00	32,7	36,4	10,34	29,1	32,3	11,61	26,8	29,8	12,55
IPE300	147,6	30,00	35,4	39,3	12,42	31,4	34,9	13,94	29,0	32,2	15,07
IPE330	188,9	32,00	38,8	43,1	14,51	34,4	38,2	16,29	31,7	35,3	17,62
IPE360	239,5	34,00	42,3	47,0	16,84	37,6	41,8	18,90	34,7	38,5	20,44
IPE400	307,2	36,00	46,6	51,8	19,63	41,4	46,0	22,03	38,1	42,4	23,82
IPE450	400,0	38,00	51,8	57,5	23,01	45,9	51,0	25,82	42,4	47,1	27,93
IPE500	515,6	40,00	57,3	63,6	26,80	50,8	56,5	30,08	46,9	52,1	32,53
IPE550	655,0	42,00	63,0	70,0	30,96	55,9	62,1	34,74	51,6	57,3	37,57
IPE600	825,3	44,00	69,1	76,8	35,57	61,3	68,1	39,92	56,6	62,8	43,17

Tableau (A.39). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	10,35	11,6	12,9	1,40	10,3	11,4	1,57	9,5	10,5	1,70
IPE100	9,3	12,38	13,8	15,3	2,00	12,2	13,6	2,24	11,3	12,6	2,43
IPE120	14,3	14,40	15,9	17,6	2,67	14,1	15,7	3,00	13,0	14,4	3,25
IPE140	20,8	16,43	17,9	19,9	3,45	15,9	17,7	3,87	14,7	16,3	4,18
IPE160	29,1	18,45	20,0	22,3	4,33	17,8	19,8	4,86	16,4	18,2	5,25
IPE180	39,0	20,48	22,0	24,5	5,28	19,5	21,7	5,92	18,0	20,0	6,40
IPE200	51,9	22,50	24,2	26,9	6,38	21,5	23,9	7,16	19,8	22,0	7,74
IPE220	67,0	24,75	26,2	29,2	7,60	23,3	25,9	8,53	21,5	23,9	9,22
IPE240	86,3	27,00	28,5	31,7	9,01	25,3	28,1	10,11	23,3	25,9	10,93
IPE270	113,7	30,38	30,9	34,3	10,97	27,4	30,4	12,31	25,3	28,1	13,32
IPE300	147,6	33,75	33,4	37,1	13,17	29,6	32,9	14,78	27,3	30,3	15,99
IPE330	188,9	36,00	36,5	40,6	15,39	32,4	36,0	17,28	29,9	33,2	18,68
IPE360	239,5	38,25	39,9	44,3	17,86	35,4	39,4	20,05	32,7	36,3	21,68
IPE400	307,2	40,50	43,9	48,8	20,82	39,0	43,3	23,36	36,0	40,0	25,27
IPE450	400,0	42,75	48,8	54,2	24,41	43,3	48,1	27,39	39,9	44,4	29,62
IPE500	515,6	45,00	54,0	60,0	28,43	47,9	53,3	31,91	44,2	49,1	34,51
IPE550	655,0	47,25	59,4	66,0	32,83	52,7	58,6	36,85	48,6	54,0	39,85
IPE600	825,3	49,50	65,1	72,4	37,73	57,8	64,2	42,34	53,3	59,2	45,79

Tableau (A.40). Détermination de sections rectangulaires en BDS simplement armées équivalentes pour $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

$f_{cu}(\text{N/mm}^2)$		25				32			38		
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)	dc (cm)	hc (cm)	As (cm ²)
IPE80	5,5	11,50	11,0	12,2	1,48	9,7	10,8	1,66	9,0	10,0	1,79
IPE100	9,3	13,75	13,1	14,5	2,11	11,6	12,9	2,36	10,7	11,9	2,56
IPE120	14,3	16,00	15,1	16,7	2,82	13,4	14,9	3,16	12,3	13,7	3,42
IPE140	20,8	18,25	17,0	18,9	3,63	15,1	16,8	4,08	13,9	15,5	4,41
IPE160	29,1	20,50	19,0	21,1	4,56	16,9	18,8	5,12	15,6	17,3	5,54
IPE180	39,0	22,75	20,9	23,2	5,56	18,5	20,6	6,24	17,1	19,0	6,75
IPE200	51,9	25,00	23,0	25,5	6,73	20,4	22,7	7,55	18,8	20,9	8,16
IPE220	67,0	27,50	24,9	27,7	8,01	22,1	24,6	8,99	20,4	22,6	9,72
IPE240	86,3	30,00	27,0	30,1	9,49	24,0	26,7	10,65	22,1	24,6	11,52
IPE270	113,7	33,75	29,3	32,5	11,56	26,0	28,9	12,98	24,0	26,6	14,04
IPE300	147,6	37,50	31,6	35,2	13,89	28,1	31,2	15,58	25,9	28,8	16,85
IPE330	188,9	40,00	34,7	38,5	16,23	30,8	34,2	18,21	28,4	31,5	19,69
IPE360	239,5	42,50	37,9	42,1	18,83	33,6	37,3	21,13	31,0	34,4	22,85
IPE400	307,2	45,00	41,7	46,3	21,94	37,0	41,1	24,63	34,1	37,9	26,63
IPE450	400,0	47,50	46,3	51,4	25,73	41,1	45,7	28,87	37,9	42,1	31,23
IPE500	515,6	50,00	51,2	56,9	29,97	45,5	50,5	33,63	41,9	46,6	36,37
IPE550	655,0	52,50	56,3	62,6	34,61	50,0	55,6	38,84	46,1	51,2	42,01
IPE600	825,3	55,00	61,8	68,7	39,77	54,8	60,9	44,63	50,6	56,2	48,27

A.3 Sections doublement armées

A.3.1 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par l'Eurocod2

(i) Pour béton ordinaire

a. Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.41). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.								
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	15,3	13,8	4,41	15,3	0,24	1,37
IPE100	9,26	8,25	18,3	16,4	7,50	18,3	0,34	1,95
IPE120	14,26	9,60	21,0	18,9	11,55	21,0	0,46	2,62
IPE140	20,75	10,95	23,7	21,4	16,81	23,7	0,59	3,37
IPE160	29,14	12,30	26,6	23,9	23,60	26,6	0,74	4,23
IPE180	39,01	13,65	29,2	26,2	31,60	29,2	0,90	5,16
IPE200	51,94	15,00	32,1	28,9	42,07	32,1	1,09	6,24
IPE220	66,98	16,50	34,8	31,3	54,25	34,8	1,30	7,43
IPE240	86,25	18,00	37,8	34,0	69,86	37,8	1,54	8,81
IPE270	113,74	20,25	40,9	36,8	92,13	40,9	1,88	10,73
IPE300	147,58	22,50	44,2	39,8	119,54	44,2	2,25	12,88
IPE330	188,94	24,00	48,4	43,6	153,04	48,4	2,63	15,05
IPE360	239,47	25,50	52,9	47,6	193,97	52,9	3,05	17,47
IPE400	307,15	27,00	58,2	52,4	248,79	58,2	3,56	20,36
IPE450	399,97	28,50	64,6	58,2	323,98	64,6	4,17	23,87
IPE500	515,59	30,00	71,5	64,4	417,63	71,5	4,86	27,80
IPE550	654,95	31,50	78,7	70,8	530,51	78,7	5,61	32,11
IPE600	825,32	33,00	86,3	77,6	668,51	86,3	6,45	36,89

Tableau (A.42). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	13,7	12,3	4,41	13,7	0,27	1,53
IPE100	9,26	8,25	16,3	14,7	7,50	16,3	0,38	2,18
IPE120	14,26	9,60	18,8	16,9	11,55	18,8	0,51	2,92
IPE140	20,75	10,95	21,2	19,1	16,81	21,2	0,66	3,77
IPE160	29,14	12,30	23,8	21,4	23,60	23,8	0,83	4,73
IPE180	39,01	13,65	26,1	23,5	31,60	26,1	1,01	5,77
IPE200	51,94	15,00	28,7	25,8	42,07	28,7	1,22	6,98
IPE220	66,98	16,50	31,1	28,0	54,25	31,1	1,45	8,31
IPE240	86,25	18,00	33,8	30,4	69,86	33,8	1,72	9,85
IPE270	113,74	20,25	36,6	32,9	92,13	36,6	2,10	11,99
IPE300	147,58	22,50	39,5	35,6	119,54	39,5	2,52	14,40
IPE330	188,94	24,00	43,3	39,0	153,04	43,3	2,94	16,83
IPE360	239,47	25,50	47,3	42,6	193,97	47,3	3,41	19,53
IPE400	307,15	27,00	52,0	46,8	248,79	52,0	3,98	22,76
IPE450	399,97	28,50	57,8	52,0	323,98	57,8	4,66	26,68
IPE500	515,59	30,00	64,0	57,6	417,63	64,0	5,43	31,08
IPE550	654,95	31,50	70,4	63,3	530,51	70,4	6,27	35,90
IPE600	825,32	33,00	77,2	69,4	668,51	77,2	7,21	41,25

Tableau (A.43). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	12,5	11,3	4,41	12,5	0,29	1,68
IPE100	9,26	8,25	14,9	13,4	7,50	14,9	0,42	2,39
IPE120	14,26	9,60	17,2	15,5	11,55	17,2	0,56	3,20
IPE140	20,75	10,95	19,4	17,5	16,81	19,4	0,72	4,13
IPE160	29,14	12,30	21,7	19,5	23,60	21,7	0,91	5,18
IPE180	39,01	13,65	23,8	21,4	31,60	23,8	1,10	6,32
IPE200	51,94	15,00	26,2	23,6	42,07	26,2	1,34	7,64
IPE220	66,98	16,50	28,4	25,5	54,25	28,4	1,59	9,10
IPE240	86,25	18,00	30,8	27,8	69,86	30,8	1,89	10,79
IPE270	113,74	20,25	33,4	30,0	92,13	33,4	2,30	13,14
IPE300	147,58	22,50	36,1	32,5	119,54	36,1	2,76	15,78
IPE330	188,94	24,00	39,5	35,6	153,04	39,5	3,22	18,44
IPE360	239,47	25,50	43,2	38,8	193,97	43,2	3,74	21,39
IPE400	307,15	27,00	47,5	42,8	248,79	47,5	4,36	24,93
IPE450	399,97	28,50	52,8	47,5	323,98	52,8	5,11	29,23
IPE500	515,59	30,00	58,4	52,6	417,63	58,4	5,95	34,05
IPE550	654,95	31,50	64,2	57,8	530,51	64,2	6,87	39,32
IPE600	825,32	33,00	70,4	63,4	668,51	70,4	7,90	45,18

Tableau (A.44). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	14,2	12,8	4,41	14,2	0,26	1,48
IPE100	9,26	9,63	16,9	15,2	7,50	16,9	0,37	2,11
IPE120	14,26	11,20	19,5	17,5	11,55	19,5	0,49	2,83
IPE140	20,75	12,78	22,0	19,8	16,81	22,0	0,64	3,64
IPE160	29,14	14,35	24,6	22,1	23,60	24,6	0,80	4,57
IPE180	39,01	15,93	27,0	24,3	31,60	27,0	0,97	5,57
IPE200	51,94	17,50	29,7	26,7	42,07	29,7	1,18	6,74
IPE220	66,98	19,25	32,2	29,0	54,25	32,2	1,40	8,03
IPE240	86,25	21,00	35,0	31,5	69,86	35,0	1,66	9,51
IPE270	113,74	23,63	37,9	34,1	92,13	37,9	2,03	11,59
IPE300	147,58	26,25	40,9	36,8	119,54	40,9	2,43	13,91
IPE330	188,94	28,00	44,8	40,3	153,04	44,8	2,84	16,26
IPE360	239,47	29,75	48,9	44,1	193,97	48,9	3,30	18,87
IPE400	307,15	31,50	53,9	48,5	248,79	53,9	3,84	21,99
IPE450	399,97	33,25	59,8	53,9	323,98	59,8	4,51	25,78
IPE500	515,59	35,00	66,2	59,6	417,63	66,2	5,25	30,03
IPE550	654,95	36,75	72,8	65,5	530,51	72,8	6,06	34,68
IPE600	825,32	38,50	79,9	71,9	668,51	79,9	6,96	39,85

Tableau (A.45). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	12,7	11,4	4,41	12,7	0,29	1,66
IPE100	9,26	9,63	15,1	13,6	7,50	15,1	0,41	2,36
IPE120	14,26	11,20	17,4	15,7	11,55	17,4	0,55	3,16
IPE140	20,75	12,78	19,7	17,7	16,81	19,7	0,71	4,07
IPE160	29,14	14,35	22,0	19,8	23,60	22,0	0,89	5,11
IPE180	39,01	15,93	24,2	21,7	31,60	24,2	1,09	6,23
IPE200	51,94	17,50	26,6	23,9	42,07	26,6	1,32	7,54
IPE220	66,98	19,25	28,8	25,9	54,25	28,8	1,57	8,97
IPE240	86,25	21,00	31,3	28,1	69,86	31,3	1,86	10,64
IPE270	113,74	23,63	33,9	30,5	92,13	33,9	2,26	12,96
IPE300	147,58	26,25	36,6	32,9	119,54	36,6	2,72	15,56
IPE330	188,94	28,00	40,1	36,1	153,04	40,1	3,18	18,18
IPE360	239,47	29,75	43,8	39,4	193,97	43,8	3,69	21,10
IPE400	307,15	31,50	48,2	43,4	248,79	48,2	4,30	24,58
IPE450	399,97	33,25	53,5	48,2	323,98	53,5	5,04	28,82
IPE500	515,59	35,00	59,2	53,3	417,63	59,2	5,87	33,57
IPE550	654,95	36,75	65,1	58,6	530,51	65,1	6,78	38,77
IPE600	825,32	38,50	71,4	64,3	668,51	71,4	7,79	44,55

Tableau (A.46). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,6	10,4	4,41	11,6	0,32	1,81
IPE100	9,26	9,63	13,8	12,4	7,50	13,8	0,45	2,58
IPE120	14,26	11,20	15,9	14,3	11,55	15,9	0,60	3,46
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,81	18,0	0,78	4,46
IPE160	29,14	14,35	20,1	18,1	23,60	20,1	0,98	5,60
IPE180	39,01	15,93	22,0	19,8	31,60	22,0	1,19	6,82
IPE200	51,94	17,50	24,3	21,8	42,07	24,3	1,44	8,25
IPE220	66,98	19,25	26,3	23,6	54,25	26,3	1,72	9,83
IPE240	86,25	21,00	28,5	25,7	69,86	28,5	2,04	11,65
IPE270	113,74	23,63	30,9	27,8	92,13	30,9	2,48	14,19
IPE300	147,58	26,25	33,4	30,1	119,54	33,4	2,98	17,04
IPE330	188,94	28,00	36,6	32,9	153,04	36,6	3,48	19,91
IPE360	239,47	29,75	40,0	36,0	193,97	40,0	4,04	23,11
IPE400	307,15	31,50	44,0	39,6	248,79	44,0	4,71	26,93
IPE450	399,97	33,25	48,9	44,0	323,98	48,9	5,52	31,57
IPE500	515,59	35,00	54,1	48,7	417,63	54,1	6,43	36,78
IPE550	654,95	36,75	59,5	53,5	530,51	59,5	7,42	42,48
IPE600	825,32	38,50	65,2	58,7	668,51	65,2	8,53	48,80

Tableau (A.47). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	13,3	12,0	4,41	13,3	0,28	1,58
IPE100	9,26	11,00	15,8	14,2	7,50	15,8	0,39	2,26
IPE120	14,26	12,80	18,2	16,4	11,55	18,2	0,53	3,02
IPE140	20,75	14,60	20,6	18,5	16,81	20,6	0,68	3,89
IPE160	29,14	16,40	23,0	20,7	23,60	23,0	0,85	4,89
IPE180	39,01	18,20	25,3	22,7	31,60	25,3	1,04	5,96
IPE200	51,94	20,00	27,8	25,0	42,07	27,8	1,26	7,20
IPE220	66,98	22,00	30,1	27,1	54,25	30,1	1,50	8,58
IPE240	86,25	24,00	32,7	29,4	69,86	32,7	1,78	10,17
IPE270	113,74	27,00	35,4	31,9	92,13	35,4	2,17	12,39
IPE300	147,58	30,00	38,3	34,4	119,54	38,3	2,60	14,87
IPE330	188,94	32,00	41,9	37,7	153,04	41,9	3,04	17,38
IPE360	239,47	34,00	45,8	41,2	193,97	45,8	3,53	20,17
IPE400	307,15	36,00	50,4	45,4	248,79	50,4	4,11	23,51
IPE450	399,97	38,00	56,0	50,4	323,98	56,0	4,82	27,56
IPE500	515,59	40,00	61,9	55,7	417,63	61,9	5,61	32,10
IPE550	654,95	42,00	68,1	61,3	530,51	68,1	6,48	37,08
IPE600	825,32	44,00	74,7	67,2	668,51	74,7	7,45	42,60

Tableau (A.48). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	9,20	11,9	10,7	4,41	11,9	0,31	1,77
IPE100	9,26	11,00	14,2	12,7	7,50	14,2	0,44	2,52
IPE120	14,26	12,80	16,3	14,7	11,55	16,3	0,59	3,38
IPE140	20,75	14,60	18,4	16,6	16,81	18,4	0,76	4,35
IPE160	29,14	16,40	20,6	18,5	23,60	20,6	0,95	5,46
IPE180	39,01	18,20	22,6	20,3	31,60	22,6	1,16	6,66
IPE200	51,94	20,00	24,9	22,4	42,07	24,9	1,41	8,06
IPE220	66,98	22,00	26,9	24,2	54,25	26,9	1,68	9,59
IPE240	86,25	24,00	29,3	26,3	69,86	29,3	1,99	11,37
IPE270	113,74	27,00	31,7	28,5	92,13	31,7	2,42	13,85
IPE300	147,58	30,00	34,2	30,8	119,54	34,2	2,91	16,63
IPE330	188,94	32,00	37,5	33,7	153,04	37,5	3,40	19,43
IPE360	239,47	34,00	41,0	36,9	193,97	41,0	3,94	22,55
IPE400	307,15	36,00	45,1	40,6	248,79	45,1	4,59	26,28
IPE450	399,97	38,00	50,1	45,1	323,98	50,1	5,39	30,81
IPE500	515,59	40,00	55,4	49,9	417,63	55,4	6,27	35,89
IPE550	654,95	42,00	60,9	54,8	530,51	60,9	7,25	41,45
IPE600	825,32	44,00	66,8	60,1	668,51	66,8	8,32	47,63

Tableau (A.49). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	9,20	10,8	9,8	4,41	10,8	0,34	1,94
IPE100	9,26	11,00	12,9	11,6	7,50	12,9	0,48	2,76
IPE120	14,26	12,80	14,9	13,4	11,55	14,9	0,65	3,70
IPE140	20,75	14,60	16,8	15,1	16,81	16,8	0,83	4,77
IPE160	29,14	16,40	18,8	16,9	23,60	18,8	1,05	5,99
IPE180	39,01	18,20	20,6	18,6	31,60	20,6	1,28	7,30
IPE200	51,94	20,00	22,7	20,4	42,07	22,7	1,54	8,82
IPE220	66,98	22,00	24,6	22,1	54,25	24,6	1,84	10,51
IPE240	86,25	24,00	26,7	24,0	69,86	26,7	2,18	12,46
IPE270	113,74	27,00	28,9	26,0	92,13	28,9	2,65	15,17
IPE300	147,58	30,00	31,2	28,1	119,54	31,2	3,18	18,22
IPE330	188,94	32,00	34,2	30,8	153,04	34,2	3,72	21,29
IPE360	239,47	34,00	37,4	33,6	193,97	37,4	4,32	24,70
IPE400	307,15	36,00	41,1	37,0	248,79	41,1	5,03	28,79
IPE450	399,97	38,00	45,7	41,1	323,98	45,7	5,90	33,75
IPE500	515,59	40,00	50,6	45,5	417,63	50,6	6,87	39,32
IPE550	654,95	42,00	55,6	50,1	530,51	55,6	7,94	45,41
IPE600	825,32	44,00	61,0	54,9	668,51	61,0	9,12	52,17

Tableau (A.50). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	12,5	11,3	4,41	12,5	0,29	1,68
IPE100	9,26	12,38	14,9	13,4	7,50	14,9	0,42	2,39
IPE120	14,26	14,40	17,2	15,5	11,55	17,2	0,56	3,20
IPE140	20,75	16,43	19,4	17,5	16,81	19,4	0,72	4,13
IPE160	29,14	18,45	21,7	19,5	23,60	21,7	0,91	5,18
IPE180	39,01	20,48	23,8	21,4	31,60	23,8	1,10	6,32
IPE200	51,94	22,50	26,2	23,6	42,07	26,2	1,34	7,64
IPE220	66,98	24,75	28,4	25,5	54,25	28,4	1,59	9,10
IPE240	86,25	27,00	30,8	27,8	69,86	30,8	1,89	10,79
IPE270	113,74	30,38	33,4	30,0	92,13	33,4	2,30	13,14
IPE300	147,58	33,75	36,1	32,5	119,54	36,1	2,76	15,78
IPE330	188,94	36,00	39,5	35,6	153,04	39,5	3,22	18,44
IPE360	239,47	38,25	43,2	38,8	193,97	43,2	3,74	21,39
IPE400	307,15	40,50	47,5	42,8	248,79	47,5	4,36	24,93
IPE450	399,97	42,75	52,8	47,5	323,98	52,8	5,11	29,23
IPE500	515,59	45,00	58,4	52,6	417,63	58,4	5,95	34,05
IPE550	654,95	47,25	64,2	57,8	530,51	64,2	6,87	39,32
IPE600	825,32	49,50	70,4	63,4	668,51	70,4	7,90	45,18

Tableau (A.51). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,2	10,1	4,41	11,2	0,33	1,88
IPE100	9,26	12,38	13,3	12,0	7,50	13,3	0,47	2,68
IPE120	14,26	14,40	15,4	13,8	11,55	15,4	0,63	3,58
IPE140	20,75	16,43	17,3	15,6	16,81	17,3	0,81	4,61
IPE160	29,14	18,45	19,4	17,5	23,60	19,4	1,01	5,80
IPE180	39,01	20,48	21,3	19,2	31,60	21,3	1,23	7,06
IPE200	51,94	22,50	23,4	21,1	42,07	23,4	1,49	8,54
IPE220	66,98	24,75	25,4	22,8	54,25	25,4	1,78	10,18
IPE240	86,25	27,00	27,6	24,8	69,86	27,6	2,11	12,06
IPE270	113,74	30,38	29,9	26,9	92,13	29,9	2,57	14,69
IPE300	147,58	33,75	32,3	29,0	119,54	32,3	3,08	17,64
IPE330	188,94	36,00	35,3	31,8	153,04	35,3	3,60	20,61
IPE360	239,47	38,25	38,6	34,7	193,97	38,6	4,18	23,92
IPE400	307,15	40,50	42,5	38,2	248,79	42,5	4,87	27,88
IPE450	399,97	42,75	47,2	42,5	323,98	47,2	5,71	32,68
IPE500	515,59	45,00	52,2	47,0	417,63	52,2	6,65	38,07
IPE550	654,95	47,25	57,4	51,7	530,51	57,4	7,68	43,97
IPE600	825,32	49,50	63,0	56,7	668,51	63,0	8,83	50,52

Tableau (A.52). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,2	9,2	4,41	10,2	0,36	2,06
IPE100	9,26	12,38	12,2	11,0	7,50	12,2	0,51	2,93
IPE120	14,26	14,40	14,0	12,6	11,55	14,0	0,69	3,92
IPE140	20,75	16,43	15,8	14,2	16,81	15,8	0,88	5,05
IPE160	29,14	18,45	17,7	15,9	23,60	17,7	1,11	6,35
IPE180	39,01	20,48	19,4	17,5	31,60	19,4	1,35	7,74
IPE200	51,94	22,50	21,4	19,3	42,07	21,4	1,64	9,36
IPE220	66,98	24,75	23,2	20,9	54,25	23,2	1,95	11,15
IPE240	86,25	27,00	25,2	22,7	69,86	25,2	2,31	13,21
IPE270	113,74	30,38	27,3	24,5	92,13	27,3	2,81	16,09
IPE300	147,58	33,75	29,5	26,5	119,54	29,5	3,38	19,32
IPE330	188,94	36,00	32,3	29,0	153,04	32,3	3,95	22,58
IPE360	239,47	38,25	35,2	31,7	193,97	35,2	4,58	26,20
IPE400	307,15	40,50	38,8	34,9	248,79	38,8	5,34	30,54
IPE450	399,97	42,75	43,1	38,8	323,98	43,1	6,26	35,80
IPE500	515,59	45,00	47,7	42,9	417,63	47,7	7,29	41,70
IPE550	654,95	47,25	52,4	47,2	530,51	52,4	8,42	48,16
IPE600	825,32	49,50	57,5	51,8	668,51	57,5	9,67	55,34

Tableau (A.53). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	11,9	10,7	4,41	11,9	0,31	1,77
IPE100	9,26	13,75	14,2	12,7	7,50	14,2	0,44	2,52
IPE120	14,26	16,00	16,3	14,7	11,55	16,3	0,59	3,38
IPE140	20,75	18,25	18,4	16,6	16,81	18,4	0,76	4,35
IPE160	29,14	20,50	20,6	18,5	23,60	20,6	0,95	5,46
IPE180	39,01	22,75	22,6	20,3	31,60	22,6	1,16	6,66
IPE200	51,94	25,00	24,9	22,4	42,07	24,9	1,41	8,06
IPE220	66,98	27,50	26,9	24,2	54,25	26,9	1,68	9,59
IPE240	86,25	30,00	29,3	26,3	69,86	29,3	1,99	11,37
IPE270	113,74	33,75	31,7	28,5	92,13	31,7	2,42	13,85
IPE300	147,58	37,50	34,2	30,8	119,54	34,2	2,91	16,63
IPE330	188,94	40,00	37,5	33,7	153,04	37,5	3,40	19,43
IPE360	239,47	42,50	41,0	36,9	193,97	41,0	3,94	22,55
IPE400	307,15	45,00	45,1	40,6	248,79	45,1	4,59	26,28
IPE450	399,97	47,50	50,1	45,1	323,98	50,1	5,39	30,81
IPE500	515,59	50,00	55,4	49,9	417,63	55,4	6,27	35,89
IPE550	654,95	52,50	60,9	54,8	530,51	60,9	7,25	41,45
IPE600	825,32	55,00	66,8	60,1	668,51	66,8	8,32	47,63

Tableau (A.54). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	10,6	9,6	4,41	10,6	0,35	1,98
IPE100	9,26	13,75	12,7	11,4	7,50	12,7	0,49	2,82
IPE120	14,26	16,00	14,6	13,1	11,55	14,6	0,66	3,78
IPE140	20,75	18,25	16,5	14,8	16,81	16,5	0,85	4,86
IPE160	29,14	20,50	18,4	16,6	23,60	18,4	1,07	6,11
IPE180	39,01	22,75	20,2	18,2	31,60	20,2	1,30	7,45
IPE200	51,94	25,00	22,2	20,0	42,07	22,2	1,57	9,01
IPE220	66,98	27,50	24,1	21,7	54,25	24,1	1,87	10,73
IPE240	86,25	30,00	26,2	23,5	69,86	26,2	2,22	12,71
IPE270	113,74	33,75	28,3	25,5	92,13	28,3	2,71	15,49
IPE300	147,58	37,50	30,6	27,5	119,54	30,6	3,25	18,59
IPE330	188,94	40,00	33,5	30,2	153,04	33,5	3,80	21,73
IPE360	239,47	42,50	36,6	33,0	193,97	36,6	4,41	25,21
IPE400	307,15	45,00	40,3	36,3	248,79	40,3	5,14	29,38
IPE450	399,97	47,50	44,8	40,3	323,98	44,8	6,02	34,45
IPE500	515,59	50,00	49,5	44,6	417,63	49,5	7,01	40,13
IPE550	654,95	52,50	54,5	49,1	530,51	54,5	8,10	46,34
IPE600	825,32	55,00	59,8	53,8	668,51	59,8	9,31	53,25

Tableau (A.55). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,7	8,7	4,41	9,7	0,38	2,17
IPE100	9,26	13,75	11,6	10,4	7,50	11,6	0,54	3,09
IPE120	14,26	16,00	13,3	12,0	11,55	13,3	0,72	4,14
IPE140	20,75	18,25	15,0	13,5	16,81	15,0	0,93	5,33
IPE160	29,14	20,50	16,8	15,1	23,60	16,8	1,17	6,69
IPE180	39,01	22,75	18,4	16,6	31,60	18,4	1,43	8,16
IPE200	51,94	25,00	20,3	18,3	42,07	20,3	1,72	9,87
IPE220	66,98	27,50	22,0	19,8	54,25	22,0	2,05	11,75
IPE240	86,25	30,00	23,9	21,5	69,86	23,9	2,43	13,93
IPE270	113,74	33,75	25,9	23,3	92,13	25,9	2,96	16,96
IPE300	147,58	37,50	27,9	25,1	119,54	27,9	3,56	20,37
IPE330	188,94	40,00	30,6	27,6	153,04	30,6	4,16	23,80
IPE360	239,47	42,50	33,4	30,1	193,97	33,4	4,83	27,62
IPE400	307,15	45,00	36,8	33,1	248,79	36,8	5,63	32,19
IPE450	399,97	47,50	40,9	36,8	323,98	40,9	6,60	37,74
IPE500	515,59	50,00	45,2	40,7	417,63	45,2	7,68	43,96
IPE550	654,95	52,50	49,8	44,8	530,51	49,8	8,87	50,77
IPE600	825,32	55,00	54,6	49,1	668,51	54,6	10,20	58,33

b. Pour $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.56). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	15,3	13,8	4,41	15,3	0,19	1,10
IPE100	9,26	8,25	18,3	16,4	7,50	18,3	0,27	1,56
IPE120	14,26	9,60	21,0	18,9	11,55	21,0	0,37	2,09
IPE140	20,75	10,95	23,7	21,4	16,81	23,7	0,47	2,70
IPE160	29,14	12,30	26,6	23,9	23,60	26,6	0,59	3,39
IPE180	39,01	13,65	29,2	26,2	31,60	29,2	0,72	4,13
IPE200	51,94	15,00	32,1	28,9	42,07	32,1	0,87	4,99
IPE220	66,98	16,50	34,8	31,3	54,25	34,8	1,04	5,95
IPE240	86,25	18,00	37,8	34,0	69,86	37,8	1,23	7,05
IPE270	113,74	20,25	40,9	36,8	92,13	40,9	1,50	8,58
IPE300	147,58	22,50	44,2	39,8	119,54	44,2	1,80	10,31
IPE330	188,94	24,00	48,4	43,6	153,04	48,4	2,10	12,04
IPE360	239,47	25,50	52,9	47,6	193,97	52,9	2,44	13,97
IPE400	307,15	27,00	58,2	52,4	248,79	58,2	2,85	16,29
IPE450	399,97	28,50	64,6	58,2	323,98	64,6	3,34	19,09
IPE500	515,59	30,00	71,5	64,4	417,63	71,5	3,89	22,24
IPE550	654,95	31,50	78,7	70,8	530,51	78,7	4,49	25,69
IPE600	825,32	33,00	86,3	77,6	668,51	86,3	5,16	29,51

Tableau (A.57). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	13,7	12,3	4,41	13,7	0,21	1,23
IPE100	9,26	8,25	16,3	14,7	7,50	16,3	0,31	1,75
IPE120	14,26	9,60	18,8	16,9	11,55	18,8	0,41	2,34
IPE140	20,75	10,95	21,2	19,1	16,81	21,2	0,53	3,01
IPE160	29,14	12,30	23,8	21,4	23,60	23,8	0,66	3,79
IPE180	39,01	13,65	26,1	23,5	31,60	26,1	0,81	4,61
IPE200	51,94	15,00	28,7	25,8	42,07	28,7	0,98	5,58
IPE220	66,98	16,50	31,1	28,0	54,25	31,1	1,16	6,65
IPE240	86,25	18,00	33,8	30,4	69,86	33,8	1,38	7,88
IPE270	113,74	20,25	36,6	32,9	92,13	36,6	1,68	9,60
IPE300	147,58	22,50	39,5	35,6	119,54	39,5	2,01	11,52
IPE330	188,94	24,00	43,3	39,0	153,04	43,3	2,35	13,46
IPE360	239,47	25,50	47,3	42,6	193,97	47,3	2,73	15,62
IPE400	307,15	27,00	52,0	46,8	248,79	52,0	3,18	18,21
IPE450	399,97	28,50	57,8	52,0	323,98	57,8	3,73	21,35
IPE500	515,59	30,00	64,0	57,6	417,63	64,0	4,35	24,87
IPE550	654,95	31,50	70,4	63,3	530,51	70,4	5,02	28,72
IPE600	825,32	33,00	77,2	69,4	668,51	77,2	5,77	33,00

Tableau (A.58). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	12,5	11,3	4,41	12,5	0,23	1,34
IPE100	9,26	8,25	14,9	13,4	7,50	14,9	0,33	1,91
IPE120	14,26	9,60	17,2	15,5	11,55	17,2	0,45	2,56
IPE140	20,75	10,95	19,4	17,5	16,81	19,4	0,58	3,30
IPE160	29,14	12,30	21,7	19,5	23,60	21,7	0,72	4,15
IPE180	39,01	13,65	23,8	21,4	31,60	23,8	0,88	5,05
IPE200	51,94	15,00	26,2	23,6	42,07	26,2	1,07	6,11
IPE220	66,98	16,50	28,4	25,5	54,25	28,4	1,27	7,28
IPE240	86,25	18,00	30,8	27,8	69,86	30,8	1,51	8,63
IPE270	113,74	20,25	33,4	30,0	92,13	33,4	1,84	10,51
IPE300	147,58	22,50	36,1	32,5	119,54	36,1	2,21	12,62
IPE330	188,94	24,00	39,5	35,6	153,04	39,5	2,58	14,75
IPE360	239,47	25,50	43,2	38,8	193,97	43,2	2,99	17,12
IPE400	307,15	27,00	47,5	42,8	248,79	47,5	3,49	19,95
IPE450	399,97	28,50	52,8	47,5	323,98	52,8	4,09	23,38
IPE500	515,59	30,00	58,4	52,6	417,63	58,4	4,76	27,24
IPE550	654,95	31,50	64,2	57,8	530,51	64,2	5,50	31,46
IPE600	825,32	33,00	70,4	63,4	668,51	70,4	6,32	36,15

Tableau (A.59). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	14,2	12,8	4,41	14,2	0,21	1,18
IPE100	9,26	9,63	16,9	15,2	7,50	16,9	0,30	1,69
IPE120	14,26	11,20	19,5	17,5	11,55	19,5	0,40	2,26
IPE140	20,75	12,78	22,0	19,8	16,81	22,0	0,51	2,91
IPE160	29,14	14,35	24,6	22,1	23,60	24,6	0,64	3,66
IPE180	39,01	15,93	27,0	24,3	31,60	27,0	0,78	4,46
IPE200	51,94	17,50	29,7	26,7	42,07	29,7	0,94	5,39
IPE220	66,98	19,25	32,2	29,0	54,25	32,2	1,12	6,42
IPE240	86,25	21,00	35,0	31,5	69,86	35,0	1,33	7,61
IPE270	113,74	23,63	37,9	34,1	92,13	37,9	1,62	9,27
IPE300	147,58	26,25	40,9	36,8	119,54	40,9	1,95	11,13
IPE330	188,94	28,00	44,8	40,3	153,04	44,8	2,27	13,01
IPE360	239,47	29,75	48,9	44,1	193,97	48,9	2,64	15,09
IPE400	307,15	31,50	53,9	48,5	248,79	53,9	3,07	17,59
IPE450	399,97	33,25	59,8	53,9	323,98	59,8	3,60	20,62
IPE500	515,59	35,00	66,2	59,6	417,63	66,2	4,20	24,02
IPE550	654,95	36,75	72,8	65,5	530,51	72,8	4,85	27,75
IPE600	825,32	38,50	79,9	71,9	668,51	79,9	5,57	31,88

Tableau (A.60). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	12,7	11,4	4,41	12,7	0,23	1,32
IPE100	9,26	9,63	15,1	13,6	7,50	15,1	0,33	1,89
IPE120	14,26	11,20	17,4	15,7	11,55	17,4	0,44	2,53
IPE140	20,75	12,78	19,7	17,7	16,81	19,7	0,57	3,26
IPE160	29,14	14,35	22,0	19,8	23,60	22,0	0,71	4,09
IPE180	39,01	15,93	24,2	21,7	31,60	24,2	0,87	4,98
IPE200	51,94	17,50	26,6	23,9	42,07	26,6	1,05	6,03
IPE220	66,98	19,25	28,8	25,9	54,25	28,8	1,25	7,18
IPE240	86,25	21,00	31,3	28,1	69,86	31,3	1,49	8,51
IPE270	113,74	23,63	33,9	30,5	92,13	33,9	1,81	10,36
IPE300	147,58	26,25	36,6	32,9	119,54	36,6	2,18	12,44
IPE330	188,94	28,00	40,1	36,1	153,04	40,1	2,54	14,54
IPE360	239,47	29,75	43,8	39,4	193,97	43,8	2,95	16,88
IPE400	307,15	31,50	48,2	43,4	248,79	48,2	3,44	19,67
IPE450	399,97	33,25	53,5	48,2	323,98	53,5	4,03	23,06
IPE500	515,59	35,00	59,2	53,3	417,63	59,2	4,69	26,86
IPE550	654,95	36,75	65,1	58,6	530,51	65,1	5,42	31,02
IPE600	825,32	38,50	71,4	64,3	668,51	71,4	6,23	35,64

Tableau (A.61). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,6	10,4	4,41	11,6	0,25	1,45
IPE100	9,26	9,63	13,8	12,4	7,50	13,8	0,36	2,07
IPE120	14,26	11,20	15,9	14,3	11,55	15,9	0,48	2,77
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,81	18,0	0,62	3,57
IPE160	29,14	14,35	20,1	18,1	23,60	20,1	0,78	4,48
IPE180	39,01	15,93	22,0	19,8	31,60	22,0	0,95	5,46
IPE200	51,94	17,50	24,3	21,8	42,07	24,3	1,15	6,60
IPE220	66,98	19,25	26,3	23,6	54,25	26,3	1,37	7,86
IPE240	86,25	21,00	28,5	25,7	69,86	28,5	1,63	9,32
IPE270	113,74	23,63	30,9	27,8	92,13	30,9	1,98	11,35
IPE300	147,58	26,25	33,4	30,1	119,54	33,4	2,38	13,63
IPE330	188,94	28,00	36,6	32,9	153,04	36,6	2,78	15,93
IPE360	239,47	29,75	40,0	36,0	193,97	40,0	3,23	18,49
IPE400	307,15	31,50	44,0	39,6	248,79	44,0	3,77	21,54
IPE450	399,97	33,25	48,9	44,0	323,98	48,9	4,41	25,26
IPE500	515,59	35,00	54,1	48,7	417,63	54,1	5,14	29,42
IPE550	654,95	36,75	59,5	53,5	530,51	59,5	5,94	33,98
IPE600	825,32	38,50	65,2	58,7	668,51	65,2	6,82	39,04

Tableau (A.62). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	13,3	12,0	4,41	13,3	0,22	1,27
IPE100	9,26	11,00	15,8	14,2	7,50	15,8	0,32	1,80
IPE120	14,26	12,80	18,2	16,4	11,55	18,2	0,42	2,42
IPE140	20,75	14,60	20,6	18,5	16,81	20,6	0,54	3,11
IPE160	29,14	16,40	23,0	20,7	23,60	23,0	0,68	3,91
IPE180	39,01	18,20	25,3	22,7	31,60	25,3	0,83	4,77
IPE200	51,94	20,00	27,8	25,0	42,07	27,8	1,01	5,76
IPE220	66,98	22,00	30,1	27,1	54,25	30,1	1,20	6,86
IPE240	86,25	24,00	32,7	29,4	69,86	32,7	1,42	8,14
IPE270	113,74	27,00	35,4	31,9	92,13	35,4	1,73	9,91
IPE300	147,58	30,00	38,3	34,4	119,54	38,3	2,08	11,90
IPE330	188,94	32,00	41,9	37,7	153,04	41,9	2,43	13,91
IPE360	239,47	34,00	45,8	41,2	193,97	45,8	2,82	16,14
IPE400	307,15	36,00	50,4	45,4	248,79	50,4	3,29	18,81
IPE450	399,97	38,00	56,0	50,4	323,98	56,0	3,85	22,05
IPE500	515,59	40,00	61,9	55,7	417,63	61,9	4,49	25,68
IPE550	654,95	42,00	68,1	61,3	530,51	68,1	5,18	29,66
IPE600	825,32	44,00	74,7	67,2	668,51	74,7	5,96	34,08

Tableau (A.63). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	11,9	10,7	4,41	11,9	0,25	1,42
IPE100	9,26	11,00	14,2	12,7	7,50	14,2	0,35	2,02
IPE120	14,26	12,80	16,3	14,7	11,55	16,3	0,47	2,70
IPE140	20,75	14,60	18,4	16,6	16,81	18,4	0,61	3,48
IPE160	29,14	16,40	20,6	18,5	23,60	20,6	0,76	4,37
IPE180	39,01	18,20	22,6	20,3	31,60	22,6	0,93	5,33
IPE200	51,94	20,00	24,9	22,4	42,07	24,9	1,13	6,44
IPE220	66,98	22,00	26,9	24,2	54,25	26,9	1,34	7,68
IPE240	86,25	24,00	29,3	26,3	69,86	29,3	1,59	9,10
IPE270	113,74	27,00	31,7	28,5	92,13	31,7	1,94	11,08
IPE300	147,58	30,00	34,2	30,8	119,54	34,2	2,33	13,30
IPE330	188,94	32,00	37,5	33,7	153,04	37,5	2,72	15,55
IPE360	239,47	34,00	41,0	36,9	193,97	41,0	3,15	18,04
IPE400	307,15	36,00	45,1	40,6	248,79	45,1	3,67	21,02
IPE450	399,97	38,00	50,1	45,1	323,98	50,1	4,31	24,65
IPE500	515,59	40,00	55,4	49,9	417,63	55,4	5,02	28,71
IPE550	654,95	42,00	60,9	54,8	530,51	60,9	5,80	33,16
IPE600	825,32	44,00	66,8	60,1	668,51	66,8	6,66	38,10

Tableau (A.64). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,8	9,8	4,41	10,8	0,27	1,55
IPE100	9,26	11,00	12,9	11,6	7,50	12,9	0,39	2,21
IPE120	14,26	12,80	14,9	13,4	11,55	14,9	0,52	2,96
IPE140	20,75	14,60	16,8	15,1	16,81	16,8	0,67	3,81
IPE160	29,14	16,40	18,8	16,9	23,60	18,8	0,84	4,79
IPE180	39,01	18,20	20,6	18,6	31,60	20,6	1,02	5,84
IPE200	51,94	20,00	22,7	20,4	42,07	22,7	1,23	7,06
IPE220	66,98	22,00	24,6	22,1	54,25	24,6	1,47	8,41
IPE240	86,25	24,00	26,7	24,0	69,86	26,7	1,74	9,97
IPE270	113,74	27,00	28,9	26,0	92,13	28,9	2,12	12,14
IPE300	147,58	30,00	31,2	28,1	119,54	31,2	2,55	14,57
IPE330	188,94	32,00	34,2	30,8	153,04	34,2	2,98	17,03
IPE360	239,47	34,00	37,4	33,6	193,97	37,4	3,45	19,76
IPE400	307,15	36,00	41,1	37,0	248,79	41,1	4,03	23,03
IPE450	399,97	38,00	45,7	41,1	323,98	45,7	4,72	27,00
IPE500	515,59	40,00	50,6	45,5	417,63	50,6	5,50	31,45
IPE550	654,95	42,00	55,6	50,1	530,51	55,6	6,35	36,33
IPE600	825,32	44,00	61,0	54,9	668,51	61,0	7,30	41,74

Tableau (A.65). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	12,5	11,3	4,41	12,5	0,23	1,34
IPE100	9,26	12,38	14,9	13,4	7,50	14,9	0,33	1,91
IPE120	14,26	14,40	17,2	15,5	11,55	17,2	0,45	2,56
IPE140	20,75	16,43	19,4	17,5	16,81	19,4	0,58	3,30
IPE160	29,14	18,45	21,7	19,5	23,60	21,7	0,72	4,15
IPE180	39,01	20,48	23,8	21,4	31,60	23,8	0,88	5,05
IPE200	51,94	22,50	26,2	23,6	42,07	26,2	1,07	6,11
IPE220	66,98	24,75	28,4	25,5	54,25	28,4	1,27	7,28
IPE240	86,25	27,00	30,8	27,8	69,86	30,8	1,51	8,63
IPE270	113,74	30,38	33,4	30,0	92,13	33,4	1,84	10,51
IPE300	147,58	33,75	36,1	32,5	119,54	36,1	2,21	12,62
IPE330	188,94	36,00	39,5	35,6	153,04	39,5	2,58	14,75
IPE360	239,47	38,25	43,2	38,8	193,97	43,2	2,99	17,12
IPE400	307,15	40,50	47,5	42,8	248,79	47,5	3,49	19,95
IPE450	399,97	42,75	52,8	47,5	323,98	52,8	4,09	23,38
IPE500	515,59	45,00	58,4	52,6	417,63	58,4	4,76	27,24
IPE550	654,95	47,25	64,2	57,8	530,51	64,2	5,50	31,46
IPE600	825,32	49,50	70,4	63,4	668,51	70,4	6,32	36,15

Tableau (A.66). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,2	10,1	4,41	11,2	0,26	1,50
IPE100	9,26	12,38	13,3	12,0	7,50	13,3	0,37	2,14
IPE120	14,26	14,40	15,4	13,8	11,55	15,4	0,50	2,87
IPE140	20,75	16,43	17,3	15,6	16,81	17,3	0,65	3,69
IPE160	29,14	18,45	19,4	17,5	23,60	19,4	0,81	4,64
IPE180	39,01	20,48	21,3	19,2	31,60	21,3	0,99	5,65
IPE200	51,94	22,50	23,4	21,1	42,07	23,4	1,19	6,84
IPE220	66,98	24,75	25,4	22,8	54,25	25,4	1,42	8,14
IPE240	86,25	27,00	27,6	24,8	69,86	27,6	1,69	9,65
IPE270	113,74	30,38	29,9	26,9	92,13	29,9	2,05	11,75
IPE300	147,58	33,75	32,3	29,0	119,54	32,3	2,47	14,11
IPE330	188,94	36,00	35,3	31,8	153,04	35,3	2,88	16,49
IPE360	239,47	38,25	38,6	34,7	193,97	38,6	3,34	19,14
IPE400	307,15	40,50	42,5	38,2	248,79	42,5	3,90	22,30
IPE450	399,97	42,75	47,2	42,5	323,98	47,2	4,57	26,15
IPE500	515,59	45,00	52,2	47,0	417,63	52,2	5,32	30,46
IPE550	654,95	47,25	57,4	51,7	530,51	57,4	6,15	35,17
IPE600	825,32	49,50	63,0	56,7	668,51	63,0	7,06	40,41

Tableau (A.67). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,2	9,2	4,41	10,2	0,29	1,65
IPE100	9,26	12,38	12,2	11,0	7,50	12,2	0,41	2,34
IPE120	14,26	14,40	14,0	12,6	11,55	14,0	0,55	3,14
IPE140	20,75	16,43	15,8	14,2	16,81	15,8	0,71	4,04
IPE160	29,14	18,45	17,7	15,9	23,60	17,7	0,89	5,08
IPE180	39,01	20,48	19,4	17,5	31,60	19,4	1,08	6,19
IPE200	51,94	22,50	21,4	19,3	42,07	21,4	1,31	7,49
IPE220	66,98	24,75	23,2	20,9	54,25	23,2	1,56	8,92
IPE240	86,25	27,00	25,2	22,7	69,86	25,2	1,85	10,57
IPE270	113,74	30,38	27,3	24,5	92,13	27,3	2,25	12,87
IPE300	147,58	33,75	29,5	26,5	119,54	29,5	2,70	15,46
IPE330	188,94	36,00	32,3	29,0	153,04	32,3	3,16	18,06
IPE360	239,47	38,25	35,2	31,7	193,97	35,2	3,66	20,96
IPE400	307,15	40,50	38,8	34,9	248,79	38,8	4,27	24,43
IPE450	399,97	42,75	43,1	38,8	323,98	43,1	5,01	28,64
IPE500	515,59	45,00	47,7	42,9	417,63	47,7	5,83	33,36
IPE550	654,95	47,25	52,4	47,2	530,51	52,4	6,73	38,53
IPE600	825,32	49,50	57,5	51,8	668,51	57,5	7,74	44,27

Tableau (A.68). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	11,50	11,9	10,7	4,41	11,9	0,25	1,42
IPE100	9,26	13,75	14,2	12,7	7,50	14,2	0,35	2,02
IPE120	14,26	16,00	16,3	14,7	11,55	16,3	0,47	2,70
IPE140	20,75	18,25	18,4	16,6	16,81	18,4	0,61	3,48
IPE160	29,14	20,50	20,6	18,5	23,60	20,6	0,76	4,37
IPE180	39,01	22,75	22,6	20,3	31,60	22,6	0,93	5,33
IPE200	51,94	25,00	24,9	22,4	42,07	24,9	1,13	6,44
IPE220	66,98	27,50	26,9	24,2	54,25	26,9	1,34	7,68
IPE240	86,25	30,00	29,3	26,3	69,86	29,3	1,59	9,10
IPE270	113,74	33,75	31,7	28,5	92,13	31,7	1,94	11,08
IPE300	147,58	37,50	34,2	30,8	119,54	34,2	2,33	13,30
IPE330	188,94	40,00	37,5	33,7	153,04	37,5	2,72	15,55
IPE360	239,47	42,50	41,0	36,9	193,97	41,0	3,15	18,04
IPE400	307,15	45,00	45,1	40,6	248,79	45,1	3,67	21,02
IPE450	399,97	47,50	50,1	45,1	323,98	50,1	4,31	24,65
IPE500	515,59	50,00	55,4	49,9	417,63	55,4	5,02	28,71
IPE550	654,95	52,50	60,9	54,8	530,51	60,9	5,80	33,16
IPE600	825,32	55,00	66,8	60,1	668,51	66,8	6,66	38,10

Tableau (A.69). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	11,50	10,6	9,6	4,41	10,6	0,28	1,58
IPE100	9,26	13,75	12,7	11,4	7,50	12,7	0,39	2,26
IPE120	14,26	16,00	14,6	13,1	11,55	14,6	0,53	3,02
IPE140	20,75	18,25	16,5	14,8	16,81	16,5	0,68	3,89
IPE160	29,14	20,50	18,4	16,6	23,60	18,4	0,85	4,89
IPE180	39,01	22,75	20,2	18,2	31,60	20,2	1,04	5,96
IPE200	51,94	25,00	22,2	20,0	42,07	22,2	1,26	7,20
IPE220	66,98	27,50	24,1	21,7	54,25	24,1	1,50	8,58
IPE240	86,25	30,00	26,2	23,5	69,86	26,2	1,78	10,17
IPE270	113,74	33,75	28,3	25,5	92,13	28,3	2,17	12,39
IPE300	147,58	37,50	30,6	27,5	119,54	30,6	2,60	14,87
IPE330	188,94	40,00	33,5	30,2	153,04	33,5	3,04	17,38
IPE360	239,47	42,50	36,6	33,0	193,97	36,6	3,53	20,17
IPE400	307,15	45,00	40,3	36,3	248,79	40,3	4,11	23,51
IPE450	399,97	47,50	44,8	40,3	323,98	44,8	4,82	27,56
IPE500	515,59	50,00	49,5	44,6	417,63	49,5	5,61	32,10
IPE550	654,95	52,50	54,5	49,1	530,51	54,5	6,48	37,08
IPE600	825,32	55,00	59,8	53,8	668,51	59,8	7,45	42,60

Tableau (A.70). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,7	8,7	4,41	9,7	0,30	1,73
IPE100	9,26	13,75	11,6	10,4	7,50	11,6	0,43	2,47
IPE120	14,26	16,00	13,3	12,0	11,55	13,3	0,58	3,31
IPE140	20,75	18,25	15,0	13,5	16,81	15,0	0,74	4,26
IPE160	29,14	20,50	16,8	15,1	23,60	16,8	0,94	5,35
IPE180	39,01	22,75	18,4	16,6	31,60	18,4	1,14	6,52
IPE200	51,94	25,00	20,3	18,3	42,07	20,3	1,38	7,89
IPE220	66,98	27,50	22,0	19,8	54,25	22,0	1,64	9,40
IPE240	86,25	30,00	23,9	21,5	69,86	23,9	1,95	11,14
IPE270	113,74	33,75	25,9	23,3	92,13	25,9	2,37	13,57
IPE300	147,58	37,50	27,9	25,1	119,54	27,9	2,85	16,29
IPE330	188,94	40,00	30,6	27,6	153,04	30,6	3,33	19,04
IPE360	239,47	42,50	33,4	30,1	193,97	33,4	3,86	22,10
IPE400	307,15	45,00	36,8	33,1	248,79	36,8	4,50	25,75
IPE450	399,97	47,50	40,9	36,8	323,98	40,9	5,28	30,19
IPE500	515,59	50,00	45,2	40,7	417,63	45,2	6,15	35,17
IPE550	654,95	52,50	49,8	44,8	530,51	49,8	7,10	40,61
IPE600	825,32	55,00	54,6	49,1	668,51	54,6	8,16	46,67

(ii) Pour béton de sable

a. Pour $f_{yk}=400\text{ N/mm}^2$

Tableau (A.71). Détermination de sections rectangulaires en *BDS* doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	12,8	4,40	14,2	0,26	1,48
IPE100	9,26	8,25	16,9	15,2	7,48	16,9	0,37	2,11
IPE120	14,26	9,60	19,4	17,5	11,52	19,4	0,50	2,82
IPE140	20,75	10,95	22,0	19,8	16,76	22,0	0,64	3,64
IPE160	29,14	12,30	24,6	22,1	23,54	24,6	0,81	4,57
IPE180	39,01	13,65	27,0	24,3	31,52	27,0	0,99	5,57
IPE200	51,94	15,00	29,7	26,7	41,96	29,7	1,19	6,74
IPE220	66,98	16,50	32,1	28,9	54,12	32,1	1,42	8,03
IPE240	86,25	18,00	34,9	31,4	69,68	34,9	1,68	9,51
IPE270	113,74	20,25	37,8	34,0	91,89	37,8	2,05	11,59
IPE300	147,58	22,50	40,9	36,8	119,24	40,9	2,46	13,91
IPE330	188,94	24,00	44,8	40,3	152,65	44,8	2,88	16,26
IPE360	239,47	25,50	48,9	44,0	193,48	48,9	3,34	18,87
IPE400	307,15	27,00	53,8	48,4	248,16	53,8	3,89	21,99
IPE450	399,97	28,50	59,8	53,8	323,15	59,8	4,56	25,78
IPE500	515,59	30,00	66,1	59,5	416,57	66,1	5,31	30,03
IPE550	654,95	31,50	72,7	65,5	529,16	72,7	6,14	34,68
IPE600	825,32	33,00	79,8	71,8	666,81	79,8	7,05	39,84

Tableau (A.72). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	12,7	11,4	4,41	12,7	0,29	1,65
IPE100	9,26	8,25	15,1	13,6	7,49	15,1	0,42	2,36
IPE120	14,26	9,60	17,4	15,7	11,53	17,4	0,56	3,16
IPE140	20,75	10,95	19,6	17,7	16,77	19,6	0,72	4,07
IPE160	29,14	12,30	22,0	19,8	23,56	22,0	0,90	5,11
IPE180	39,01	13,65	24,1	21,7	31,53	24,1	1,10	6,23
IPE200	51,94	15,00	26,6	23,9	41,99	26,6	1,33	7,53
IPE220	66,98	16,50	28,8	25,9	54,14	28,8	1,58	8,97
IPE240	86,25	18,00	31,2	28,1	69,72	31,2	1,88	10,63
IPE270	113,74	20,25	33,8	30,4	91,94	33,8	2,29	12,95
IPE300	147,58	22,50	36,5	32,9	119,30	36,5	2,75	15,55
IPE330	188,94	24,00	40,0	36,0	152,73	40,0	3,21	18,17
IPE360	239,47	25,50	43,7	39,4	193,58	43,7	3,72	21,09
IPE400	307,15	27,00	48,1	43,3	248,28	48,1	4,34	24,58
IPE450	399,97	28,50	53,5	48,1	323,32	53,5	5,09	28,81
IPE500	515,59	30,00	59,2	53,2	416,78	59,2	5,93	33,56
IPE550	654,95	31,50	65,1	58,6	529,43	65,1	6,84	38,76
IPE600	825,32	33,00	71,4	64,2	667,15	71,4	7,86	44,54

Tableau (A.73). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	11,6	10,4	4,41	11,6	0,32	1,81
IPE100	9,26	8,25	13,8	12,4	7,49	13,8	0,46	2,58
IPE120	14,26	9,60	15,9	14,3	11,53	15,9	0,61	3,46
IPE140	20,75	10,95	17,9	16,1	16,78	17,9	0,79	4,46
IPE160	29,14	12,30	20,1	18,0	23,56	20,1	0,99	5,60
IPE180	39,01	13,65	22,0	19,8	31,54	22,0	1,20	6,82
IPE200	51,94	15,00	24,2	21,8	42,00	24,2	1,45	8,25
IPE220	66,98	16,50	26,3	23,6	54,16	26,3	1,73	9,83
IPE240	86,25	18,00	28,5	25,7	69,74	28,5	2,05	11,65
IPE270	113,74	20,25	30,9	27,8	91,97	30,9	2,50	14,19
IPE300	147,58	22,50	33,4	30,0	119,34	33,4	3,00	17,03
IPE330	188,94	24,00	36,6	32,9	152,78	36,6	3,51	19,90
IPE360	239,47	25,50	39,9	35,9	193,64	39,9	4,07	23,10
IPE400	307,15	27,00	43,9	39,6	248,37	43,9	4,74	26,92
IPE450	399,97	28,50	48,8	43,9	323,43	48,8	5,56	31,56
IPE500	515,59	30,00	54,0	48,6	416,92	54,0	6,48	36,76
IPE550	654,95	31,50	59,4	53,5	529,61	59,4	7,48	42,46
IPE600	825,32	33,00	65,2	58,6	667,37	65,2	8,60	48,78

Tableau (A.74). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	13,1	11,8	4,40	13,1	0,28	1,60
IPE100	9,26	9,63	15,6	14,1	7,48	15,6	0,40	2,28
IPE120	14,26	11,20	18,0	16,2	11,52	18,0	0,54	3,05
IPE140	20,75	12,78	20,3	18,3	16,76	20,3	0,70	3,93
IPE160	29,14	14,35	22,7	20,5	23,54	22,7	0,87	4,94
IPE180	39,01	15,93	25,0	22,5	31,52	25,0	1,06	6,02
IPE200	51,94	17,50	27,5	24,7	41,96	27,5	1,29	7,28
IPE220	66,98	19,25	29,8	26,8	54,12	29,8	1,53	8,67
IPE240	86,25	21,00	32,3	29,1	69,68	32,3	1,82	10,28
IPE270	113,74	23,63	35,0	31,5	91,89	35,0	2,21	12,52
IPE300	147,58	26,25	37,8	34,0	119,24	37,8	2,66	15,03
IPE330	188,94	28,00	41,4	37,3	152,65	41,4	3,11	17,56
IPE360	239,47	29,75	45,3	40,7	193,48	45,3	3,61	20,38
IPE400	307,15	31,50	49,8	44,8	248,16	49,8	4,20	23,75
IPE450	399,97	33,25	55,3	49,8	323,15	55,3	4,93	27,84
IPE500	515,59	35,00	61,2	55,1	416,57	61,2	5,74	32,43
IPE550	654,95	36,75	67,3	60,6	529,16	67,3	6,63	37,46
IPE600	825,32	38,50	73,9	66,5	666,81	73,9	7,61	43,04

Tableau (A.75). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,6	4,41	11,7	0,32	1,79
IPE100	9,26	9,63	14,0	12,6	7,49	14,0	0,45	2,55
IPE120	14,26	11,20	16,1	14,5	11,53	16,1	0,60	3,41
IPE140	20,75	12,78	18,2	16,4	16,77	18,2	0,78	4,39
IPE160	29,14	14,35	20,3	18,3	23,56	20,3	0,97	5,52
IPE180	39,01	15,93	22,3	20,1	31,53	22,3	1,19	6,73
IPE200	51,94	17,50	24,6	22,1	41,99	24,6	1,44	8,14
IPE220	66,98	19,25	26,6	24,0	54,14	26,6	1,71	9,69
IPE240	86,25	21,00	28,9	26,0	69,72	28,9	2,03	11,49
IPE270	113,74	23,63	31,3	28,2	91,94	31,3	2,47	13,99
IPE300	147,58	26,25	33,8	30,5	119,30	33,8	2,97	16,80
IPE330	188,94	28,00	37,1	33,4	152,73	37,1	3,47	19,63
IPE360	239,47	29,75	40,5	36,4	193,58	40,5	4,02	22,78
IPE400	307,15	31,50	44,6	40,1	248,28	44,6	4,69	26,55
IPE450	399,97	33,25	49,5	44,5	323,32	49,5	5,49	31,12
IPE500	515,59	35,00	54,8	49,3	416,78	54,8	6,40	36,25
IPE550	654,95	36,75	60,2	54,2	529,43	60,2	7,39	41,87
IPE600	825,32	38,50	66,1	59,5	667,15	66,1	8,49	48,11

Tableau (A.76). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	10,7	9,6	4,41	10,7	0,35	1,96
IPE100	9,26	9,63	12,8	11,5	7,49	12,8	0,49	2,79
IPE120	14,26	11,20	14,7	13,2	11,53	14,7	0,66	3,74
IPE140	20,75	12,78	16,6	14,9	16,78	16,6	0,85	4,81
IPE160	29,14	14,35	18,6	16,7	23,56	18,6	1,07	6,04
IPE180	39,01	15,93	20,4	18,4	31,54	20,4	1,30	7,37
IPE200	51,94	17,50	22,4	20,2	42,00	22,4	1,57	8,91
IPE220	66,98	19,25	24,3	21,9	54,16	24,3	1,87	10,61
IPE240	86,25	21,00	26,4	23,8	69,74	26,4	2,22	12,58
IPE270	113,74	23,63	28,6	25,7	91,97	28,6	2,70	15,32
IPE300	147,58	26,25	30,9	27,8	119,34	30,9	3,24	18,40
IPE330	188,94	28,00	33,8	30,5	152,78	33,8	3,79	21,50
IPE360	239,47	29,75	37,0	33,3	193,64	37,0	4,40	24,95
IPE400	307,15	31,50	40,7	36,6	248,37	40,7	5,13	29,07
IPE450	399,97	33,25	45,2	40,7	323,43	45,2	6,01	34,09
IPE500	515,59	35,00	50,0	45,0	416,92	50,0	7,00	39,71
IPE550	654,95	36,75	55,0	49,5	529,61	55,0	8,08	45,86
IPE600	825,32	38,50	60,3	54,3	667,37	60,3	9,29	52,69

Tableau (A.77). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	12,3	11,0	4,40	12,3	0,30	1,71
IPE100	9,26	11,00	14,6	13,2	7,48	14,6	0,43	2,44
IPE120	14,26	12,80	16,8	15,2	11,52	16,8	0,58	3,26
IPE140	20,75	14,60	19,0	17,1	16,76	19,0	0,74	4,20
IPE160	29,14	16,40	21,3	19,1	23,54	21,3	0,93	5,28
IPE180	39,01	18,20	23,4	21,0	31,52	23,4	1,14	6,43
IPE200	51,94	20,00	25,7	23,1	41,96	25,7	1,38	7,78
IPE220	66,98	22,00	27,8	25,0	54,12	27,8	1,64	9,27
IPE240	86,25	24,00	30,2	27,2	69,68	30,2	1,94	10,98
IPE270	113,74	27,00	32,7	29,5	91,89	32,7	2,37	13,38
IPE300	147,58	30,00	35,4	31,8	119,24	35,4	2,84	16,06
IPE330	188,94	32,00	38,8	34,9	152,65	38,8	3,32	18,77
IPE360	239,47	34,00	42,3	38,1	193,48	42,3	3,85	21,79
IPE400	307,15	36,00	46,6	41,9	248,16	46,6	4,49	25,39
IPE450	399,97	38,00	51,8	46,6	323,15	51,8	5,27	29,76
IPE500	515,59	40,00	57,3	51,5	416,57	57,3	6,13	34,67
IPE550	654,95	42,00	63,0	56,7	529,16	63,0	7,08	40,04
IPE600	825,32	44,00	69,1	62,2	666,81	69,1	8,14	46,01

Tableau (A.78). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	11,0	9,9	4,41	11,0	0,34	1,91
IPE100	9,26	11,00	13,1	11,8	7,49	13,1	0,48	2,72
IPE120	14,26	12,80	15,1	13,6	11,53	15,1	0,64	3,65
IPE140	20,75	14,60	17,0	15,3	16,77	17,0	0,83	4,70
IPE160	29,14	16,40	19,0	17,1	23,56	19,0	1,04	5,90
IPE180	39,01	18,20	20,9	18,8	31,53	20,9	1,27	7,19
IPE200	51,94	20,00	23,0	20,7	41,99	23,0	1,54	8,70
IPE220	66,98	22,00	24,9	22,4	54,14	24,9	1,83	10,36
IPE240	86,25	24,00	27,1	24,3	69,72	27,1	2,17	12,28
IPE270	113,74	27,00	29,3	26,4	91,94	29,3	2,64	14,96
IPE300	147,58	30,00	31,7	28,5	119,30	31,7	3,17	17,96
IPE330	188,94	32,00	34,7	31,2	152,73	34,7	3,70	20,98
IPE360	239,47	34,00	37,9	34,1	193,58	37,9	4,30	24,35
IPE400	307,15	36,00	41,7	37,5	248,28	41,7	5,01	28,38
IPE450	399,97	38,00	46,3	41,7	323,32	46,3	5,87	33,27
IPE500	515,59	40,00	51,2	46,1	416,78	51,2	6,84	38,76
IPE550	654,95	42,00	56,4	50,7	529,43	56,4	7,90	44,76
IPE600	825,32	44,00	61,8	55,6	667,15	61,8	9,08	51,43

Tableau (A.79). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,0	9,0	4,41	10,0	0,37	2,09
IPE100	9,26	11,00	12,0	10,8	7,49	12,0	0,53	2,98
IPE120	14,26	12,80	13,8	12,4	11,53	13,8	0,70	3,99
IPE140	20,75	14,60	15,5	14,0	16,78	15,5	0,91	5,14
IPE160	29,14	16,40	17,4	15,6	23,56	17,4	1,14	6,46
IPE180	39,01	18,20	19,1	17,2	31,54	19,1	1,39	7,88
IPE200	51,94	20,00	21,0	18,9	42,00	21,0	1,68	9,53
IPE220	66,98	22,00	22,7	20,5	54,16	22,7	2,00	11,35
IPE240	86,25	24,00	24,7	22,2	69,74	24,7	2,37	13,45
IPE270	113,74	27,00	26,7	24,1	91,97	26,7	2,89	16,38
IPE300	147,58	30,00	28,9	26,0	119,34	28,9	3,47	19,67
IPE330	188,94	32,00	31,7	28,5	152,78	31,7	4,05	22,98
IPE360	239,47	34,00	34,6	31,1	193,64	34,6	4,70	26,67
IPE400	307,15	36,00	38,1	34,3	248,37	38,1	5,48	31,08
IPE450	399,97	38,00	42,3	38,0	323,43	42,3	6,42	36,44
IPE500	515,59	40,00	46,8	42,1	416,92	46,8	7,48	42,45
IPE550	654,95	42,00	51,5	46,3	529,61	51,5	8,64	49,02
IPE600	825,32	44,00	56,4	50,8	667,37	56,4	9,93	56,33

Tableau (A.80). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,6	10,4	4,40	11,6	0,32	1,81
IPE100	9,26	12,38	13,8	12,4	7,48	13,8	0,46	2,58
IPE120	14,26	14,40	15,9	14,3	11,52	15,9	0,61	3,46
IPE140	20,75	16,43	17,9	16,1	16,76	17,9	0,79	4,46
IPE160	29,14	18,45	20,0	18,0	23,54	20,0	0,99	5,60
IPE180	39,01	20,48	22,0	19,8	31,52	22,0	1,21	6,82
IPE200	51,94	22,50	24,2	21,8	41,96	24,2	1,46	8,25
IPE220	66,98	24,75	26,2	23,6	54,12	26,2	1,74	9,83
IPE240	86,25	27,00	28,5	25,7	69,68	28,5	2,06	11,65
IPE270	113,74	30,38	30,9	27,8	91,89	30,9	2,51	14,19
IPE300	147,58	33,75	33,4	30,0	119,24	33,4	3,01	17,04
IPE330	188,94	36,00	36,5	32,9	152,65	36,5	3,52	19,91
IPE360	239,47	38,25	39,9	35,9	193,48	39,9	4,09	23,11
IPE400	307,15	40,50	43,9	39,5	248,16	43,9	4,76	26,93
IPE450	399,97	42,75	48,8	43,9	323,15	48,8	5,59	31,57
IPE500	515,59	45,00	54,0	48,6	416,57	54,0	6,51	36,78
IPE550	654,95	47,25	59,4	53,5	529,16	59,4	7,51	42,47
IPE600	825,32	49,50	65,1	58,6	666,81	65,1	8,63	48,80

Tableau (A.81). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,4	9,3	4,41	10,4	0,36	2,03
IPE100	9,26	12,38	12,3	11,1	7,49	12,3	0,51	2,89
IPE120	14,26	14,40	14,2	12,8	11,53	14,2	0,68	3,87
IPE140	20,75	16,43	16,0	14,4	16,77	16,0	0,88	4,98
IPE160	29,14	18,45	17,9	16,1	23,56	17,9	1,10	6,26
IPE180	39,01	20,48	19,7	17,7	31,53	19,7	1,35	7,63
IPE200	51,94	22,50	21,7	19,5	41,99	21,7	1,63	9,23
IPE220	66,98	24,75	23,5	21,1	54,14	23,5	1,94	10,99
IPE240	86,25	27,00	25,5	23,0	69,72	25,5	2,30	13,02
IPE270	113,74	30,38	27,6	24,9	91,94	27,6	2,80	15,86
IPE300	147,58	33,75	29,8	26,9	119,30	29,8	3,36	19,05
IPE330	188,94	36,00	32,7	29,4	152,73	32,7	3,93	22,26
IPE360	239,47	38,25	35,7	32,1	193,58	35,7	4,56	25,83
IPE400	307,15	40,50	39,3	35,4	248,28	39,3	5,31	30,10
IPE450	399,97	42,75	43,7	39,3	323,32	43,7	6,23	35,29
IPE500	515,59	45,00	48,3	43,5	416,78	48,3	7,26	41,11
IPE550	654,95	47,25	53,1	47,8	529,43	53,1	8,38	47,47
IPE600	825,32	49,50	58,3	52,4	667,15	58,3	9,63	54,55

Tableau (A.82). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	9,5	8,5	4,41	9,5	0,39	2,22
IPE100	9,26	12,38	11,3	10,1	7,49	11,3	0,56	3,16
IPE120	14,26	14,40	13,0	11,7	11,53	13,0	0,75	4,24
IPE140	20,75	16,43	14,6	13,2	16,78	14,6	0,96	5,46
IPE160	29,14	18,45	16,4	14,7	23,56	16,4	1,21	6,85
IPE180	39,01	20,48	18,0	16,2	31,54	18,0	1,47	8,35
IPE200	51,94	22,50	19,8	17,8	42,00	19,8	1,78	10,10
IPE220	66,98	24,75	21,4	19,3	54,16	21,4	2,12	12,04
IPE240	86,25	27,00	23,3	21,0	69,74	23,3	2,51	14,26
IPE270	113,74	30,38	25,2	22,7	91,97	25,2	3,06	17,37
IPE300	147,58	33,75	27,2	24,5	119,34	27,2	3,68	20,86
IPE330	188,94	36,00	29,9	26,9	152,78	29,9	4,30	24,38
IPE360	239,47	38,25	32,6	29,3	193,64	32,6	4,99	28,29
IPE400	307,15	40,50	35,9	32,3	248,37	35,9	5,81	32,97
IPE450	399,97	42,75	39,9	35,9	323,43	39,9	6,81	38,65
IPE500	515,59	45,00	44,1	39,7	416,92	44,1	7,94	45,02
IPE550	654,95	47,25	48,5	43,7	529,61	48,5	9,17	52,00
IPE600	825,32	49,50	53,2	47,9	667,37	53,2	10,53	59,74

Tableau (A.83). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	11,0	9,9	4,40	11,0	0,34	1,91
IPE100	9,26	13,75	13,1	11,8	7,48	13,1	0,48	2,72
IPE120	14,26	16,00	15,1	13,6	11,52	15,1	0,65	3,65
IPE140	20,75	18,25	17,0	15,3	16,76	17,0	0,83	4,70
IPE160	29,14	20,50	19,0	17,1	23,54	19,0	1,04	5,90
IPE180	39,01	22,75	20,9	18,8	31,52	20,9	1,27	7,19
IPE200	51,94	25,00	23,0	20,7	41,96	23,0	1,54	8,70
IPE220	66,98	27,50	24,9	22,4	54,12	24,9	1,83	10,36
IPE240	86,25	30,00	27,0	24,3	69,68	27,0	2,17	12,28
IPE270	113,74	33,75	29,3	26,4	91,89	29,3	2,65	14,96
IPE300	147,58	37,50	31,6	28,5	119,24	31,6	3,18	17,96
IPE330	188,94	40,00	34,7	31,2	152,65	34,7	3,71	20,99
IPE360	239,47	42,50	37,9	34,1	193,48	37,9	4,31	24,36
IPE400	307,15	45,00	41,7	37,5	248,16	41,7	5,02	28,38
IPE450	399,97	47,50	46,3	41,7	323,15	46,3	5,89	33,28
IPE500	515,59	50,00	51,2	46,1	416,57	51,2	6,86	38,76
IPE550	654,95	52,50	56,3	50,7	529,16	56,3	7,92	44,77
IPE600	825,32	55,00	61,8	55,6	666,81	61,8	9,10	51,44

Tableau (A.84). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,8	8,8	4,41	9,8	0,38	2,14
IPE100	9,26	13,75	11,7	10,5	7,49	11,7	0,54	3,05
IPE120	14,26	16,00	13,5	12,1	11,53	13,5	0,72	4,08
IPE140	20,75	18,25	15,2	13,7	16,77	15,2	0,93	5,25
IPE160	29,14	20,50	17,0	15,3	23,56	17,0	1,16	6,60
IPE180	39,01	22,75	18,7	16,8	31,53	18,7	1,42	8,04
IPE200	51,94	25,00	20,6	18,5	41,99	20,6	1,72	9,72
IPE220	66,98	27,50	22,3	20,0	54,14	22,3	2,04	11,58
IPE240	86,25	30,00	24,2	21,8	69,72	24,2	2,42	13,73
IPE270	113,74	33,75	26,2	23,6	91,94	26,2	2,95	16,72
IPE300	147,58	37,50	28,3	25,5	119,30	28,3	3,54	20,08
IPE330	188,94	40,00	31,0	27,9	152,73	31,0	4,14	23,46
IPE360	239,47	42,50	33,9	30,5	193,58	33,9	4,81	27,23
IPE400	307,15	45,00	37,3	33,6	248,28	37,3	5,60	31,73
IPE450	399,97	47,50	41,4	37,3	323,32	41,4	6,57	37,20
IPE500	515,59	50,00	45,8	41,2	416,78	45,8	7,65	43,33
IPE550	654,95	52,50	50,4	45,4	529,43	50,4	8,83	50,04
IPE600	825,32	55,00	55,3	49,8	667,15	55,3	10,15	57,50

Tableau (A.85). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,0	8,1	4,41	9,0	0,41	2,34
IPE100	9,26	13,75	10,7	9,6	7,49	10,7	0,59	3,34
IPE120	14,26	16,00	12,3	11,1	11,53	12,3	0,79	4,46
IPE140	20,75	18,25	13,9	12,5	16,78	13,9	1,01	5,75
IPE160	29,14	20,50	15,5	14,0	23,56	15,5	1,27	7,22
IPE180	39,01	22,75	17,1	15,4	31,54	17,1	1,55	8,81
IPE200	51,94	25,00	18,8	16,9	42,00	18,8	1,88	10,65
IPE220	66,98	27,50	20,3	18,3	54,16	20,3	2,24	12,69
IPE240	86,25	30,00	22,1	19,9	69,74	22,1	2,65	15,04
IPE270	113,74	33,75	23,9	21,5	91,97	23,9	3,23	18,31
IPE300	147,58	37,50	25,8	23,3	119,34	25,8	3,88	21,99
IPE330	188,94	40,00	28,3	25,5	152,78	28,3	4,53	25,70
IPE360	239,47	42,50	30,9	27,8	193,64	30,9	5,26	29,82
IPE400	307,15	45,00	34,0	30,6	248,37	34,0	6,13	34,75
IPE450	399,97	47,50	37,8	34,0	323,43	37,8	7,18	40,74
IPE500	515,59	50,00	41,8	37,7	416,92	41,8	8,37	47,46
IPE550	654,95	52,50	46,0	41,4	529,61	46,0	9,66	54,81
IPE600	825,32	55,00	50,5	45,4	667,37	50,5	11,10	62,98

b. Pour $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.86). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	12,8	4,40	14,2	0,21	1,18
IPE100	9,26	8,25	16,9	15,2	7,48	16,9	0,30	1,69
IPE120	14,26	9,60	19,4	17,5	11,52	19,4	0,40	2,26
IPE140	20,75	10,95	22,0	19,8	16,76	22,0	0,52	2,91
IPE160	29,14	12,30	24,6	22,1	23,54	24,6	0,65	3,66
IPE180	39,01	13,65	27,0	24,3	31,52	27,0	0,79	4,46
IPE200	51,94	15,00	29,7	26,7	41,96	29,7	0,95	5,39
IPE220	66,98	16,50	32,1	28,9	54,12	32,1	1,14	6,42
IPE240	86,25	18,00	34,9	31,4	69,68	34,9	1,35	7,61
IPE270	113,74	20,25	37,8	34,0	91,89	37,8	1,64	9,27
IPE300	147,58	22,50	40,9	36,8	119,24	40,9	1,97	11,13
IPE330	188,94	24,00	44,8	40,3	152,65	44,8	2,30	13,01
IPE360	239,47	25,50	48,9	44,0	193,48	48,9	2,67	15,09
IPE400	307,15	27,00	53,8	48,4	248,16	53,8	3,11	17,59
IPE450	399,97	28,50	59,8	53,8	323,15	59,8	3,65	20,62
IPE500	515,59	30,00	66,1	59,5	416,57	66,1	4,25	24,02
IPE550	654,95	31,50	72,7	65,5	529,16	72,7	4,91	27,74
IPE600	825,32	33,00	79,8	71,8	666,81	79,8	5,64	31,88

Tableau (A.87). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	12,7	11,4	4,41	12,7	0,23	1,32
IPE100	9,26	8,25	15,1	13,6	7,49	15,1	0,33	1,89
IPE120	14,26	9,60	17,4	15,7	11,53	17,4	0,45	2,53
IPE140	20,75	10,95	19,6	17,7	16,77	19,6	0,57	3,25
IPE160	29,14	12,30	22,0	19,8	23,56	22,0	0,72	4,09
IPE180	39,01	13,65	24,1	21,7	31,53	24,1	0,88	4,98
IPE200	51,94	15,00	26,6	23,9	41,99	26,6	1,06	6,03
IPE220	66,98	16,50	28,8	25,9	54,14	28,8	1,27	7,18
IPE240	86,25	18,00	31,2	28,1	69,72	31,2	1,50	8,51
IPE270	113,74	20,25	33,8	30,4	91,94	33,8	1,83	10,36
IPE300	147,58	22,50	36,5	32,9	119,30	36,5	2,20	12,44
IPE330	188,94	24,00	40,0	36,0	152,73	40,0	2,57	14,54
IPE360	239,47	25,50	43,7	39,4	193,58	43,7	2,98	16,87
IPE400	307,15	27,00	48,1	43,3	248,28	48,1	3,47	19,66
IPE450	399,97	28,50	53,5	48,1	323,32	53,5	4,07	23,05
IPE500	515,59	30,00	59,2	53,2	416,78	59,2	4,74	26,85
IPE550	654,95	31,50	65,1	58,6	529,43	65,1	5,47	31,01
IPE600	825,32	33,00	71,4	64,2	667,15	71,4	6,29	35,63

Tableau (A.88). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	11,6	10,4	4,41	11,6	0,26	1,45
IPE100	9,26	8,25	13,8	12,4	7,49	13,8	0,36	2,07
IPE120	14,26	9,60	15,9	14,3	11,53	15,9	0,49	2,77
IPE140	20,75	10,95	17,9	16,1	16,78	17,9	0,63	3,56
IPE160	29,14	12,30	20,1	18,0	23,56	20,1	0,79	4,48
IPE180	39,01	13,65	22,0	19,8	31,54	22,0	0,96	5,46
IPE200	51,94	15,00	24,2	21,8	42,00	24,2	1,16	6,60
IPE220	66,98	16,50	26,3	23,6	54,16	26,3	1,39	7,86
IPE240	86,25	18,00	28,5	25,7	69,74	28,5	1,64	9,32
IPE270	113,74	20,25	30,9	27,8	91,97	30,9	2,00	11,35
IPE300	147,58	22,50	33,4	30,0	119,34	33,4	2,40	13,63
IPE330	188,94	24,00	36,6	32,9	152,78	36,6	2,81	15,92
IPE360	239,47	25,50	39,9	35,9	193,64	39,9	3,26	18,48
IPE400	307,15	27,00	43,9	39,6	248,37	43,9	3,80	21,53
IPE450	399,97	28,50	48,8	43,9	323,43	48,8	4,45	25,25
IPE500	515,59	30,00	54,0	48,6	416,92	54,0	5,18	29,41
IPE550	654,95	31,50	59,4	53,5	529,61	59,4	5,99	33,97
IPE600	825,32	33,00	65,2	58,6	667,37	65,2	6,88	39,03

Tableau (A.89). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	13,1	11,8	4,40	13,1	0,23	1,28
IPE100	9,26	9,63	15,6	14,1	7,48	15,6	0,32	1,82
IPE120	14,26	11,20	18,0	16,2	11,52	18,0	0,43	2,44
IPE140	20,75	12,78	20,3	18,3	16,76	20,3	0,56	3,14
IPE160	29,14	14,35	22,7	20,5	23,54	22,7	0,70	3,95
IPE180	39,01	15,93	25,0	22,5	31,52	25,0	0,85	4,81
IPE200	51,94	17,50	27,5	24,7	41,96	27,5	1,03	5,82
IPE220	66,98	19,25	29,8	26,8	54,12	29,8	1,23	6,94
IPE240	86,25	21,00	32,3	29,1	69,68	32,3	1,45	8,22
IPE270	113,74	23,63	35,0	31,5	91,89	35,0	1,77	10,01
IPE300	147,58	26,25	37,8	34,0	119,24	37,8	2,13	12,02
IPE330	188,94	28,00	41,4	37,3	152,65	41,4	2,49	14,05
IPE360	239,47	29,75	45,3	40,7	193,48	45,3	2,88	16,30
IPE400	307,15	31,50	49,8	44,8	248,16	49,8	3,36	19,00
IPE450	399,97	33,25	55,3	49,8	323,15	55,3	3,94	22,27
IPE500	515,59	35,00	61,2	55,1	416,57	61,2	4,59	25,95
IPE550	654,95	36,75	67,3	60,6	529,16	67,3	5,30	29,97
IPE600	825,32	38,50	73,9	66,5	666,81	73,9	6,09	34,43

Tableau (A.90). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,6	4,41	11,7	0,25	1,43
IPE100	9,26	9,63	14,0	12,6	7,49	14,0	0,36	2,04
IPE120	14,26	11,20	16,1	14,5	11,53	16,1	0,48	2,73
IPE140	20,75	12,78	18,2	16,4	16,77	18,2	0,62	3,52
IPE160	29,14	14,35	20,3	18,3	23,56	20,3	0,78	4,41
IPE180	39,01	15,93	22,3	20,1	31,53	22,3	0,95	5,38
IPE200	51,94	17,50	24,6	22,1	41,99	24,6	1,15	6,51
IPE220	66,98	19,25	26,6	24,0	54,14	26,6	1,37	7,75
IPE240	86,25	21,00	28,9	26,0	69,72	28,9	1,62	9,19
IPE270	113,74	23,63	31,3	28,2	91,94	31,3	1,98	11,19
IPE300	147,58	26,25	33,8	30,5	119,30	33,8	2,37	13,44
IPE330	188,94	28,00	37,1	33,4	152,73	37,1	2,77	15,70
IPE360	239,47	29,75	40,5	36,4	193,58	40,5	3,22	18,22
IPE400	307,15	31,50	44,6	40,1	248,28	44,6	3,75	21,24
IPE450	399,97	33,25	49,5	44,5	323,32	49,5	4,40	24,90
IPE500	515,59	35,00	54,8	49,3	416,78	54,8	5,12	29,00
IPE550	654,95	36,75	60,2	54,2	529,43	60,2	5,91	33,50
IPE600	825,32	38,50	66,1	59,5	667,15	66,1	6,79	38,48

Tableau (A.91). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	10,7	9,6	4,41	10,7	0,28	1,57
IPE100	9,26	9,63	12,8	11,5	7,49	12,8	0,39	2,23
IPE120	14,26	11,20	14,7	13,2	11,53	14,7	0,53	2,99
IPE140	20,75	12,78	16,6	14,9	16,78	16,6	0,68	3,85
IPE160	29,14	14,35	18,6	16,7	23,56	18,6	0,85	4,84
IPE180	39,01	15,93	20,4	18,4	31,54	20,4	1,04	5,89
IPE200	51,94	17,50	22,4	20,2	42,00	22,4	1,26	7,13
IPE220	66,98	19,25	24,3	21,9	54,16	24,3	1,50	8,49
IPE240	86,25	21,00	26,4	23,8	69,74	26,4	1,77	10,06
IPE270	113,74	23,63	28,6	25,7	91,97	28,6	2,16	12,26
IPE300	147,58	26,25	30,9	27,8	119,34	30,9	2,59	14,72
IPE330	188,94	28,00	33,8	30,5	152,78	33,8	3,03	17,20
IPE360	239,47	29,75	37,0	33,3	193,64	37,0	3,52	19,96
IPE400	307,15	31,50	40,7	36,6	248,37	40,7	4,10	23,26
IPE450	399,97	33,25	45,2	40,7	323,43	45,2	4,81	27,27
IPE500	515,59	35,00	50,0	45,0	416,92	50,0	5,60	31,77
IPE550	654,95	36,75	55,0	49,5	529,61	55,0	6,47	36,69
IPE600	825,32	38,50	60,3	54,3	667,37	60,3	7,43	42,15

Tableau (A.92). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	12,3	11,0	4,40	12,3	0,24	1,37
IPE100	9,26	11,00	14,6	13,2	7,48	14,6	0,34	1,95
IPE120	14,26	12,80	16,8	15,2	11,52	16,8	0,46	2,61
IPE140	20,75	14,60	19,0	17,1	16,76	19,0	0,59	3,36
IPE160	29,14	16,40	21,3	19,1	23,54	21,3	0,75	4,22
IPE180	39,01	18,20	23,4	21,0	31,52	23,4	0,91	5,15
IPE200	51,94	20,00	25,7	23,1	41,96	25,7	1,10	6,23
IPE220	66,98	22,00	27,8	25,0	54,12	27,8	1,31	7,41
IPE240	86,25	24,00	30,2	27,2	69,68	30,2	1,55	8,79
IPE270	113,74	27,00	32,7	29,5	91,89	32,7	1,89	10,70
IPE300	147,58	30,00	35,4	31,8	119,24	35,4	2,27	12,85
IPE330	188,94	32,00	38,8	34,9	152,65	38,8	2,66	15,02
IPE360	239,47	34,00	42,3	38,1	193,48	42,3	3,08	17,43
IPE400	307,15	36,00	46,6	41,9	248,16	46,6	3,59	20,31
IPE450	399,97	38,00	51,8	46,6	323,15	51,8	4,21	23,81
IPE500	515,59	40,00	57,3	51,5	416,57	57,3	4,91	27,74
IPE550	654,95	42,00	63,0	56,7	529,16	63,0	5,67	32,03
IPE600	825,32	44,00	69,1	62,2	666,81	69,1	6,51	36,81

Tableau (A.93). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	11,0	9,9	4,41	11,0	0,27	1,53
IPE100	9,26	11,00	13,1	11,8	7,49	13,1	0,38	2,18
IPE120	14,26	12,80	15,1	13,6	11,53	15,1	0,51	2,92
IPE140	20,75	14,60	17,0	15,3	16,77	17,0	0,66	3,76
IPE160	29,14	16,40	19,0	17,1	23,56	19,0	0,83	4,72
IPE180	39,01	18,20	20,9	18,8	31,53	20,9	1,02	5,75
IPE200	51,94	20,00	23,0	20,7	41,99	23,0	1,23	6,96
IPE220	66,98	22,00	24,9	22,4	54,14	24,9	1,46	8,29
IPE240	86,25	24,00	27,1	24,3	69,72	27,1	1,73	9,82
IPE270	113,74	27,00	29,3	26,4	91,94	29,3	2,11	11,96
IPE300	147,58	30,00	31,7	28,5	119,30	31,7	2,54	14,37
IPE330	188,94	32,00	34,7	31,2	152,73	34,7	2,96	16,79
IPE360	239,47	34,00	37,9	34,1	193,58	37,9	3,44	19,48
IPE400	307,15	36,00	41,7	37,5	248,28	41,7	4,01	22,70
IPE450	399,97	38,00	46,3	41,7	323,32	46,3	4,70	26,62
IPE500	515,59	40,00	51,2	46,1	416,78	51,2	5,47	31,00
IPE550	654,95	42,00	56,4	50,7	529,43	56,4	6,32	35,81
IPE600	825,32	44,00	61,8	55,6	667,15	61,8	7,26	41,14

Tableau (A.94). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,0	9,0	4,41	10,0	0,30	1,67
IPE100	9,26	11,00	12,0	10,8	7,49	12,0	0,42	2,39
IPE120	14,26	12,80	13,8	12,4	11,53	13,8	0,56	3,19
IPE140	20,75	14,60	15,5	14,0	16,78	15,5	0,73	4,12
IPE160	29,14	16,40	17,4	15,6	23,56	17,4	0,91	5,17
IPE180	39,01	18,20	19,1	17,2	31,54	19,1	1,11	6,30
IPE200	51,94	20,00	21,0	18,9	42,00	21,0	1,34	7,62
IPE220	66,98	22,00	22,7	20,5	54,16	22,7	1,60	9,08
IPE240	86,25	24,00	24,7	22,2	69,74	24,7	1,90	10,76
IPE270	113,74	27,00	26,7	24,1	91,97	26,7	2,31	13,10
IPE300	147,58	30,00	28,9	26,0	119,34	28,9	2,77	15,73
IPE330	188,94	32,00	31,7	28,5	152,78	31,7	3,24	18,39
IPE360	239,47	34,00	34,6	31,1	193,64	34,6	3,76	21,34
IPE400	307,15	36,00	38,1	34,3	248,37	38,1	4,38	24,87
IPE450	399,97	38,00	42,3	38,0	323,43	42,3	5,14	29,15
IPE500	515,59	40,00	46,8	42,1	416,92	46,8	5,99	33,96
IPE550	654,95	42,00	51,5	46,3	529,61	51,5	6,91	39,22
IPE600	825,32	44,00	56,4	50,8	667,37	56,4	7,94	45,06

Tableau (A.95). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,6	10,4	4,40	11,6	0,26	1,45
IPE100	9,26	12,38	13,8	12,4	7,48	13,8	0,37	2,07
IPE120	14,26	14,40	15,9	14,3	11,52	15,9	0,49	2,77
IPE140	20,75	16,43	17,9	16,1	16,76	17,9	0,63	3,57
IPE160	29,14	18,45	20,0	18,0	23,54	20,0	0,79	4,48
IPE180	39,01	20,48	22,0	19,8	31,52	22,0	0,97	5,46
IPE200	51,94	22,50	24,2	21,8	41,96	24,2	1,17	6,60
IPE220	66,98	24,75	26,2	23,6	54,12	26,2	1,39	7,86
IPE240	86,25	27,00	28,5	25,7	69,68	28,5	1,65	9,32
IPE270	113,74	30,38	30,9	27,8	91,89	30,9	2,01	11,35
IPE300	147,58	33,75	33,4	30,0	119,24	33,4	2,41	13,63
IPE330	188,94	36,00	36,5	32,9	152,65	36,5	2,82	15,93
IPE360	239,47	38,25	39,9	35,9	193,48	39,9	3,27	18,49
IPE400	307,15	40,50	43,9	39,5	248,16	43,9	3,81	21,54
IPE450	399,97	42,75	48,8	43,9	323,15	48,8	4,47	25,26
IPE500	515,59	45,00	54,0	48,6	416,57	54,0	5,20	29,42
IPE550	654,95	47,25	59,4	53,5	529,16	59,4	6,01	33,98
IPE600	825,32	49,50	65,1	58,6	666,81	65,1	6,91	39,04

Tableau (A.96). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,4	9,3	4,41	10,4	0,29	1,62
IPE100	9,26	12,38	12,3	11,1	7,49	12,3	0,41	2,31
IPE120	14,26	14,40	14,2	12,8	11,53	14,2	0,55	3,09
IPE140	20,75	16,43	16,0	14,4	16,77	16,0	0,70	3,99
IPE160	29,14	18,45	17,9	16,1	23,56	17,9	0,88	5,01
IPE180	39,01	20,48	19,7	17,7	31,53	19,7	1,08	6,10
IPE200	51,94	22,50	21,7	19,5	41,99	21,7	1,30	7,38
IPE220	66,98	24,75	23,5	21,1	54,14	23,5	1,55	8,79
IPE240	86,25	27,00	25,5	23,0	69,72	25,5	1,84	10,42
IPE270	113,74	30,38	27,6	24,9	91,94	27,6	2,24	12,69
IPE300	147,58	33,75	29,8	26,9	119,30	29,8	2,69	15,24
IPE330	188,94	36,00	32,7	29,4	152,73	32,7	3,14	17,81
IPE360	239,47	38,25	35,7	32,1	193,58	35,7	3,65	20,66
IPE400	307,15	40,50	39,3	35,4	248,28	39,3	4,25	24,08
IPE450	399,97	42,75	43,7	39,3	323,32	43,7	4,98	28,23
IPE500	515,59	45,00	48,3	43,5	416,78	48,3	5,81	32,89
IPE550	654,95	47,25	53,1	47,8	529,43	53,1	6,70	37,98
IPE600	825,32	49,50	58,3	52,4	667,15	58,3	7,70	43,64

Tableau (A.99). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	9,5	8,5	4,41	9,5	0,31	1,78
IPE100	9,26	12,38	11,3	10,1	7,49	11,3	0,45	2,53
IPE120	14,26	14,40	13,0	11,7	11,53	13,0	0,60	3,39
IPE140	20,75	16,43	14,6	13,2	16,78	14,6	0,77	4,37
IPE160	29,14	18,45	16,4	14,7	23,56	16,4	0,97	5,48
IPE180	39,01	20,48	18,0	16,2	31,54	18,0	1,18	6,68
IPE200	51,94	22,50	19,8	17,8	42,00	19,8	1,42	8,08
IPE220	66,98	24,75	21,4	19,3	54,16	21,4	1,70	9,63
IPE240	86,25	27,00	23,3	21,0	69,74	23,3	2,01	11,41
IPE270	113,74	30,38	25,2	22,7	91,97	25,2	2,45	13,90
IPE300	147,58	33,75	27,2	24,5	119,34	27,2	2,94	16,69
IPE330	188,94	36,00	29,9	26,9	152,78	29,9	3,44	19,50
IPE360	239,47	38,25	32,6	29,3	193,64	32,6	3,99	22,63
IPE400	307,15	40,50	35,9	32,3	248,37	35,9	4,65	26,37
IPE450	399,97	42,75	39,9	35,9	323,43	39,9	5,45	30,92
IPE500	515,59	45,00	44,1	39,7	416,92	44,1	6,35	36,02
IPE550	654,95	47,25	48,5	43,7	529,61	48,5	7,33	41,60
IPE600	825,32	49,50	53,2	47,9	667,37	53,2	8,43	47,80

Tableau (A.98). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=20\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	11,0	9,9	4,40	11,0	0,27	1,53
IPE100	9,26	13,75	13,1	11,8	7,48	13,1	0,39	2,18
IPE120	14,26	16,00	15,1	13,6	11,52	15,1	0,52	2,92
IPE140	20,75	18,25	17,0	15,3	16,76	17,0	0,66	3,76
IPE160	29,14	20,50	19,0	17,1	23,54	19,0	0,84	4,72
IPE180	39,01	22,75	20,9	18,8	31,52	20,9	1,02	5,75
IPE200	51,94	25,00	23,0	20,7	41,96	23,0	1,23	6,96
IPE220	66,98	27,50	24,9	22,4	54,12	24,9	1,47	8,29
IPE240	86,25	30,00	27,0	24,3	69,68	27,0	1,74	9,82
IPE270	113,74	33,75	29,3	26,4	91,89	29,3	2,12	11,97
IPE300	147,58	37,50	31,6	28,5	119,24	31,6	2,54	14,37
IPE330	188,94	40,00	34,7	31,2	152,65	34,7	2,97	16,79
IPE360	239,47	42,50	37,9	34,1	193,48	37,9	3,45	19,49
IPE400	307,15	45,00	41,7	37,5	248,16	41,7	4,02	22,71
IPE450	399,97	47,50	46,3	41,7	323,15	46,3	4,71	26,62
IPE500	515,59	50,00	51,2	46,1	416,57	51,2	5,49	31,01
IPE550	654,95	52,50	56,3	50,7	529,16	56,3	6,34	35,82
IPE600	825,32	55,00	61,8	55,6	666,81	61,8	7,28	41,15

Tableau (A.99). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,8	8,8	4,41	9,8	0,30	1,71
IPE100	9,26	13,75	11,7	10,5	7,49	11,7	0,43	2,44
IPE120	14,26	16,00	13,5	12,1	11,53	13,5	0,58	3,26
IPE140	20,75	18,25	15,2	13,7	16,77	15,2	0,74	4,20
IPE160	29,14	20,50	17,0	15,3	23,56	17,0	0,93	5,28
IPE180	39,01	22,75	18,7	16,8	31,53	18,7	1,14	6,43
IPE200	51,94	25,00	20,6	18,5	41,99	20,6	1,37	7,78
IPE220	66,98	27,50	22,3	20,0	54,14	22,3	1,64	9,27
IPE240	86,25	30,00	24,2	21,8	69,72	24,2	1,94	10,98
IPE270	113,74	33,75	26,2	23,6	91,94	26,2	2,36	13,38
IPE300	147,58	37,50	28,3	25,5	119,30	28,3	2,84	16,06
IPE330	188,94	40,00	31,0	27,9	152,73	31,0	3,31	18,77
IPE360	239,47	42,50	33,9	30,5	193,58	33,9	3,84	21,78
IPE400	307,15	45,00	37,3	33,6	248,28	37,3	4,48	25,38
IPE450	399,97	47,50	41,4	37,3	323,32	41,4	5,25	29,76
IPE500	515,59	50,00	45,8	41,2	416,78	45,8	6,12	34,66
IPE550	654,95	52,50	50,4	45,4	529,43	50,4	7,07	40,03
IPE600	825,32	55,00	55,3	49,8	667,15	55,3	8,12	46,00

Tableau (A.100). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,45$.								
Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	11,50	9,0	8,1	4,41	9,0	0,33	1,87
IPE100	9,26	13,75	10,7	9,6	7,49	10,7	0,47	2,67
IPE120	14,26	16,00	12,3	11,1	11,53	12,3	0,63	3,57
IPE140	20,75	18,25	13,9	12,5	16,78	13,9	0,81	4,60
IPE160	29,14	20,50	15,5	14,0	23,56	15,5	1,02	5,78
IPE180	39,01	22,75	17,1	15,4	31,54	17,1	1,24	7,04
IPE200	51,94	25,00	18,8	16,9	42,00	18,8	1,50	8,52
IPE220	66,98	27,50	20,3	18,3	54,16	20,3	1,79	10,15
IPE240	86,25	30,00	22,1	19,9	69,74	22,1	2,12	12,03
IPE270	113,74	33,75	23,9	21,5	91,97	23,9	2,58	14,65
IPE300	147,58	37,50	25,8	23,3	119,34	25,8	3,10	17,59
IPE330	188,94	40,00	28,3	25,5	152,78	28,3	3,62	20,56
IPE360	239,47	42,50	30,9	27,8	193,64	30,9	4,21	23,86
IPE400	307,15	45,00	34,0	30,6	248,37	34,0	4,90	27,80
IPE450	399,97	47,50	37,8	34,0	323,43	37,8	5,75	32,59
IPE500	515,59	50,00	41,8	37,7	416,92	41,8	6,69	37,97
IPE550	654,95	52,50	46,0	41,4	529,61	46,0	7,73	43,85
IPE600	825,32	55,00	50,5	45,4	667,37	50,5	8,88	50,38

A.2.2 Présentation tabulée en utilisant les caractéristiques adoptées par le CP110

(i) Pour béton ordinaire

a. Pour $f_{yk}=400\text{ N/mm}^2$

Tableau (A.101). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	14,2	12,8	4,41	14,2	0,26	1,54
IPE100	9,26	8,25	16,9	15,2	7,49	16,9	0,37	2,20
IPE120	14,26	9,60	19,4	17,5	11,54	19,4	0,50	2,95
IPE140	20,75	10,95	22,0	19,8	16,79	22,0	0,64	3,80
IPE160	29,14	12,30	24,6	22,1	23,57	24,6	0,80	4,77
IPE180	39,01	13,65	27,0	24,3	31,56	27,0	0,98	5,81
IPE200	51,94	15,00	29,7	26,7	42,02	29,7	1,19	7,03
IPE220	66,98	16,50	32,1	28,9	54,18	32,1	1,41	8,37
IPE240	86,25	18,00	34,9	31,4	69,77	34,9	1,67	9,92
IPE270	113,74	20,25	37,8	34,0	92,01	37,8	2,04	12,08
IPE300	147,58	22,50	40,9	36,8	119,38	40,9	2,45	14,51
IPE330	188,94	24,00	44,8	40,3	152,84	44,8	2,86	16,96
IPE360	239,47	25,50	48,9	44,0	193,72	48,9	3,32	19,68
IPE400	307,15	27,00	53,8	48,4	248,47	53,8	3,87	22,93
IPE450	399,97	28,50	59,8	53,8	323,56	59,8	4,54	26,88
IPE500	515,59	30,00	66,1	59,5	417,09	66,1	5,28	31,32
IPE550	654,95	31,50	72,7	65,5	529,82	72,7	6,10	36,17
IPE600	825,32	33,00	79,8	71,8	667,64	79,8	7,01	41,56

Tableau (A.102). Détermination de sections rectangulaires en *BO* doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	6,90	12,6	11,3	4,42	12,6	0,29	1,74
IPE100	9,26	8,25	15,0	13,5	7,51	15,0	0,41	2,47
IPE120	14,26	9,60	17,3	15,5	11,56	17,3	0,56	3,31
IPE140	20,75	10,95	19,5	17,5	16,82	19,5	0,72	4,27
IPE160	29,14	12,30	21,8	19,6	23,62	21,8	0,90	5,36
IPE180	39,01	13,65	23,9	21,5	31,62	23,9	1,09	6,53
IPE200	51,94	15,00	26,3	23,7	42,11	26,3	1,32	7,90
IPE220	66,98	16,50	28,5	25,7	54,30	28,5	1,58	9,41
IPE240	86,25	18,00	31,0	27,9	69,92	31,0	1,87	11,15
IPE270	113,74	20,25	33,6	30,2	92,20	33,6	2,28	13,58
IPE300	147,58	22,50	36,3	32,6	119,64	36,3	2,73	16,31
IPE330	188,94	24,00	39,7	35,8	153,16	39,7	3,19	19,06
IPE360	239,47	25,50	43,4	39,1	194,13	43,4	3,71	22,12
IPE400	307,15	27,00	47,8	43,0	248,99	47,8	4,32	25,78
IPE450	399,97	28,50	53,0	47,7	324,23	53,0	5,07	30,22
IPE500	515,59	30,00	58,7	52,8	417,96	58,7	5,90	35,20
IPE550	654,95	31,50	64,6	58,1	530,93	64,6	6,81	40,66
IPE600	825,32	33,00	70,8	63,7	669,04	70,8	7,83	46,71

Tableau (A.103). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	11,6	10,4	4,40	11,6	0,32	1,88
IPE100	9,26	8,25	13,8	12,5	7,48	13,8	0,46	2,68
IPE120	14,26	9,60	15,9	14,3	11,53	15,9	0,61	3,58
IPE140	20,75	10,95	18,0	16,2	16,77	18,0	0,79	4,61
IPE160	29,14	12,30	20,1	18,1	23,55	20,1	0,99	5,79
IPE180	39,01	13,65	22,1	19,9	31,53	22,1	1,20	7,06
IPE200	51,94	15,00	24,3	21,9	41,98	24,3	1,45	8,54
IPE220	66,98	16,50	26,3	23,7	54,14	26,3	1,73	10,17
IPE240	86,25	18,00	28,6	25,7	69,71	28,6	2,05	12,06
IPE270	113,74	20,25	30,9	27,9	91,93	30,9	2,50	14,69
IPE300	147,58	22,50	33,4	30,1	119,28	33,4	3,00	17,64
IPE330	188,94	24,00	36,6	33,0	152,71	36,6	3,51	20,61
IPE360	239,47	25,50	40,0	36,0	193,55	40,0	4,07	23,92
IPE400	307,15	27,00	44,0	39,6	248,25	44,0	4,74	27,87
IPE450	399,97	28,50	48,9	44,0	323,28	48,9	5,56	32,68
IPE500	515,59	30,00	54,1	48,7	416,72	54,1	6,48	38,06
IPE550	654,95	31,50	59,5	53,6	529,36	59,5	7,48	43,96
IPE600	825,32	33,00	65,3	58,8	667,06	65,3	8,60	50,51

Tableau (A.104). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	13,1	11,8	4,41	13,1	0,28	1,67
IPE100	9,26	9,63	15,6	14,1	7,49	15,6	0,40	2,38
IPE120	14,26	11,20	18,0	16,2	11,54	18,0	0,54	3,18
IPE140	20,75	12,78	20,3	18,3	16,79	20,3	0,69	4,10
IPE160	29,14	14,35	22,7	20,5	23,57	22,7	0,87	5,15
IPE180	39,01	15,93	25,0	22,5	31,56	25,0	1,06	6,28
IPE200	51,94	17,50	27,5	24,7	42,02	27,5	1,28	7,59
IPE220	66,98	19,25	29,8	26,8	54,18	29,8	1,53	9,04
IPE240	86,25	21,00	32,3	29,1	69,77	32,3	1,81	10,72
IPE270	113,74	23,63	35,0	31,5	92,01	35,0	2,20	13,05
IPE300	147,58	26,25	37,8	34,0	119,38	37,8	2,64	15,67
IPE330	188,94	28,00	41,4	37,3	152,84	41,4	3,09	18,32
IPE360	239,47	29,75	45,3	40,7	193,72	45,3	3,59	21,25
IPE400	307,15	31,50	49,8	44,8	248,47	49,8	4,18	24,77
IPE450	399,97	33,25	55,3	49,8	323,56	55,3	4,90	29,04
IPE500	515,59	35,00	61,2	55,1	417,09	61,2	5,71	33,83
IPE550	654,95	36,75	67,3	60,6	529,82	67,3	6,59	39,07
IPE600	825,32	38,50	73,9	66,5	667,64	73,9	7,57	44,89

Tableau (A.105). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,5	4,42	11,7	0,31	1,87
IPE100	9,26	9,63	13,9	12,5	7,51	13,9	0,45	2,67
IPE120	14,26	11,20	16,0	14,4	11,56	16,0	0,60	3,58
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,82	18,0	0,77	4,61
IPE160	29,14	14,35	20,2	18,2	23,62	20,2	0,97	5,79
IPE180	39,01	15,93	22,2	19,9	31,62	22,2	1,18	7,05
IPE200	51,94	17,50	24,4	22,0	42,11	24,4	1,43	8,53
IPE220	66,98	19,25	26,4	23,8	54,30	26,4	1,70	10,16
IPE240	86,25	21,00	28,7	25,8	69,92	28,7	2,02	12,05
IPE270	113,74	23,63	31,1	28,0	92,20	31,1	2,46	14,67
IPE300	147,58	26,25	33,6	30,2	119,64	33,6	2,95	17,62
IPE330	188,94	28,00	36,8	33,1	153,16	36,8	3,45	20,59
IPE360	239,47	29,75	40,2	36,2	194,13	40,2	4,00	23,89
IPE400	307,15	31,50	44,2	39,8	248,99	44,2	4,67	27,84
IPE450	399,97	33,25	49,1	44,2	324,23	49,1	5,47	32,64
IPE500	515,59	35,00	54,3	48,9	417,96	54,3	6,37	38,02
IPE550	654,95	36,75	59,8	53,8	530,93	59,8	7,36	43,91
IPE600	825,32	38,50	65,6	59,0	669,04	65,6	8,46	50,46

Tableau (A.106). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	10,7	9,7	4,40	10,7	0,35	2,03
IPE100	9,26	9,63	12,8	11,5	7,48	12,8	0,49	2,89
IPE120	14,26	11,20	14,7	13,3	11,53	14,7	0,66	3,87
IPE140	20,75	12,78	16,6	15,0	16,77	16,6	0,85	4,98
IPE160	29,14	14,35	18,6	16,7	23,55	18,6	1,07	6,26
IPE180	39,01	15,93	20,4	18,4	31,53	20,4	1,30	7,63
IPE200	51,94	17,50	22,5	20,2	41,98	22,5	1,57	9,23
IPE220	66,98	19,25	24,4	21,9	54,14	24,4	1,87	10,99
IPE240	86,25	21,00	26,5	23,8	69,71	26,5	2,22	13,03
IPE270	113,74	23,63	28,7	25,8	91,93	28,7	2,70	15,87
IPE300	147,58	26,25	31,0	27,9	119,28	31,0	3,24	19,05
IPE330	188,94	28,00	33,9	30,5	152,71	33,9	3,79	22,26
IPE360	239,47	29,75	37,0	33,3	193,55	37,0	4,40	25,83
IPE400	307,15	31,50	40,8	36,7	248,25	40,8	5,12	30,11
IPE450	399,97	33,25	45,3	40,8	323,28	45,3	6,01	35,30
IPE500	515,59	35,00	50,1	45,1	416,72	50,1	7,00	41,11
IPE550	654,95	36,75	55,1	49,6	529,36	55,1	8,08	47,48
IPE600	825,32	38,50	60,5	54,4	667,06	60,5	9,29	54,56

Tableau (A.107). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	12,3	11,0	4,41	12,3	0,30	1,78
IPE100	9,26	11,00	14,6	13,2	7,49	14,6	0,43	2,54
IPE120	14,26	12,80	16,8	15,2	11,54	16,8	0,57	3,40
IPE140	20,75	14,60	19,0	17,1	16,79	19,0	0,74	4,38
IPE160	29,14	16,40	21,3	19,1	23,57	21,3	0,93	5,50
IPE180	39,01	18,20	23,4	21,0	31,56	23,4	1,13	6,71
IPE200	51,94	20,00	25,7	23,1	42,02	25,7	1,37	8,12
IPE220	66,98	22,00	27,8	25,0	54,18	27,8	1,63	9,67
IPE240	86,25	24,00	30,2	27,2	69,77	30,2	1,93	11,46
IPE270	113,74	27,00	32,7	29,5	92,01	32,7	2,35	13,95
IPE300	147,58	30,00	35,4	31,8	119,38	35,4	2,83	16,75
IPE330	188,94	32,00	38,8	34,9	152,84	38,8	3,30	19,58
IPE360	239,47	34,00	42,3	38,1	193,72	42,3	3,83	22,72
IPE400	307,15	36,00	46,6	41,9	248,47	46,6	4,47	26,48
IPE450	399,97	38,00	51,8	46,6	323,56	51,8	5,24	31,04
IPE500	515,59	40,00	57,3	51,5	417,09	57,3	6,10	36,16
IPE550	654,95	42,00	63,0	56,7	529,82	63,0	7,05	41,76
IPE600	825,32	44,00	69,1	62,2	667,64	69,1	8,10	47,99

Tableau (A.108). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,9	9,8	4,42	10,9	0,34	2,00
IPE100	9,26	11,00	13,0	11,7	7,51	13,0	0,48	2,86
IPE120	14,26	12,80	14,9	13,5	11,56	14,9	0,64	3,82
IPE140	20,75	14,60	16,9	15,2	16,82	16,9	0,83	4,93
IPE160	29,14	16,40	18,9	17,0	23,62	18,9	1,04	6,19
IPE180	39,01	18,20	20,7	18,7	31,62	20,7	1,26	7,54
IPE200	51,94	20,00	22,8	20,5	42,11	22,8	1,53	9,12
IPE220	66,98	22,00	24,7	22,2	54,30	24,7	1,82	10,87
IPE240	86,25	24,00	26,8	24,2	69,92	26,8	2,16	12,88
IPE270	113,74	27,00	29,1	26,2	92,20	29,1	2,63	15,69
IPE300	147,58	30,00	31,4	28,3	119,64	31,4	3,16	18,83
IPE330	188,94	32,00	34,4	31,0	153,16	34,4	3,69	22,01
IPE360	239,47	34,00	37,6	33,8	194,13	37,6	4,28	25,54
IPE400	307,15	36,00	41,4	37,2	248,99	41,4	4,99	29,76
IPE450	399,97	38,00	45,9	41,3	324,23	45,9	5,85	34,90
IPE500	515,59	40,00	50,8	45,8	417,96	50,8	6,81	40,65
IPE550	654,95	42,00	55,9	50,3	530,93	55,9	7,87	46,95
IPE600	825,32	44,00	61,3	55,2	669,04	61,3	9,04	53,94

Tableau (A.109). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,1	9,0	4,40	10,1	0,37	2,17
IPE100	9,26	11,00	12,0	10,8	7,48	12,0	0,53	3,09
IPE120	14,26	12,80	13,8	12,4	11,53	13,8	0,70	4,13
IPE140	20,75	14,60	15,6	14,0	16,77	15,6	0,91	5,33
IPE160	29,14	16,40	17,4	15,7	23,55	17,4	1,14	6,69
IPE180	39,01	18,20	19,1	17,2	31,53	19,1	1,39	8,16
IPE200	51,94	20,00	21,0	18,9	41,98	21,0	1,68	9,86
IPE220	66,98	22,00	22,8	20,5	54,14	22,8	2,00	11,75
IPE240	86,25	24,00	24,8	22,3	69,71	24,8	2,37	13,92
IPE270	113,74	27,00	26,8	24,1	91,93	26,8	2,89	16,96
IPE300	147,58	30,00	29,0	26,1	119,28	29,0	3,47	20,36
IPE330	188,94	32,00	31,7	28,6	152,71	31,7	4,05	23,80
IPE360	239,47	34,00	34,7	31,2	193,55	34,7	4,70	27,62
IPE400	307,15	36,00	38,1	34,3	248,25	38,1	5,48	32,18
IPE450	399,97	38,00	42,4	38,1	323,28	42,4	6,42	37,73
IPE500	515,59	40,00	46,9	42,2	416,72	46,9	7,48	43,95
IPE550	654,95	42,00	51,6	46,4	529,36	51,6	8,64	50,76
IPE600	825,32	44,00	56,6	50,9	667,06	56,6	9,93	58,32

Tableau (A.110). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,6	10,4	4,41	11,6	0,32	1,89
IPE100	9,26	12,38	13,8	12,4	7,49	13,8	0,45	2,70
IPE120	14,26	14,40	15,9	14,3	11,54	15,9	0,61	3,61
IPE140	20,75	16,43	17,9	16,1	16,79	17,9	0,78	4,65
IPE160	29,14	18,45	20,0	18,0	23,57	20,0	0,99	5,84
IPE180	39,01	20,48	22,0	19,8	31,56	22,0	1,20	7,12
IPE200	51,94	22,50	24,2	21,8	42,02	24,2	1,45	8,61
IPE220	66,98	24,75	26,2	23,6	54,18	26,2	1,73	10,25
IPE240	86,25	27,00	28,5	25,7	69,77	28,5	2,05	12,15
IPE270	113,74	30,38	30,9	27,8	92,01	30,9	2,50	14,80
IPE300	147,58	33,75	33,4	30,0	119,38	33,4	3,00	17,77
IPE330	188,94	36,00	36,5	32,9	152,84	36,5	3,50	20,77
IPE360	239,47	38,25	39,9	35,9	193,72	39,9	4,07	24,10
IPE400	307,15	40,50	43,9	39,5	248,47	43,9	4,74	28,08
IPE450	399,97	42,75	48,8	43,9	323,56	48,8	5,56	32,93
IPE500	515,59	45,00	54,0	48,6	417,09	54,0	6,47	38,36
IPE550	654,95	47,25	59,4	53,4	529,82	59,4	7,47	44,30
IPE600	825,32	49,50	65,1	58,6	667,64	65,1	8,59	50,90

Tableau (A.111). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,3	9,2	4,42	10,3	0,36	2,13
IPE100	9,26	12,38	12,2	11,0	7,51	12,2	0,51	3,03
IPE120	14,26	14,40	14,1	12,7	11,56	14,1	0,68	4,06
IPE140	20,75	16,43	15,9	14,3	16,82	15,9	0,88	5,23
IPE160	29,14	18,45	17,8	16,0	23,62	17,8	1,10	6,56
IPE180	39,01	20,48	19,5	17,6	31,62	19,5	1,34	8,00
IPE200	51,94	22,50	21,5	19,4	42,11	21,5	1,62	9,68
IPE220	66,98	24,75	23,3	21,0	54,30	23,3	1,93	11,52
IPE240	86,25	27,00	25,3	22,8	69,92	25,3	2,29	13,66
IPE270	113,74	30,38	27,4	24,7	92,20	27,4	2,79	16,64
IPE300	147,58	33,75	29,6	26,6	119,64	29,6	3,35	19,98
IPE330	188,94	36,00	32,4	29,2	153,16	32,4	3,91	23,34
IPE360	239,47	38,25	35,4	31,9	194,13	35,4	4,54	27,09
IPE400	307,15	40,50	39,0	35,1	248,99	39,0	5,29	31,57
IPE450	399,97	42,75	43,3	39,0	324,23	43,3	6,20	37,01
IPE500	515,59	45,00	47,9	43,1	417,96	47,9	7,23	43,11
IPE550	654,95	47,25	52,7	47,4	530,93	52,7	8,35	49,79
IPE600	825,32	49,50	57,8	52,0	669,04	57,8	9,59	57,21

Tableau (A.112). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	9,5	8,5	4,40	9,5	0,39	2,30
IPE100	9,26	12,38	11,3	10,2	7,48	11,3	0,56	3,28
IPE120	14,26	14,40	13,0	11,7	11,53	13,0	0,75	4,39
IPE140	20,75	16,43	14,7	13,2	16,77	14,7	0,96	5,65
IPE160	29,14	18,45	16,4	14,8	23,55	16,4	1,21	7,10
IPE180	39,01	20,48	18,0	16,2	31,53	18,0	1,47	8,65
IPE200	51,94	22,50	19,8	17,9	41,98	19,8	1,78	10,46
IPE220	66,98	24,75	21,5	19,3	54,14	21,5	2,12	12,46
IPE240	86,25	27,00	23,3	21,0	69,71	23,3	2,51	14,77
IPE270	113,74	30,38	25,3	22,7	91,93	25,3	3,06	17,99
IPE300	147,58	33,75	27,3	24,6	119,28	27,3	3,68	21,60
IPE330	188,94	36,00	29,9	26,9	152,71	29,9	4,30	25,24
IPE360	239,47	38,25	32,7	29,4	193,55	32,7	4,99	29,29
IPE400	307,15	40,50	36,0	32,4	248,25	36,0	5,81	34,14
IPE450	399,97	42,75	39,9	35,9	323,28	39,9	6,81	40,02
IPE500	515,59	45,00	44,2	39,8	416,72	44,2	7,94	46,62
IPE550	654,95	47,25	48,6	43,8	529,36	48,6	9,16	53,84
IPE600	825,32	49,50	53,3	48,0	667,06	53,3	10,53	61,86

Tableau (A.113). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	11,0	9,9	4,41	11,0	0,34	1,99
IPE100	9,26	13,75	13,1	11,8	7,49	13,1	0,48	2,84
IPE120	14,26	16,00	15,1	13,6	11,54	15,1	0,64	3,80
IPE140	20,75	18,25	17,0	15,3	16,79	17,0	0,83	4,90
IPE160	29,14	20,50	19,0	17,1	23,57	19,0	1,04	6,15
IPE180	39,01	22,75	20,9	18,8	31,56	20,9	1,27	7,50
IPE200	51,94	25,00	23,0	20,7	42,02	23,0	1,53	9,07
IPE220	66,98	27,50	24,9	22,4	54,18	24,9	1,82	10,81
IPE240	86,25	30,00	27,0	24,3	69,77	27,0	2,16	12,81
IPE270	113,74	33,75	29,3	26,4	92,01	29,3	2,63	15,60
IPE300	147,58	37,50	31,6	28,5	119,38	31,6	3,16	18,73
IPE330	188,94	40,00	34,7	31,2	152,84	34,7	3,69	21,89
IPE360	239,47	42,50	37,9	34,1	193,72	37,9	4,29	25,40
IPE400	307,15	45,00	41,7	37,5	248,47	41,7	5,00	29,60
IPE450	399,97	47,50	46,3	41,7	323,56	46,3	5,86	34,71
IPE500	515,59	50,00	51,2	46,1	417,09	51,2	6,82	40,43
IPE550	654,95	52,50	56,3	50,7	529,82	56,3	7,88	46,69
IPE600	825,32	55,00	61,8	55,6	667,64	61,8	9,05	53,65

Tableau (A.114). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,7	8,8	4,42	9,7	0,38	2,24
IPE100	9,26	13,75	11,6	10,5	7,51	11,6	0,54	3,19
IPE120	14,26	16,00	13,4	12,0	11,56	13,4	0,72	4,28
IPE140	20,75	18,25	15,1	13,6	16,82	15,1	0,92	5,51
IPE160	29,14	20,50	16,9	15,2	23,62	16,9	1,16	6,92
IPE180	39,01	22,75	18,5	16,7	31,62	18,5	1,41	8,43
IPE200	51,94	25,00	20,4	18,4	42,11	20,4	1,71	10,20
IPE220	66,98	27,50	22,1	19,9	54,30	22,1	2,04	12,15
IPE240	86,25	30,00	24,0	21,6	69,92	24,0	2,41	14,40
IPE270	113,74	33,75	26,0	23,4	92,20	26,0	2,94	17,54
IPE300	147,58	37,50	28,1	25,3	119,64	28,1	3,53	21,06
IPE330	188,94	40,00	30,8	27,7	153,16	30,8	4,12	24,61
IPE360	239,47	42,50	33,6	30,2	194,13	33,6	4,79	28,56
IPE400	307,15	45,00	37,0	33,3	248,99	37,0	5,58	33,28
IPE450	399,97	47,50	41,1	37,0	324,23	41,1	6,54	39,01
IPE500	515,59	50,00	45,5	40,9	417,96	45,5	7,62	45,45
IPE550	654,95	52,50	50,0	45,0	530,93	50,0	8,80	52,49
IPE600	825,32	55,00	54,8	49,4	669,04	54,8	10,11	60,31

Tableau (A.115). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,0	8,1	4,40	9,0	0,41	2,42
IPE100	9,26	13,75	10,7	9,6	7,48	10,7	0,59	3,45
IPE120	14,26	16,00	12,3	11,1	11,53	12,3	0,79	4,62
IPE140	20,75	18,25	13,9	12,5	16,77	13,9	1,01	5,96
IPE160	29,14	20,50	15,6	14,0	23,55	15,6	1,27	7,48
IPE180	39,01	22,75	17,1	15,4	31,53	17,1	1,55	9,12
IPE200	51,94	25,00	18,8	16,9	41,98	18,8	1,88	11,03
IPE220	66,98	27,50	20,4	18,3	54,14	20,4	2,24	13,14
IPE240	86,25	30,00	22,1	19,9	69,71	22,1	2,65	15,57
IPE270	113,74	33,75	24,0	21,6	91,93	24,0	3,23	18,96
IPE300	147,58	37,50	25,9	23,3	119,28	25,9	3,88	22,77
IPE330	188,94	40,00	28,4	25,5	152,71	28,4	4,53	26,61
IPE360	239,47	42,50	31,0	27,9	193,55	31,0	5,26	30,88
IPE400	307,15	45,00	34,1	30,7	248,25	34,1	6,12	35,98
IPE450	399,97	47,50	37,9	34,1	323,28	37,9	7,18	42,19
IPE500	515,59	50,00	41,9	37,7	416,72	41,9	8,36	49,14
IPE550	654,95	52,50	46,1	41,5	529,36	46,1	9,66	56,75
IPE600	825,32	55,00	50,6	45,5	667,06	50,6	11,10	65,21

b. Pour $f_{yk}=500\text{ N/mm}^2$

Tableau (A.116). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	12,8	4,41	14,2	0,21	1,24
IPE100	9,26	8,25	16,9	15,2	7,49	16,9	0,30	1,76
IPE120	14,26	9,60	19,4	17,5	11,54	19,4	0,40	2,36
IPE140	20,75	10,95	22,0	19,8	16,79	22,0	0,51	3,04
IPE160	29,14	12,30	24,6	22,1	23,57	24,6	0,64	3,81
IPE180	39,01	13,65	27,0	24,3	31,56	27,0	0,78	4,65
IPE200	51,94	15,00	29,7	26,7	42,02	29,7	0,95	5,62
IPE220	66,98	16,50	32,1	28,9	54,18	32,1	1,13	6,70
IPE240	86,25	18,00	34,9	31,4	69,77	34,9	1,34	7,94
IPE270	113,74	20,25	37,8	34,0	92,01	37,8	1,63	9,67
IPE300	147,58	22,50	40,9	36,8	119,38	40,9	1,96	11,61
IPE330	188,94	24,00	44,8	40,3	152,84	44,8	2,29	13,57
IPE360	239,47	25,50	48,9	44,0	193,72	48,9	2,66	15,74
IPE400	307,15	27,00	53,8	48,4	248,47	53,8	3,10	18,34
IPE450	399,97	28,50	59,8	53,8	323,56	59,8	3,63	21,51
IPE500	515,59	30,00	66,1	59,5	417,09	66,1	4,23	25,05
IPE550	654,95	31,50	72,7	65,5	529,82	72,7	4,88	28,93
IPE600	825,32	33,00	79,8	71,8	667,64	79,8	5,61	33,25

Tableau (A.117). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	12,6	11,3	4,42	12,6	0,23	1,39
IPE100	9,26	8,25	15,0	13,5	7,51	15,0	0,33	1,98
IPE120	14,26	9,60	17,3	15,5	11,56	17,3	0,44	2,65
IPE140	20,75	10,95	19,5	17,5	16,82	19,5	0,57	3,41
IPE160	29,14	12,30	21,8	19,6	23,62	21,8	0,72	4,29
IPE180	39,01	13,65	23,9	21,5	31,62	23,9	0,88	5,23
IPE200	51,94	15,00	26,3	23,7	42,11	26,3	1,06	6,32
IPE220	66,98	16,50	28,5	25,7	54,30	28,5	1,26	7,53
IPE240	86,25	18,00	31,0	27,9	69,92	31,0	1,50	8,92
IPE270	113,74	20,25	33,6	30,2	92,20	33,6	1,82	10,87
IPE300	147,58	22,50	36,3	32,6	119,64	36,3	2,19	13,05
IPE330	188,94	24,00	39,7	35,8	153,16	39,7	2,56	15,25
IPE360	239,47	25,50	43,4	39,1	194,13	43,4	2,97	17,69
IPE400	307,15	27,00	47,8	43,0	248,99	47,8	3,46	20,62
IPE450	399,97	28,50	53,0	47,7	324,23	53,0	4,05	24,18
IPE500	515,59	30,00	58,7	52,8	417,96	58,7	4,72	28,16
IPE550	654,95	31,50	64,6	58,1	530,93	64,6	5,45	32,52
IPE600	825,32	33,00	70,8	63,7	669,04	70,8	6,26	37,37

Tableau (A.118). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	11,6	10,4	4,40	11,6	0,26	1,50
IPE100	9,26	8,25	13,8	12,5	7,48	13,8	0,36	2,14
IPE120	14,26	9,60	15,9	14,3	11,53	15,9	0,49	2,86
IPE140	20,75	10,95	18,0	16,2	16,77	18,0	0,63	3,69
IPE160	29,14	12,30	20,1	18,1	23,55	20,1	0,79	4,64
IPE180	39,01	13,65	22,1	19,9	31,53	22,1	0,96	5,65
IPE200	51,94	15,00	24,3	21,9	41,98	24,3	1,16	6,83
IPE220	66,98	16,50	26,3	23,7	54,14	26,3	1,39	8,14
IPE240	86,25	18,00	28,6	25,7	69,71	28,6	1,64	9,65
IPE270	113,74	20,25	30,9	27,9	91,93	30,9	2,00	11,75
IPE300	147,58	22,50	33,4	30,1	119,28	33,4	2,40	14,11
IPE330	188,94	24,00	36,6	33,0	152,71	36,6	2,81	16,49
IPE360	239,47	25,50	40,0	36,0	193,55	40,0	3,26	19,13
IPE400	307,15	27,00	44,0	39,6	248,25	44,0	3,80	22,30
IPE450	399,97	28,50	48,9	44,0	323,28	48,9	4,45	26,14
IPE500	515,59	30,00	54,1	48,7	416,72	54,1	5,18	30,45
IPE550	654,95	31,50	59,5	53,6	529,36	59,5	5,99	35,17
IPE600	825,32	33,00	65,3	58,8	667,06	65,3	6,88	40,41

Tableau (A.119). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	8,05	13,1	11,8	4,41	13,1	0,23	1,33
IPE100	9,26	9,63	15,6	14,1	7,49	15,6	0,32	1,90
IPE120	14,26	11,20	18,0	16,2	11,54	18,0	0,43	2,55
IPE140	20,75	12,78	20,3	18,3	16,79	20,3	0,55	3,28
IPE160	29,14	14,35	22,7	20,5	23,57	22,7	0,70	4,12
IPE180	39,01	15,93	25,0	22,5	31,56	25,0	0,85	5,02
IPE200	51,94	17,50	27,5	24,7	42,02	27,5	1,02	6,07
IPE220	66,98	19,25	29,8	26,8	54,18	29,8	1,22	7,23
IPE240	86,25	21,00	32,3	29,1	69,77	32,3	1,45	8,57
IPE270	113,74	23,63	35,0	31,5	92,01	35,0	1,76	10,44
IPE300	147,58	26,25	37,8	34,0	119,38	37,8	2,12	12,54
IPE330	188,94	28,00	41,4	37,3	152,84	41,4	2,47	14,65
IPE360	239,47	29,75	45,3	40,7	193,72	45,3	2,87	17,00
IPE400	307,15	31,50	49,8	44,8	248,47	49,8	3,34	19,81
IPE450	399,97	33,25	55,3	49,8	323,56	55,3	3,92	23,23
IPE500	515,59	35,00	61,2	55,1	417,09	61,2	4,57	27,06
IPE550	654,95	36,75	67,3	60,6	529,82	67,3	5,27	31,25
IPE600	825,32	38,50	73,9	66,5	667,64	73,9	6,06	35,91

Tableau (A.120). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,5	4,42	11,7	0,25	1,50
IPE100	9,26	9,63	13,9	12,5	7,51	13,9	0,36	2,14
IPE120	14,26	11,20	16,0	14,4	11,56	16,0	0,48	2,86
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,82	18,0	0,62	3,69
IPE160	29,14	14,35	20,2	18,2	23,62	20,2	0,78	4,63
IPE180	39,01	15,93	22,2	19,9	31,62	22,2	0,95	5,64
IPE200	51,94	17,50	24,4	22,0	42,11	24,4	1,14	6,83
IPE220	66,98	19,25	26,4	23,8	54,30	26,4	1,36	8,13
IPE240	86,25	21,00	28,7	25,8	69,92	28,7	1,62	9,64
IPE270	113,74	23,63	31,1	28,0	92,20	31,1	1,97	11,74
IPE300	147,58	26,25	33,6	30,2	119,64	33,6	2,36	14,09
IPE330	188,94	28,00	36,8	33,1	153,16	36,8	2,76	16,47
IPE360	239,47	29,75	40,2	36,2	194,13	40,2	3,20	19,11
IPE400	307,15	31,50	44,2	39,8	248,99	44,2	3,73	22,27
IPE450	399,97	33,25	49,1	44,2	324,23	49,1	4,38	26,11
IPE500	515,59	35,00	54,3	48,9	417,96	54,3	5,10	30,42
IPE550	654,95	36,75	59,8	53,8	530,93	59,8	5,89	35,13
IPE600	825,32	38,50	65,6	59,0	669,04	65,6	6,77	40,36

Tableau (A.121). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	10,7	9,7	4,40	10,7	0,28	1,62
IPE100	9,26	9,63	12,8	11,5	7,48	12,8	0,39	2,31
IPE120	14,26	11,20	14,7	13,3	11,53	14,7	0,53	3,09
IPE140	20,75	12,78	16,6	15,0	16,77	16,6	0,68	3,99
IPE160	29,14	14,35	18,6	16,7	23,55	18,6	0,85	5,01
IPE180	39,01	15,93	20,4	18,4	31,53	20,4	1,04	6,10
IPE200	51,94	17,50	22,5	20,2	41,98	22,5	1,26	7,38
IPE220	66,98	19,25	24,4	21,9	54,14	24,4	1,50	8,79
IPE240	86,25	21,00	26,5	23,8	69,71	26,5	1,77	10,42
IPE270	113,74	23,63	28,7	25,8	91,93	28,7	2,16	12,69
IPE300	147,58	26,25	31,0	27,9	119,28	31,0	2,59	15,24
IPE330	188,94	28,00	33,9	30,5	152,71	33,9	3,03	17,81
IPE360	239,47	29,75	37,0	33,3	193,55	37,0	3,52	20,67
IPE400	307,15	31,50	40,8	36,7	248,25	40,8	4,10	24,08
IPE450	399,97	33,25	45,3	40,8	323,28	45,3	4,81	28,24
IPE500	515,59	35,00	50,1	45,1	416,72	50,1	5,60	32,89
IPE550	654,95	36,75	55,1	49,6	529,36	55,1	6,47	37,99
IPE600	825,32	38,50	60,5	54,4	667,06	60,5	7,43	43,65

Tableau (A.122). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	12,3	11,0	4,41	12,3	0,24	1,43
IPE100	9,26	11,00	14,6	13,2	7,49	14,6	0,34	2,03
IPE120	14,26	12,80	16,8	15,2	11,54	16,8	0,46	2,72
IPE140	20,75	14,60	19,0	17,1	16,79	19,0	0,59	3,51
IPE160	29,14	16,40	21,3	19,1	23,57	21,3	0,74	4,40
IPE180	39,01	18,20	23,4	21,0	31,56	23,4	0,91	5,37
IPE200	51,94	20,00	25,7	23,1	42,02	25,7	1,10	6,49
IPE220	66,98	22,00	27,8	25,0	54,18	27,8	1,30	7,73
IPE240	86,25	24,00	30,2	27,2	69,77	30,2	1,55	9,17
IPE270	113,74	27,00	32,7	29,5	92,01	32,7	1,88	11,16
IPE300	147,58	30,00	35,4	31,8	119,38	35,4	2,26	13,40
IPE330	188,94	32,00	38,8	34,9	152,84	38,8	2,64	15,66
IPE360	239,47	34,00	42,3	38,1	193,72	42,3	3,07	18,18
IPE400	307,15	36,00	46,6	41,9	248,47	46,6	3,57	21,18
IPE450	399,97	38,00	51,8	46,6	323,56	51,8	4,19	24,83
IPE500	515,59	40,00	57,3	51,5	417,09	57,3	4,88	28,93
IPE550	654,95	42,00	63,0	56,7	529,82	63,0	5,64	33,41
IPE600	825,32	44,00	69,1	62,2	667,64	69,1	6,48	38,39

Tableau (A.123). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,9	9,8	4,42	10,9	0,27	1,60
IPE100	9,26	11,00	13,0	11,7	7,51	13,0	0,38	2,29
IPE120	14,26	12,80	14,9	13,5	11,56	14,9	0,51	3,06
IPE140	20,75	14,60	16,9	15,2	16,82	16,9	0,66	3,94
IPE160	29,14	16,40	18,9	17,0	23,62	18,9	0,83	4,95
IPE180	39,01	18,20	20,7	18,7	31,62	20,7	1,01	6,03
IPE200	51,94	20,00	22,8	20,5	42,11	22,8	1,22	7,30
IPE220	66,98	22,00	24,7	22,2	54,30	24,7	1,46	8,69
IPE240	86,25	24,00	26,8	24,2	69,92	26,8	1,73	10,30
IPE270	113,74	27,00	29,1	26,2	92,20	29,1	2,10	12,55
IPE300	147,58	30,00	31,4	28,3	119,64	31,4	2,53	15,07
IPE330	188,94	32,00	34,4	31,0	153,16	34,4	2,95	17,61
IPE360	239,47	34,00	37,6	33,8	194,13	37,6	3,42	20,43
IPE400	307,15	36,00	41,4	37,2	248,99	41,4	3,99	23,81
IPE450	399,97	38,00	45,9	41,3	324,23	45,9	4,68	27,92
IPE500	515,59	40,00	50,8	45,8	417,96	50,8	5,45	32,52
IPE550	654,95	42,00	55,9	50,3	530,93	55,9	6,29	37,56
IPE600	825,32	44,00	61,3	55,2	669,04	61,3	7,23	43,15

Tableau (A.124). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,1	9,0	4,40	10,1	0,30	1,73
IPE100	9,26	11,00	12,0	10,8	7,48	12,0	0,42	2,47
IPE120	14,26	12,80	13,8	12,4	11,53	13,8	0,56	3,31
IPE140	20,75	14,60	15,6	14,0	16,77	15,6	0,73	4,26
IPE160	29,14	16,40	17,4	15,7	23,55	17,4	0,91	5,35
IPE180	39,01	18,20	19,1	17,2	31,53	19,1	1,11	6,52
IPE200	51,94	20,00	21,0	18,9	41,98	21,0	1,34	7,89
IPE220	66,98	22,00	22,8	20,5	54,14	22,8	1,60	9,40
IPE240	86,25	24,00	24,8	22,3	69,71	24,8	1,90	11,14
IPE270	113,74	27,00	26,8	24,1	91,93	26,8	2,31	13,57
IPE300	147,58	30,00	29,0	26,1	119,28	29,0	2,77	16,29
IPE330	188,94	32,00	31,7	28,6	152,71	31,7	3,24	19,04
IPE360	239,47	34,00	34,7	31,2	193,55	34,7	3,76	22,09
IPE400	307,15	36,00	38,1	34,3	248,25	38,1	4,38	25,75
IPE450	399,97	38,00	42,4	38,1	323,28	42,4	5,14	30,19
IPE500	515,59	40,00	46,9	42,2	416,72	46,9	5,99	35,16
IPE550	654,95	42,00	51,6	46,4	529,36	51,6	6,91	40,61
IPE600	825,32	44,00	56,6	50,9	667,06	56,6	7,94	46,66

Tableau (A.125). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,6	10,4	4,41	11,6	0,26	1,51
IPE100	9,26	12,38	13,8	12,4	7,49	13,8	0,36	2,16
IPE120	14,26	14,40	15,9	14,3	11,54	15,9	0,49	2,89
IPE140	20,75	16,43	17,9	16,1	16,79	17,9	0,63	3,72
IPE160	29,14	18,45	20,0	18,0	23,57	20,0	0,79	4,67
IPE180	39,01	20,48	22,0	19,8	31,56	22,0	0,96	5,69
IPE200	51,94	22,50	24,2	21,8	42,02	24,2	1,16	6,89
IPE220	66,98	24,75	26,2	23,6	54,18	26,2	1,38	8,20
IPE240	86,25	27,00	28,5	25,7	69,77	28,5	1,64	9,72
IPE270	113,74	30,38	30,9	27,8	92,01	30,9	2,00	11,84
IPE300	147,58	33,75	33,4	30,0	119,38	33,4	2,40	14,22
IPE330	188,94	36,00	36,5	32,9	152,84	36,5	2,80	16,61
IPE360	239,47	38,25	39,9	35,9	193,72	39,9	3,25	19,28
IPE400	307,15	40,50	43,9	39,5	248,47	43,9	3,79	22,47
IPE450	399,97	42,75	48,8	43,9	323,56	48,8	4,44	26,34
IPE500	515,59	45,00	54,0	48,6	417,09	54,0	5,18	30,68
IPE550	654,95	47,25	59,4	53,4	529,82	59,4	5,98	35,44
IPE600	825,32	49,50	65,1	58,6	667,64	65,1	6,87	40,72

Tableau (A.126). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,3	9,2	4,42	10,3	0,29	1,70
IPE100	9,26	12,38	12,2	11,0	7,51	12,2	0,41	2,42
IPE120	14,26	14,40	14,1	12,7	11,56	14,1	0,54	3,24
IPE140	20,75	16,43	15,9	14,3	16,82	15,9	0,70	4,18
IPE160	29,14	18,45	17,8	16,0	23,62	17,8	0,88	5,25
IPE180	39,01	20,48	19,5	17,6	31,62	19,5	1,07	6,40
IPE200	51,94	22,50	21,5	19,4	42,11	21,5	1,30	7,74
IPE220	66,98	24,75	23,3	21,0	54,30	23,3	1,55	9,22
IPE240	86,25	27,00	25,3	22,8	69,92	25,3	1,83	10,93
IPE270	113,74	30,38	27,4	24,7	92,20	27,4	2,23	13,31
IPE300	147,58	33,75	29,6	26,6	119,64	29,6	2,68	15,98
IPE330	188,94	36,00	32,4	29,2	153,16	32,4	3,13	18,68
IPE360	239,47	38,25	35,4	31,9	194,13	35,4	3,63	21,67
IPE400	307,15	40,50	39,0	35,1	248,99	39,0	4,23	25,26
IPE450	399,97	42,75	43,3	39,0	324,23	43,3	4,96	29,61
IPE500	515,59	45,00	47,9	43,1	417,96	47,9	5,78	34,49
IPE550	654,95	47,25	52,7	47,4	530,93	52,7	6,68	39,83
IPE600	825,32	49,50	57,8	52,0	669,04	57,8	7,67	45,77

Tableau (A.127). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	As (cm ²)
IPE80	5,45	10,35	9,5	8,5	4,40	9,5	0,31	1,84
IPE100	9,26	12,38	11,3	10,2	7,48	11,3	0,45	2,62
IPE120	14,26	14,40	13,0	11,7	11,53	13,0	0,60	3,51
IPE140	20,75	16,43	14,7	13,2	16,77	14,7	0,77	4,52
IPE160	29,14	18,45	16,4	14,8	23,55	16,4	0,97	5,68
IPE180	39,01	20,48	18,0	16,2	31,53	18,0	1,18	6,92
IPE200	51,94	22,50	19,8	17,9	41,98	19,8	1,42	8,37
IPE220	66,98	24,75	21,5	19,3	54,14	21,5	1,70	9,97
IPE240	86,25	27,00	23,3	21,0	69,71	23,3	2,01	11,82
IPE270	113,74	30,38	25,3	22,7	91,93	25,3	2,45	14,39
IPE300	147,58	33,75	27,3	24,6	119,28	27,3	2,94	17,28
IPE330	188,94	36,00	29,9	26,9	152,71	29,9	3,44	20,19
IPE360	239,47	38,25	32,7	29,4	193,55	32,7	3,99	23,43
IPE400	307,15	40,50	36,0	32,4	248,25	36,0	4,65	27,31
IPE450	399,97	42,75	39,9	35,9	323,28	39,9	5,45	32,02
IPE500	515,59	45,00	44,2	39,8	416,72	44,2	6,35	37,30
IPE550	654,95	47,25	48,6	43,8	529,36	48,6	7,33	43,07
IPE600	825,32	49,50	53,3	48,0	667,06	53,3	8,42	49,49

Tableau (A.128). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	As (cm ²)
IPE80	5,45	11,50	11,0	9,9	4,41	11,0	0,27	1,59
IPE100	9,26	13,75	13,1	11,8	7,49	13,1	0,38	2,27
IPE120	14,26	16,00	15,1	13,6	11,54	15,1	0,51	3,04
IPE140	20,75	18,25	17,0	15,3	16,79	17,0	0,66	3,92
IPE160	29,14	20,50	19,0	17,1	23,57	19,0	0,83	4,92
IPE180	39,01	22,75	20,9	18,8	31,56	20,9	1,01	6,00
IPE200	51,94	25,00	23,0	20,7	42,02	23,0	1,22	7,26
IPE220	66,98	27,50	24,9	22,4	54,18	24,9	1,46	8,65
IPE240	86,25	30,00	27,0	24,3	69,77	27,0	1,73	10,25
IPE270	113,74	33,75	29,3	26,4	92,01	29,3	2,11	12,48
IPE300	147,58	37,50	31,6	28,5	119,38	31,6	2,53	14,99
IPE330	188,94	40,00	34,7	31,2	152,84	34,7	2,96	17,51
IPE360	239,47	42,50	37,9	34,1	193,72	37,9	3,43	20,32
IPE400	307,15	45,00	41,7	37,5	248,47	41,7	4,00	23,68
IPE450	399,97	47,50	46,3	41,7	323,56	46,3	4,69	27,77
IPE500	515,59	50,00	51,2	46,1	417,09	51,2	5,46	32,34
IPE550	654,95	52,50	56,3	50,7	529,82	56,3	6,30	37,35
IPE600	825,32	55,00	61,8	55,6	667,64	61,8	7,24	42,92

Tableau (A.129). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,7	8,8	4,42	9,7	0,30	1,79
IPE100	9,26	13,75	11,6	10,5	7,51	11,6	0,43	2,56
IPE120	14,26	16,00	13,4	12,0	11,56	13,4	0,57	3,42
IPE140	20,75	18,25	15,1	13,6	16,82	15,1	0,74	4,41
IPE160	29,14	20,50	16,9	15,2	23,62	16,9	0,93	5,53
IPE180	39,01	22,75	18,5	16,7	31,62	18,5	1,13	6,75
IPE200	51,94	25,00	20,4	18,4	42,11	20,4	1,37	8,16
IPE220	66,98	27,50	22,1	19,9	54,30	22,1	1,63	9,72
IPE240	86,25	30,00	24,0	21,6	69,92	24,0	1,93	11,52
IPE270	113,74	33,75	26,0	23,4	92,20	26,0	2,35	14,03
IPE300	147,58	37,50	28,1	25,3	119,64	28,1	2,82	16,85
IPE330	188,94	40,00	30,8	27,7	153,16	30,8	3,30	19,69
IPE360	239,47	42,50	33,6	30,2	194,13	33,6	3,83	22,84
IPE400	307,15	45,00	37,0	33,3	248,99	37,0	4,46	26,62
IPE450	399,97	47,50	41,1	37,0	324,23	41,1	5,23	31,21
IPE500	515,59	50,00	45,5	40,9	417,96	45,5	6,09	36,36
IPE550	654,95	52,50	50,0	45,0	530,93	50,0	7,04	41,99
IPE600	825,32	55,00	54,8	49,4	669,04	54,8	8,09	48,24

Tableau (A.130). Détermination de sections rectangulaires en BO doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,0	8,1	4,40	9,0	0,33	1,94
IPE100	9,26	13,75	10,7	9,6	7,48	10,7	0,47	2,76
IPE120	14,26	16,00	12,3	11,1	11,53	12,3	0,63	3,70
IPE140	20,75	18,25	13,9	12,5	16,77	13,9	0,81	4,76
IPE160	29,14	20,50	15,6	14,0	23,55	15,6	1,02	5,98
IPE180	39,01	22,75	17,1	15,4	31,53	17,1	1,24	7,29
IPE200	51,94	25,00	18,8	16,9	41,98	18,8	1,50	8,82
IPE220	66,98	27,50	20,4	18,3	54,14	20,4	1,79	10,51
IPE240	86,25	30,00	22,1	19,9	69,71	22,1	2,12	12,45
IPE270	113,74	33,75	24,0	21,6	91,93	24,0	2,58	15,17
IPE300	147,58	37,50	25,9	23,3	119,28	25,9	3,10	18,21
IPE330	188,94	40,00	28,4	25,5	152,71	28,4	3,62	21,29
IPE360	239,47	42,50	31,0	27,9	193,55	31,0	4,20	24,70
IPE400	307,15	45,00	34,1	30,7	248,25	34,1	4,90	28,79
IPE450	399,97	47,50	37,9	34,1	323,28	37,9	5,74	33,75
IPE500	515,59	50,00	41,9	37,7	416,72	41,9	6,69	39,31
IPE550	654,95	52,50	46,1	41,5	529,36	46,1	7,73	45,40
IPE600	825,32	55,00	50,6	45,5	667,06	50,6	8,88	52,17

(ii) Pour béton de sable

a. Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$

Tableau (A.131). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50 \ x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	12,8	4,41	14,2	0,26	1,54
IPE100	9,26	8,25	16,9	15,2	7,49	16,9	0,37	2,20
IPE120	14,26	9,60	19,4	17,5	11,54	19,4	0,50	2,95
IPE140	20,75	10,95	22,0	19,8	16,79	22,0	0,64	3,80
IPE160	29,14	12,30	24,6	22,1	23,57	24,6	0,80	4,77
IPE180	39,01	13,65	27,0	24,3	31,56	27,0	0,98	5,81
IPE200	51,94	15,00	29,7	26,7	42,02	29,7	1,19	7,03
IPE220	66,98	16,50	32,1	28,9	54,18	32,1	1,41	8,37
IPE240	86,25	18,00	34,9	31,4	69,77	34,9	1,67	9,92
IPE270	113,74	20,25	37,8	34,0	92,01	37,8	2,04	12,08
IPE300	147,58	22,50	40,9	36,8	119,38	40,9	2,45	14,51
IPE330	188,94	24,00	44,8	40,3	152,84	44,8	2,86	16,96
IPE360	239,47	25,50	48,9	44,0	193,72	48,9	3,32	19,68
IPE400	307,15	27,00	53,8	48,4	248,47	53,8	3,87	22,93
IPE450	399,97	28,50	59,8	53,8	323,56	59,8	4,54	26,88
IPE500	515,59	30,00	66,1	59,5	417,09	66,1	5,28	31,32
IPE550	654,95	31,50	72,7	65,5	529,82	72,7	6,10	36,17
IPE600	825,32	33,00	79,8	71,8	667,64	79,8	7,01	41,56

Tableau (A.132). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50 \ x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	12,6	11,3	4,42	12,6	0,29	1,74
IPE100	9,26	8,25	15,0	13,5	7,51	15,0	0,41	2,47
IPE120	14,26	9,60	17,3	15,5	11,56	17,3	0,56	3,31
IPE140	20,75	10,95	19,5	17,5	16,82	19,5	0,72	4,27
IPE160	29,14	12,30	21,8	19,6	23,62	21,8	0,90	5,36
IPE180	39,01	13,65	23,9	21,5	31,62	23,9	1,09	6,53
IPE200	51,94	15,00	26,3	23,7	42,11	26,3	1,32	7,90
IPE220	66,98	16,50	28,5	25,7	54,30	28,5	1,58	9,41
IPE240	86,25	18,00	31,0	27,9	69,92	31,0	1,87	11,15
IPE270	113,74	20,25	33,6	30,2	92,20	33,6	2,28	13,58
IPE300	147,58	22,50	36,3	32,6	119,64	36,3	2,73	16,31
IPE330	188,94	24,00	39,7	35,8	153,16	39,7	3,19	19,06
IPE360	239,47	25,50	43,4	39,1	194,13	43,4	3,71	22,12
IPE400	307,15	27,00	47,8	43,0	248,99	47,8	4,32	25,78
IPE450	399,97	28,50	53,0	47,7	324,23	53,0	5,07	30,22
IPE500	515,59	30,00	58,7	52,8	417,96	58,7	5,90	35,20
IPE550	654,95	31,50	64,6	58,1	530,93	64,6	6,81	40,66
IPE600	825,32	33,00	70,8	63,7	669,04	70,8	7,83	46,71

Tableau (A.133). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	11,6	10,4	4,40	11,6	0,32	1,88
IPE100	9,26	8,25	13,8	12,5	7,48	13,8	0,46	2,68
IPE120	14,26	9,60	15,9	14,3	11,53	15,9	0,61	3,58
IPE140	20,75	10,95	18,0	16,2	16,77	18,0	0,79	4,61
IPE160	29,14	12,30	20,1	18,1	23,55	20,1	0,99	5,79
IPE180	39,01	13,65	22,1	19,9	31,53	22,1	1,20	7,06
IPE200	51,94	15,00	24,3	21,9	41,98	24,3	1,45	8,54
IPE220	66,98	16,50	26,3	23,7	54,14	26,3	1,73	10,17
IPE240	86,25	18,00	28,6	25,7	69,71	28,6	2,05	12,06
IPE270	113,74	20,25	30,9	27,9	91,93	30,9	2,50	14,69
IPE300	147,58	22,50	33,4	30,1	119,28	33,4	3,00	17,64
IPE330	188,94	24,00	36,6	33,0	152,71	36,6	3,51	20,61
IPE360	239,47	25,50	40,0	36,0	193,55	40,0	4,07	23,92
IPE400	307,15	27,00	44,0	39,6	248,25	44,0	4,74	27,87
IPE450	399,97	28,50	48,9	44,0	323,28	48,9	5,56	32,68
IPE500	515,59	30,00	54,1	48,7	416,72	54,1	6,48	38,06
IPE550	654,95	31,50	59,5	53,6	529,36	59,5	7,48	43,96
IPE600	825,32	33,00	65,3	58,8	667,06	65,3	8,60	50,51

Tableau (A.134). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	13,1	11,8	4,41	13,1	0,28	1,67
IPE100	9,26	9,63	15,6	14,1	7,49	15,6	0,40	2,38
IPE120	14,26	11,20	18,0	16,2	11,54	18,0	0,54	3,18
IPE140	20,75	12,78	20,3	18,3	16,79	20,3	0,69	4,10
IPE160	29,14	14,35	22,7	20,5	23,57	22,7	0,87	5,15
IPE180	39,01	15,93	25,0	22,5	31,56	25,0	1,06	6,28
IPE200	51,94	17,50	27,5	24,7	42,02	27,5	1,28	7,59
IPE220	66,98	19,25	29,8	26,8	54,18	29,8	1,53	9,04
IPE240	86,25	21,00	32,3	29,1	69,77	32,3	1,81	10,72
IPE270	113,74	23,63	35,0	31,5	92,01	35,0	2,20	13,05
IPE300	147,58	26,25	37,8	34,0	119,38	37,8	2,64	15,67
IPE330	188,94	28,00	41,4	37,3	152,84	41,4	3,09	18,32
IPE360	239,47	29,75	45,3	40,7	193,72	45,3	3,59	21,25
IPE400	307,15	31,50	49,8	44,8	248,47	49,8	4,18	24,77
IPE450	399,97	33,25	55,3	49,8	323,56	55,3	4,90	29,04
IPE500	515,59	35,00	61,2	55,1	417,09	61,2	5,71	33,83
IPE550	654,95	36,75	67,3	60,6	529,82	67,3	6,59	39,07
IPE600	825,32	38,50	73,9	66,5	667,64	73,9	7,57	44,89

Tableau (A.135). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,5	4,42	11,7	0,31	1,87
IPE100	9,26	9,63	13,9	12,5	7,51	13,9	0,45	2,67
IPE120	14,26	11,20	16,0	14,4	11,56	16,0	0,60	3,58
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,82	18,0	0,77	4,61
IPE160	29,14	14,35	20,2	18,2	23,62	20,2	0,97	5,79
IPE180	39,01	15,93	22,2	19,9	31,62	22,2	1,18	7,05
IPE200	51,94	17,50	24,4	22,0	42,11	24,4	1,43	8,53
IPE220	66,98	19,25	26,4	23,8	54,30	26,4	1,70	10,16
IPE240	86,25	21,00	28,7	25,8	69,92	28,7	2,02	12,05
IPE270	113,74	23,63	31,1	28,0	92,20	31,1	2,46	14,67
IPE300	147,58	26,25	33,6	30,2	119,64	33,6	2,95	17,62
IPE330	188,94	28,00	36,8	33,1	153,16	36,8	3,45	20,59
IPE360	239,47	29,75	40,2	36,2	194,13	40,2	4,00	23,89
IPE400	307,15	31,50	44,2	39,8	248,99	44,2	4,67	27,84
IPE450	399,97	33,25	49,1	44,2	324,23	49,1	5,47	32,64
IPE500	515,59	35,00	54,3	48,9	417,96	54,3	6,37	38,02
IPE550	654,95	36,75	59,8	53,8	530,93	59,8	7,36	43,91
IPE600	825,32	38,50	65,6	59,0	669,04	65,6	8,46	50,46

Tableau (A.136). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	10,7	9,7	4,40	10,7	0,35	2,03
IPE100	9,26	9,63	12,8	11,5	7,48	12,8	0,49	2,89
IPE120	14,26	11,20	14,7	13,3	11,53	14,7	0,66	3,87
IPE140	20,75	12,78	16,6	15,0	16,77	16,6	0,85	4,98
IPE160	29,14	14,35	18,6	16,7	23,55	18,6	1,07	6,26
IPE180	39,01	15,93	20,4	18,4	31,53	20,4	1,30	7,63
IPE200	51,94	17,50	22,5	20,2	41,98	22,5	1,57	9,23
IPE220	66,98	19,25	24,4	21,9	54,14	24,4	1,87	10,99
IPE240	86,25	21,00	26,5	23,8	69,71	26,5	2,22	13,03
IPE270	113,74	23,63	28,7	25,8	91,93	28,7	2,70	15,87
IPE300	147,58	26,25	31,0	27,9	119,28	31,0	3,24	19,05
IPE330	188,94	28,00	33,9	30,5	152,71	33,9	3,79	22,26
IPE360	239,47	29,75	37,0	33,3	193,55	37,0	4,40	25,83
IPE400	307,15	31,50	40,8	36,7	248,25	40,8	5,12	30,11
IPE450	399,97	33,25	45,3	40,8	323,28	45,3	6,01	35,30
IPE500	515,59	35,00	50,1	45,1	416,72	50,1	7,00	41,11
IPE550	654,95	36,75	55,1	49,6	529,36	55,1	8,08	47,48
IPE600	825,32	38,50	60,5	54,4	667,06	60,5	9,29	54,56

Tableau (A.137). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	12,3	11,0	4,41	12,3	0,30	1,78
IPE100	9,26	11,00	14,6	13,2	7,49	14,6	0,43	2,54
IPE120	14,26	12,80	16,8	15,2	11,54	16,8	0,57	3,40
IPE140	20,75	14,60	19,0	17,1	16,79	19,0	0,74	4,38
IPE160	29,14	16,40	21,3	19,1	23,57	21,3	0,93	5,50
IPE180	39,01	18,20	23,4	21,0	31,56	23,4	1,13	6,71
IPE200	51,94	20,00	25,7	23,1	42,02	25,7	1,37	8,12
IPE220	66,98	22,00	27,8	25,0	54,18	27,8	1,63	9,67
IPE240	86,25	24,00	30,2	27,2	69,77	30,2	1,93	11,46
IPE270	113,74	27,00	32,7	29,5	92,01	32,7	2,35	13,95
IPE300	147,58	30,00	35,4	31,8	119,38	35,4	2,83	16,75
IPE330	188,94	32,00	38,8	34,9	152,84	38,8	3,30	19,58
IPE360	239,47	34,00	42,3	38,1	193,72	42,3	3,83	22,72
IPE400	307,15	36,00	46,6	41,9	248,47	46,6	4,47	26,48
IPE450	399,97	38,00	51,8	46,6	323,56	51,8	5,24	31,04
IPE500	515,59	40,00	57,3	51,5	417,09	57,3	6,10	36,16
IPE550	654,95	42,00	63,0	56,7	529,82	63,0	7,05	41,76
IPE600	825,32	44,00	69,1	62,2	667,64	69,1	8,10	47,99

Tableau (A.138). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,9	9,8	4,42	10,9	0,34	2,00
IPE100	9,26	11,00	13,0	11,7	7,51	13,0	0,48	2,86
IPE120	14,26	12,80	14,9	13,5	11,56	14,9	0,64	3,82
IPE140	20,75	14,60	16,9	15,2	16,82	16,9	0,83	4,93
IPE160	29,14	16,40	18,9	17,0	23,62	18,9	1,04	6,19
IPE180	39,01	18,20	20,7	18,7	31,62	20,7	1,26	7,54
IPE200	51,94	20,00	22,8	20,5	42,11	22,8	1,53	9,12
IPE220	66,98	22,00	24,7	22,2	54,30	24,7	1,82	10,87
IPE240	86,25	24,00	26,8	24,2	69,92	26,8	2,16	12,88
IPE270	113,74	27,00	29,1	26,2	92,20	29,1	2,63	15,69
IPE300	147,58	30,00	31,4	28,3	119,64	31,4	3,16	18,83
IPE330	188,94	32,00	34,4	31,0	153,16	34,4	3,69	22,01
IPE360	239,47	34,00	37,6	33,8	194,13	37,6	4,28	25,54
IPE400	307,15	36,00	41,4	37,2	248,99	41,4	4,99	29,76
IPE450	399,97	38,00	45,9	41,3	324,23	45,9	5,85	34,90
IPE500	515,59	40,00	50,8	45,8	417,96	50,8	6,81	40,65
IPE550	654,95	42,00	55,9	50,3	530,93	55,9	7,87	46,95
IPE600	825,32	44,00	61,3	55,2	669,04	61,3	9,04	53,94

Tableau (A.139). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	9,20	10,1	9,0	4,40	10,1	0,37	2,17
IPE100	9,26	11,00	12,0	10,8	7,48	12,0	0,53	3,09
IPE120	14,26	12,80	13,8	12,4	11,53	13,8	0,70	4,13
IPE140	20,75	14,60	15,6	14,0	16,77	15,6	0,91	5,33
IPE160	29,14	16,40	17,4	15,7	23,55	17,4	1,14	6,69
IPE180	39,01	18,20	19,1	17,2	31,53	19,1	1,39	8,16
IPE200	51,94	20,00	21,0	18,9	41,98	21,0	1,68	9,86
IPE220	66,98	22,00	22,8	20,5	54,14	22,8	2,00	11,75
IPE240	86,25	24,00	24,8	22,3	69,71	24,8	2,37	13,92
IPE270	113,74	27,00	26,8	24,1	91,93	26,8	2,89	16,96
IPE300	147,58	30,00	29,0	26,1	119,28	29,0	3,47	20,36
IPE330	188,94	32,00	31,7	28,6	152,71	31,7	4,05	23,80
IPE360	239,47	34,00	34,7	31,2	193,55	34,7	4,70	27,62
IPE400	307,15	36,00	38,1	34,3	248,25	38,1	5,48	32,18
IPE450	399,97	38,00	42,4	38,1	323,28	42,4	6,42	37,73
IPE500	515,59	40,00	46,9	42,2	416,72	46,9	7,48	43,95
IPE550	654,95	42,00	51,6	46,4	529,36	51,6	8,64	50,76
IPE600	825,32	44,00	56,6	50,9	667,06	56,6	9,93	58,32

Tableau (A.140). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=400N/mm^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	10,35	11,6	10,4	4,41	11,6	0,32	1,89
IPE100	9,26	12,38	13,8	12,4	7,49	13,8	0,45	2,70
IPE120	14,26	14,40	15,9	14,3	11,54	15,9	0,61	3,61
IPE140	20,75	16,43	17,9	16,1	16,79	17,9	0,78	4,65
IPE160	29,14	18,45	20,0	18,0	23,57	20,0	0,99	5,84
IPE180	39,01	20,48	22,0	19,8	31,56	22,0	1,20	7,12
IPE200	51,94	22,50	24,2	21,8	42,02	24,2	1,45	8,61
IPE220	66,98	24,75	26,2	23,6	54,18	26,2	1,73	10,25
IPE240	86,25	27,00	28,5	25,7	69,77	28,5	2,05	12,15
IPE270	113,74	30,38	30,9	27,8	92,01	30,9	2,50	14,80
IPE300	147,58	33,75	33,4	30,0	119,38	33,4	3,00	17,77
IPE330	188,94	36,00	36,5	32,9	152,84	36,5	3,50	20,77
IPE360	239,47	38,25	39,9	35,9	193,72	39,9	4,07	24,10
IPE400	307,15	40,50	43,9	39,5	248,47	43,9	4,74	28,08
IPE450	399,97	42,75	48,8	43,9	323,56	48,8	5,56	32,93
IPE500	515,59	45,00	54,0	48,6	417,09	54,0	6,47	38,36
IPE550	654,95	47,25	59,4	53,4	529,82	59,4	7,47	44,30
IPE600	825,32	49,50	65,1	58,6	667,64	65,1	8,59	50,90

Tableau (A.141). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,3	9,2	4,42	10,3	0,36	2,13
IPE100	9,26	12,38	12,2	11,0	7,51	12,2	0,51	3,03
IPE120	14,26	14,40	14,1	12,7	11,56	14,1	0,68	4,06
IPE140	20,75	16,43	15,9	14,3	16,82	15,9	0,88	5,23
IPE160	29,14	18,45	17,8	16,0	23,62	17,8	1,10	6,56
IPE180	39,01	20,48	19,5	17,6	31,62	19,5	1,34	8,00
IPE200	51,94	22,50	21,5	19,4	42,11	21,5	1,62	9,68
IPE220	66,98	24,75	23,3	21,0	54,30	23,3	1,93	11,52
IPE240	86,25	27,00	25,3	22,8	69,92	25,3	2,29	13,66
IPE270	113,74	30,38	27,4	24,7	92,20	27,4	2,79	16,64
IPE300	147,58	33,75	29,6	26,6	119,64	29,6	3,35	19,98
IPE330	188,94	36,00	32,4	29,2	153,16	32,4	3,91	23,34
IPE360	239,47	38,25	35,4	31,9	194,13	35,4	4,54	27,09
IPE400	307,15	40,50	39,0	35,1	248,99	39,0	5,29	31,57
IPE450	399,97	42,75	43,3	39,0	324,23	43,3	6,20	37,01
IPE500	515,59	45,00	47,9	43,1	417,96	47,9	7,23	43,11
IPE550	654,95	47,25	52,7	47,4	530,93	52,7	8,35	49,79
IPE600	825,32	49,50	57,8	52,0	669,04	57,8	9,59	57,21

Tableau (A.142). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	9,5	8,5	4,40	9,5	0,39	2,30
IPE100	9,26	12,38	11,3	10,2	7,48	11,3	0,56	3,28
IPE120	14,26	14,40	13,0	11,7	11,53	13,0	0,75	4,39
IPE140	20,75	16,43	14,7	13,2	16,77	14,7	0,96	5,65
IPE160	29,14	18,45	16,4	14,8	23,55	16,4	1,21	7,10
IPE180	39,01	20,48	18,0	16,2	31,53	18,0	1,47	8,65
IPE200	51,94	22,50	19,8	17,9	41,98	19,8	1,78	10,46
IPE220	66,98	24,75	21,5	19,3	54,14	21,5	2,12	12,46
IPE240	86,25	27,00	23,3	21,0	69,71	23,3	2,51	14,77
IPE270	113,74	30,38	25,3	22,7	91,93	25,3	3,06	17,99
IPE300	147,58	33,75	27,3	24,6	119,28	27,3	3,68	21,60
IPE330	188,94	36,00	29,9	26,9	152,71	29,9	4,30	25,24
IPE360	239,47	38,25	32,7	29,4	193,55	32,7	4,99	29,29
IPE400	307,15	40,50	36,0	32,4	248,25	36,0	5,81	34,14
IPE450	399,97	42,75	39,9	35,9	323,28	39,9	6,81	40,02
IPE500	515,59	45,00	44,2	39,8	416,72	44,2	7,94	46,62
IPE550	654,95	47,25	48,6	43,8	529,36	48,6	9,16	53,84
IPE600	825,32	49,50	53,3	48,0	667,06	53,3	10,53	61,86

Tableau (A.143). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	11,0	9,9	4,41	11,0	0,34	1,99
IPE100	9,26	13,75	13,1	11,8	7,49	13,1	0,48	2,84
IPE120	14,26	16,00	15,1	13,6	11,54	15,1	0,64	3,80
IPE140	20,75	18,25	17,0	15,3	16,79	17,0	0,83	4,90
IPE160	29,14	20,50	19,0	17,1	23,57	19,0	1,04	6,15
IPE180	39,01	22,75	20,9	18,8	31,56	20,9	1,27	7,50
IPE200	51,94	25,00	23,0	20,7	42,02	23,0	1,53	9,07
IPE220	66,98	27,50	24,9	22,4	54,18	24,9	1,82	10,81
IPE240	86,25	30,00	27,0	24,3	69,77	27,0	2,16	12,81
IPE270	113,74	33,75	29,3	26,4	92,01	29,3	2,63	15,60
IPE300	147,58	37,50	31,6	28,5	119,38	31,6	3,16	18,73
IPE330	188,94	40,00	34,7	31,2	152,84	34,7	3,69	21,89
IPE360	239,47	42,50	37,9	34,1	193,72	37,9	4,29	25,40
IPE400	307,15	45,00	41,7	37,5	248,47	41,7	5,00	29,60
IPE450	399,97	47,50	46,3	41,7	323,56	46,3	5,86	34,71
IPE500	515,59	50,00	51,2	46,1	417,09	51,2	6,82	40,43
IPE550	654,95	52,50	56,3	50,7	529,82	56,3	7,88	46,69
IPE600	825,32	55,00	61,8	55,6	667,64	61,8	9,05	53,65

Tableau (A.144). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,7	8,8	4,42	9,7	0,38	2,24
IPE100	9,26	13,75	11,6	10,5	7,51	11,6	0,54	3,19
IPE120	14,26	16,00	13,4	12,0	11,56	13,4	0,72	4,28
IPE140	20,75	18,25	15,1	13,6	16,82	15,1	0,92	5,51
IPE160	29,14	20,50	16,9	15,2	23,62	16,9	1,16	6,92
IPE180	39,01	22,75	18,5	16,7	31,62	18,5	1,41	8,43
IPE200	51,94	25,00	20,4	18,4	42,11	20,4	1,71	10,20
IPE220	66,98	27,50	22,1	19,9	54,30	22,1	2,04	12,15
IPE240	86,25	30,00	24,0	21,6	69,92	24,0	2,41	14,40
IPE270	113,74	33,75	26,0	23,4	92,20	26,0	2,94	17,54
IPE300	147,58	37,50	28,1	25,3	119,64	28,1	3,53	21,06
IPE330	188,94	40,00	30,8	27,7	153,16	30,8	4,12	24,61
IPE360	239,47	42,50	33,6	30,2	194,13	33,6	4,79	28,56
IPE400	307,15	45,00	37,0	33,3	248,99	37,0	5,58	33,28
IPE450	399,97	47,50	41,1	37,0	324,23	41,1	6,54	39,01
IPE500	515,59	50,00	45,5	40,9	417,96	45,5	7,62	45,45
IPE550	654,95	52,50	50,0	45,0	530,93	50,0	8,80	52,49
IPE600	825,32	55,00	54,8	49,4	669,04	54,8	10,11	60,31

Tableau (A.145). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=400\text{N/mm}^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	9,0	8,1	4,40	9,0	0,41	2,42
IPE100	9,26	13,75	10,7	9,6	7,48	10,7	0,59	3,45
IPE120	14,26	16,00	12,3	11,1	11,53	12,3	0,79	4,62
IPE140	20,75	18,25	13,9	12,5	16,77	13,9	1,01	5,96
IPE160	29,14	20,50	15,6	14,0	23,55	15,6	1,27	7,48
IPE180	39,01	22,75	17,1	15,4	31,53	17,1	1,55	9,12
IPE200	51,94	25,00	18,8	16,9	41,98	18,8	1,88	11,03
IPE220	66,98	27,50	20,4	18,3	54,14	20,4	2,24	13,14
IPE240	86,25	30,00	22,1	19,9	69,71	22,1	2,65	15,57
IPE270	113,74	33,75	24,0	21,6	91,93	24,0	3,23	18,96
IPE300	147,58	37,50	25,9	23,3	119,28	25,9	3,88	22,77
IPE330	188,94	40,00	28,4	25,5	152,71	28,4	4,53	26,61
IPE360	239,47	42,50	31,0	27,9	193,55	31,0	5,26	30,88
IPE400	307,15	45,00	34,1	30,7	248,25	34,1	6,12	35,98
IPE450	399,97	47,50	37,9	34,1	323,28	37,9	7,18	42,19
IPE500	515,59	50,00	41,9	37,7	416,72	41,9	8,36	49,14
IPE550	654,95	52,50	46,1	41,5	529,36	46,1	9,66	56,75
IPE600	825,32	55,00	50,6	45,5	667,06	50,6	11,10	65,21

b. Pour $f_{yk}=500\text{ N/mm}^2$

Tableau (A.146). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25\text{N/mm}^2$, $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	14,2	12,8	4,41	14,2	0,21	1,24
IPE100	9,26	8,25	16,9	15,2	7,49	16,9	0,30	1,76
IPE120	14,26	9,60	19,4	17,5	11,54	19,4	0,40	2,36
IPE140	20,75	10,95	22,0	19,8	16,79	22,0	0,51	3,04
IPE160	29,14	12,30	24,6	22,1	23,57	24,6	0,64	3,81
IPE180	39,01	13,65	27,0	24,3	31,56	27,0	0,78	4,65
IPE200	51,94	15,00	29,7	26,7	42,02	29,7	0,95	5,62
IPE220	66,98	16,50	32,1	28,9	54,18	32,1	1,13	6,70
IPE240	86,25	18,00	34,9	31,4	69,77	34,9	1,34	7,94
IPE270	113,74	20,25	37,8	34,0	92,01	37,8	1,63	9,67
IPE300	147,58	22,50	40,9	36,8	119,38	40,9	1,96	11,61
IPE330	188,94	24,00	44,8	40,3	152,84	44,8	2,29	13,57
IPE360	239,47	25,50	48,9	44,0	193,72	48,9	2,66	15,74
IPE400	307,15	27,00	53,8	48,4	248,47	53,8	3,10	18,34
IPE450	399,97	28,50	59,8	53,8	323,56	59,8	3,63	21,51
IPE500	515,59	30,00	66,1	59,5	417,09	66,1	4,23	25,05
IPE550	654,95	31,50	72,7	65,5	529,82	72,7	4,88	28,93
IPE600	825,32	33,00	79,8	71,8	667,64	79,8	5,61	33,25

Tableau (A.147). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	12,6	11,3	4,42	12,6	0,23	1,39
IPE100	9,26	8,25	15,0	13,5	7,51	15,0	0,33	1,98
IPE120	14,26	9,60	17,3	15,5	11,56	17,3	0,44	2,65
IPE140	20,75	10,95	19,5	17,5	16,82	19,5	0,57	3,41
IPE160	29,14	12,30	21,8	19,6	23,62	21,8	0,72	4,29
IPE180	39,01	13,65	23,9	21,5	31,62	23,9	0,88	5,23
IPE200	51,94	15,00	26,3	23,7	42,11	26,3	1,06	6,32
IPE220	66,98	16,50	28,5	25,7	54,30	28,5	1,26	7,53
IPE240	86,25	18,00	31,0	27,9	69,92	31,0	1,50	8,92
IPE270	113,74	20,25	33,6	30,2	92,20	33,6	1,82	10,87
IPE300	147,58	22,50	36,3	32,6	119,64	36,3	2,19	13,05
IPE330	188,94	24,00	39,7	35,8	153,16	39,7	2,56	15,25
IPE360	239,47	25,50	43,4	39,1	194,13	43,4	2,97	17,69
IPE400	307,15	27,00	47,8	43,0	248,99	47,8	3,46	20,62
IPE450	399,97	28,50	53,0	47,7	324,23	53,0	4,05	24,18
IPE500	515,59	30,00	58,7	52,8	417,96	58,7	4,72	28,16
IPE550	654,95	31,50	64,6	58,1	530,93	64,6	5,45	32,52
IPE600	825,32	33,00	70,8	63,7	669,04	70,8	6,26	37,37

Tableau (A.148). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	6,90	11,6	10,4	4,40	11,6	0,26	1,50
IPE100	9,26	8,25	13,8	12,5	7,48	13,8	0,36	2,14
IPE120	14,26	9,60	15,9	14,3	11,53	15,9	0,49	2,86
IPE140	20,75	10,95	18,0	16,2	16,77	18,0	0,63	3,69
IPE160	29,14	12,30	20,1	18,1	23,55	20,1	0,79	4,64
IPE180	39,01	13,65	22,1	19,9	31,53	22,1	0,96	5,65
IPE200	51,94	15,00	24,3	21,9	41,98	24,3	1,16	6,83
IPE220	66,98	16,50	26,3	23,7	54,14	26,3	1,39	8,14
IPE240	86,25	18,00	28,6	25,7	69,71	28,6	1,64	9,65
IPE270	113,74	20,25	30,9	27,9	91,93	30,9	2,00	11,75
IPE300	147,58	22,50	33,4	30,1	119,28	33,4	2,40	14,11
IPE330	188,94	24,00	36,6	33,0	152,71	36,6	2,81	16,49
IPE360	239,47	25,50	40,0	36,0	193,55	40,0	3,26	19,13
IPE400	307,15	27,00	44,0	39,6	248,25	44,0	3,80	22,30
IPE450	399,97	28,50	48,9	44,0	323,28	48,9	4,45	26,14
IPE500	515,59	30,00	54,1	48,7	416,72	54,1	5,18	30,45
IPE550	654,95	31,50	59,5	53,6	529,36	59,5	5,99	35,17
IPE600	825,32	33,00	65,3	58,8	667,06	65,3	6,88	40,41

Tableau (A.149). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	13,1	11,8	4,41	13,1	0,23	1,33
IPE100	9,26	9,63	15,6	14,1	7,49	15,6	0,32	1,90
IPE120	14,26	11,20	18,0	16,2	11,54	18,0	0,43	2,55
IPE140	20,75	12,78	20,3	18,3	16,79	20,3	0,55	3,28
IPE160	29,14	14,35	22,7	20,5	23,57	22,7	0,70	4,12
IPE180	39,01	15,93	25,0	22,5	31,56	25,0	0,85	5,02
IPE200	51,94	17,50	27,5	24,7	42,02	27,5	1,02	6,07
IPE220	66,98	19,25	29,8	26,8	54,18	29,8	1,22	7,23
IPE240	86,25	21,00	32,3	29,1	69,77	32,3	1,45	8,57
IPE270	113,74	23,63	35,0	31,5	92,01	35,0	1,76	10,44
IPE300	147,58	26,25	37,8	34,0	119,38	37,8	2,12	12,54
IPE330	188,94	28,00	41,4	37,3	152,84	41,4	2,47	14,65
IPE360	239,47	29,75	45,3	40,7	193,72	45,3	2,87	17,00
IPE400	307,15	31,50	49,8	44,8	248,47	49,8	3,34	19,81
IPE450	399,97	33,25	55,3	49,8	323,56	55,3	3,92	23,23
IPE500	515,59	35,00	61,2	55,1	417,09	61,2	4,57	27,06
IPE550	654,95	36,75	67,3	60,6	529,82	67,3	5,27	31,25
IPE600	825,32	38,50	73,9	66,5	667,64	73,9	6,06	35,91

Tableau (A.150). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	8,05	11,7	10,5	4,42	11,7	0,25	1,50
IPE100	9,26	9,63	13,9	12,5	7,51	13,9	0,36	2,14
IPE120	14,26	11,20	16,0	14,4	11,56	16,0	0,48	2,86
IPE140	20,75	12,78	18,0	16,2	16,82	18,0	0,62	3,69
IPE160	29,14	14,35	20,2	18,2	23,62	20,2	0,78	4,63
IPE180	39,01	15,93	22,2	19,9	31,62	22,2	0,95	5,64
IPE200	51,94	17,50	24,4	22,0	42,11	24,4	1,14	6,83
IPE220	66,98	19,25	26,4	23,8	54,30	26,4	1,36	8,13
IPE240	86,25	21,00	28,7	25,8	69,92	28,7	1,62	9,64
IPE270	113,74	23,63	31,1	28,0	92,20	31,1	1,97	11,74
IPE300	147,58	26,25	33,6	30,2	119,64	33,6	2,36	14,09
IPE330	188,94	28,00	36,8	33,1	153,16	36,8	2,76	16,47
IPE360	239,47	29,75	40,2	36,2	194,13	40,2	3,20	19,11
IPE400	307,15	31,50	44,2	39,8	248,99	44,2	3,73	22,27
IPE450	399,97	33,25	49,1	44,2	324,23	49,1	4,38	26,11
IPE500	515,59	35,00	54,3	48,9	417,96	54,3	5,10	30,42
IPE550	654,95	36,75	59,8	53,8	530,93	59,8	5,89	35,13
IPE600	825,32	38,50	65,6	59,0	669,04	65,6	6,77	40,36

Tableau (A.151). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=1,75$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	8,05	10,7	9,7	4,40	10,7	0,28	1,62
IPE100	9,26	9,63	12,8	11,5	7,48	12,8	0,39	2,31
IPE120	14,26	11,20	14,7	13,3	11,53	14,7	0,53	3,09
IPE140	20,75	12,78	16,6	15,0	16,77	16,6	0,68	3,99
IPE160	29,14	14,35	18,6	16,7	23,55	18,6	0,85	5,01
IPE180	39,01	15,93	20,4	18,4	31,53	20,4	1,04	6,10
IPE200	51,94	17,50	22,5	20,2	41,98	22,5	1,26	7,38
IPE220	66,98	19,25	24,4	21,9	54,14	24,4	1,50	8,79
IPE240	86,25	21,00	26,5	23,8	69,71	26,5	1,77	10,42
IPE270	113,74	23,63	28,7	25,8	91,93	28,7	2,16	12,69
IPE300	147,58	26,25	31,0	27,9	119,28	31,0	2,59	15,24
IPE330	188,94	28,00	33,9	30,5	152,71	33,9	3,03	17,81
IPE360	239,47	29,75	37,0	33,3	193,55	37,0	3,52	20,67
IPE400	307,15	31,50	40,8	36,7	248,25	40,8	4,10	24,08
IPE450	399,97	33,25	45,3	40,8	323,28	45,3	4,81	28,24
IPE500	515,59	35,00	50,1	45,1	416,72	50,1	5,60	32,89
IPE550	654,95	36,75	55,1	49,6	529,36	55,1	6,47	37,99
IPE600	825,32	38,50	60,5	54,4	667,06	60,5	7,43	43,65

Tableau (A.152). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	9,20	12,3	11,0	4,41	12,3	0,24	1,43
IPE100	9,26	11,00	14,6	13,2	7,49	14,6	0,34	2,03
IPE120	14,26	12,80	16,8	15,2	11,54	16,8	0,46	2,72
IPE140	20,75	14,60	19,0	17,1	16,79	19,0	0,59	3,51
IPE160	29,14	16,40	21,3	19,1	23,57	21,3	0,74	4,40
IPE180	39,01	18,20	23,4	21,0	31,56	23,4	0,91	5,37
IPE200	51,94	20,00	25,7	23,1	42,02	25,7	1,10	6,49
IPE220	66,98	22,00	27,8	25,0	54,18	27,8	1,30	7,73
IPE240	86,25	24,00	30,2	27,2	69,77	30,2	1,55	9,17
IPE270	113,74	27,00	32,7	29,5	92,01	32,7	1,88	11,16
IPE300	147,58	30,00	35,4	31,8	119,38	35,4	2,26	13,40
IPE330	188,94	32,00	38,8	34,9	152,84	38,8	2,64	15,66
IPE360	239,47	34,00	42,3	38,1	193,72	42,3	3,07	18,18
IPE400	307,15	36,00	46,6	41,9	248,47	46,6	3,57	21,18
IPE450	399,97	38,00	51,8	46,6	323,56	51,8	4,19	24,83
IPE500	515,59	40,00	57,3	51,5	417,09	57,3	4,88	28,93
IPE550	654,95	42,00	63,0	56,7	529,82	63,0	5,64	33,41
IPE600	825,32	44,00	69,1	62,2	667,64	69,1	6,48	38,39

Tableau (A.153). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,9	9,8	4,42	10,9	0,27	1,60
IPE100	9,26	11,00	13,0	11,7	7,51	13,0	0,38	2,29
IPE120	14,26	12,80	14,9	13,5	11,56	14,9	0,51	3,06
IPE140	20,75	14,60	16,9	15,2	16,82	16,9	0,66	3,94
IPE160	29,14	16,40	18,9	17,0	23,62	18,9	0,83	4,95
IPE180	39,01	18,20	20,7	18,7	31,62	20,7	1,01	6,03
IPE200	51,94	20,00	22,8	20,5	42,11	22,8	1,22	7,30
IPE220	66,98	22,00	24,7	22,2	54,30	24,7	1,46	8,69
IPE240	86,25	24,00	26,8	24,2	69,92	26,8	1,73	10,30
IPE270	113,74	27,00	29,1	26,2	92,20	29,1	2,10	12,55
IPE300	147,58	30,00	31,4	28,3	119,64	31,4	2,53	15,07
IPE330	188,94	32,00	34,4	31,0	153,16	34,4	2,95	17,61
IPE360	239,47	34,00	37,6	33,8	194,13	37,6	3,42	20,43
IPE400	307,15	36,00	41,4	37,2	248,99	41,4	3,99	23,81
IPE450	399,97	38,00	45,9	41,3	324,23	45,9	4,68	27,92
IPE500	515,59	40,00	50,8	45,8	417,96	50,8	5,45	32,52
IPE550	654,95	42,00	55,9	50,3	530,93	55,9	6,29	37,56
IPE600	825,32	44,00	61,3	55,2	669,04	61,3	7,23	43,15

Tableau (A.154). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,00$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	9,20	10,1	9,0	4,40	10,1	0,30	1,73
IPE100	9,26	11,00	12,0	10,8	7,48	12,0	0,42	2,47
IPE120	14,26	12,80	13,8	12,4	11,53	13,8	0,56	3,31
IPE140	20,75	14,60	15,6	14,0	16,77	15,6	0,73	4,26
IPE160	29,14	16,40	17,4	15,7	23,55	17,4	0,91	5,35
IPE180	39,01	18,20	19,1	17,2	31,53	19,1	1,11	6,52
IPE200	51,94	20,00	21,0	18,9	41,98	21,0	1,34	7,89
IPE220	66,98	22,00	22,8	20,5	54,14	22,8	1,60	9,40
IPE240	86,25	24,00	24,8	22,3	69,71	24,8	1,90	11,14
IPE270	113,74	27,00	26,8	24,1	91,93	26,8	2,31	13,57
IPE300	147,58	30,00	29,0	26,1	119,28	29,0	2,77	16,29
IPE330	188,94	32,00	31,7	28,6	152,71	31,7	3,24	19,04
IPE360	239,47	34,00	34,7	31,2	193,55	34,7	3,76	22,09
IPE400	307,15	36,00	38,1	34,3	248,25	38,1	4,38	25,75
IPE450	399,97	38,00	42,4	38,1	323,28	42,4	5,14	30,19
IPE500	515,59	40,00	46,9	42,2	416,72	46,9	5,99	35,16
IPE550	654,95	42,00	51,6	46,4	529,36	51,6	6,91	40,61
IPE600	825,32	44,00	56,6	50,9	667,06	56,6	7,94	46,66

Tableau (A.155). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	11,6	10,4	4,41	11,6	0,26	1,51
IPE100	9,26	12,38	13,8	12,4	7,49	13,8	0,36	2,16
IPE120	14,26	14,40	15,9	14,3	11,54	15,9	0,49	2,89
IPE140	20,75	16,43	17,9	16,1	16,79	17,9	0,63	3,72
IPE160	29,14	18,45	20,0	18,0	23,57	20,0	0,79	4,67
IPE180	39,01	20,48	22,0	19,8	31,56	22,0	0,96	5,69
IPE200	51,94	22,50	24,2	21,8	42,02	24,2	1,16	6,89
IPE220	66,98	24,75	26,2	23,6	54,18	26,2	1,38	8,20
IPE240	86,25	27,00	28,5	25,7	69,77	28,5	1,64	9,72
IPE270	113,74	30,38	30,9	27,8	92,01	30,9	2,00	11,84
IPE300	147,58	33,75	33,4	30,0	119,38	33,4	2,40	14,22
IPE330	188,94	36,00	36,5	32,9	152,84	36,5	2,80	16,61
IPE360	239,47	38,25	39,9	35,9	193,72	39,9	3,25	19,28
IPE400	307,15	40,50	43,9	39,5	248,47	43,9	3,79	22,47
IPE450	399,97	42,75	48,8	43,9	323,56	48,8	4,44	26,34
IPE500	515,59	45,00	54,0	48,6	417,09	54,0	5,18	30,68
IPE550	654,95	47,25	59,4	53,4	529,82	59,4	5,98	35,44
IPE600	825,32	49,50	65,1	58,6	667,64	65,1	6,87	40,72

Tableau (A.156). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	10,3	9,2	4,42	10,3	0,29	1,70
IPE100	9,26	12,38	12,2	11,0	7,51	12,2	0,41	2,42
IPE120	14,26	14,40	14,1	12,7	11,56	14,1	0,54	3,24
IPE140	20,75	16,43	15,9	14,3	16,82	15,9	0,70	4,18
IPE160	29,14	18,45	17,8	16,0	23,62	17,8	0,88	5,25
IPE180	39,01	20,48	19,5	17,6	31,62	19,5	1,07	6,40
IPE200	51,94	22,50	21,5	19,4	42,11	21,5	1,30	7,74
IPE220	66,98	24,75	23,3	21,0	54,30	23,3	1,55	9,22
IPE240	86,25	27,00	25,3	22,8	69,92	25,3	1,83	10,93
IPE270	113,74	30,38	27,4	24,7	92,20	27,4	2,23	13,31
IPE300	147,58	33,75	29,6	26,6	119,64	29,6	2,68	15,98
IPE330	188,94	36,00	32,4	29,2	153,16	32,4	3,13	18,68
IPE360	239,47	38,25	35,4	31,9	194,13	35,4	3,63	21,67
IPE400	307,15	40,50	39,0	35,1	248,99	39,0	4,23	25,26
IPE450	399,97	42,75	43,3	39,0	324,23	43,3	4,96	29,61
IPE500	515,59	45,00	47,9	43,1	417,96	47,9	5,78	34,49
IPE550	654,95	47,25	52,7	47,4	530,93	52,7	6,68	39,83
IPE600	825,32	49,50	57,8	52,0	669,04	57,8	7,67	45,77

Tableau (A.157). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,25$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	10,35	9,5	8,5	4,40	9,5	0,31	1,84
IPE100	9,26	12,38	11,3	10,2	7,48	11,3	0,45	2,62
IPE120	14,26	14,40	13,0	11,7	11,53	13,0	0,60	3,51
IPE140	20,75	16,43	14,7	13,2	16,77	14,7	0,77	4,52
IPE160	29,14	18,45	16,4	14,8	23,55	16,4	0,97	5,68
IPE180	39,01	20,48	18,0	16,2	31,53	18,0	1,18	6,92
IPE200	51,94	22,50	19,8	17,9	41,98	19,8	1,42	8,37
IPE220	66,98	24,75	21,5	19,3	54,14	21,5	1,70	9,97
IPE240	86,25	27,00	23,3	21,0	69,71	23,3	2,01	11,82
IPE270	113,74	30,38	25,3	22,7	91,93	25,3	2,45	14,39
IPE300	147,58	33,75	27,3	24,6	119,28	27,3	2,94	17,28
IPE330	188,94	36,00	29,9	26,9	152,71	29,9	3,44	20,19
IPE360	239,47	38,25	32,7	29,4	193,55	32,7	3,99	23,43
IPE400	307,15	40,50	36,0	32,4	248,25	36,0	4,65	27,31
IPE450	399,97	42,75	39,9	35,9	323,28	39,9	5,45	32,02
IPE500	515,59	45,00	44,2	39,8	416,72	44,2	6,35	37,30
IPE550	654,95	47,25	48,6	43,8	529,36	48,6	7,33	43,07
IPE600	825,32	49,50	53,3	48,0	667,06	53,3	8,42	49,49

Tableau (A.158). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=25N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	$Mur2$ (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm^2)	A_s (cm^2)
IPE80	5,45	11,50	11,0	9,9	4,41	11,0	0,27	1,59
IPE100	9,26	13,75	13,1	11,8	7,49	13,1	0,38	2,27
IPE120	14,26	16,00	15,1	13,6	11,54	15,1	0,51	3,04
IPE140	20,75	18,25	17,0	15,3	16,79	17,0	0,66	3,92
IPE160	29,14	20,50	19,0	17,1	23,57	19,0	0,83	4,92
IPE180	39,01	22,75	20,9	18,8	31,56	20,9	1,01	6,00
IPE200	51,94	25,00	23,0	20,7	42,02	23,0	1,22	7,26
IPE220	66,98	27,50	24,9	22,4	54,18	24,9	1,46	8,65
IPE240	86,25	30,00	27,0	24,3	69,77	27,0	1,73	10,25
IPE270	113,74	33,75	29,3	26,4	92,01	29,3	2,11	12,48
IPE300	147,58	37,50	31,6	28,5	119,38	31,6	2,53	14,99
IPE330	188,94	40,00	34,7	31,2	152,84	34,7	2,96	17,51
IPE360	239,47	42,50	37,9	34,1	193,72	37,9	3,43	20,32
IPE400	307,15	45,00	41,7	37,5	248,47	41,7	4,00	23,68
IPE450	399,97	47,50	46,3	41,7	323,56	46,3	4,69	27,77
IPE500	515,59	50,00	51,2	46,1	417,09	51,2	5,46	32,34
IPE550	654,95	52,50	56,3	50,7	529,82	56,3	6,30	37,35
IPE600	825,32	55,00	61,8	55,6	667,64	61,8	7,24	42,92

Tableau (A.159). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=32N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	11,50	9,7	8,8	4,42	9,7	0,30	1,79
IPE100	9,26	13,75	11,6	10,5	7,51	11,6	0,43	2,56
IPE120	14,26	16,00	13,4	12,0	11,56	13,4	0,57	3,42
IPE140	20,75	18,25	15,1	13,6	16,82	15,1	0,74	4,41
IPE160	29,14	20,50	16,9	15,2	23,62	16,9	0,93	5,53
IPE180	39,01	22,75	18,5	16,7	31,62	18,5	1,13	6,75
IPE200	51,94	25,00	20,4	18,4	42,11	20,4	1,37	8,16
IPE220	66,98	27,50	22,1	19,9	54,30	22,1	1,63	9,72
IPE240	86,25	30,00	24,0	21,6	69,92	24,0	1,93	11,52
IPE270	113,74	33,75	26,0	23,4	92,20	26,0	2,35	14,03
IPE300	147,58	37,50	28,1	25,3	119,64	28,1	2,82	16,85
IPE330	188,94	40,00	30,8	27,7	153,16	30,8	3,30	19,69
IPE360	239,47	42,50	33,6	30,2	194,13	33,6	3,83	22,84
IPE400	307,15	45,00	37,0	33,3	248,99	37,0	4,46	26,62
IPE450	399,97	47,50	41,1	37,0	324,23	41,1	5,23	31,21
IPE500	515,59	50,00	45,5	40,9	417,96	45,5	6,09	36,36
IPE550	654,95	52,50	50,0	45,0	530,93	50,0	7,04	41,99
IPE600	825,32	55,00	54,8	49,4	669,04	54,8	8,09	48,24

Tableau (A.160). Détermination de sections rectangulaires en BDS doublement armées équivalentes pour $f_{cu}=38N/mm^2$, $f_{yk}=500N/mm^2$, $\beta=2,50$ $x/d = 0,5$.

Profilé	M_p (KN.m)	bc (cm)	dc (cm)	d_{mod} (cm)	M_{ur2} (KN.m)	h_{mod} (cm)	$A's$ (cm ²)	A_s (cm ²)
IPE80	5,45	11,50	9,0	8,1	4,40	9,0	0,33	1,94
IPE100	9,26	13,75	10,7	9,6	7,48	10,7	0,47	2,76
IPE120	14,26	16,00	12,3	11,1	11,53	12,3	0,63	3,70
IPE140	20,75	18,25	13,9	12,5	16,77	13,9	0,81	4,76
IPE160	29,14	20,50	15,6	14,0	23,55	15,6	1,02	5,98
IPE180	39,01	22,75	17,1	15,4	31,53	17,1	1,24	7,29
IPE200	51,94	25,00	18,8	16,9	41,98	18,8	1,50	8,82
IPE220	66,98	27,50	20,4	18,3	54,14	20,4	1,79	10,51
IPE240	86,25	30,00	22,1	19,9	69,71	22,1	2,12	12,45
IPE270	113,74	33,75	24,0	21,6	91,93	24,0	2,58	15,17
IPE300	147,58	37,50	25,9	23,3	119,28	25,9	3,10	18,21
IPE330	188,94	40,00	28,4	25,5	152,71	28,4	3,62	21,29
IPE360	239,47	42,50	31,0	27,9	193,55	31,0	4,20	24,70
IPE400	307,15	45,00	34,1	30,7	248,25	34,1	4,90	28,79
IPE450	399,97	47,50	37,9	34,1	323,28	37,9	5,74	33,75
IPE500	515,59	50,00	41,9	37,7	416,72	41,9	6,69	39,31
IPE550	654,95	52,50	46,1	41,5	529,36	46,1	7,73	45,40
IPE600	825,32	55,00	50,6	45,5	667,06	50,6	8,88	52,17

ANNEXE B
PRESENTATION GRAPHIQUE DES
RESULTATS

B. PRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS

B.1 Choix du système de coordonnées adopté

Le choix du système de coordonnées obéit à une contrainte majeure, celle d'avoir l'ensemble des résultats sur un même abaque ; le moyen le plus judicieux est d'opter pour le système de coordonnées logarithmiques [9,14].

Le système qui a donné satisfaction après plusieurs tentatives et essais est celui de présenter les résultats par des courbes sous forme d'abaques à trois entrées. En abscisse, sont représentés $\{M_p (KN.m)\}$, de l'ensemble de la gamme. En ordonnée sur le côté gauche,

$\left\{ \ln \left(\frac{b_c \cdot h_c}{A_{ch}} \right) \right\}$ (logarithme de la section en béton armé sur la section d'un profilé en charpente métallique), et sur le côté droite en présente les taux d'armatures tendues et comprimées (ρ et ρ')

Les figures B.1 à B.40 montrent la présentation graphique des sections en *BO* et en *BDS* simplement et doublement armées équivalentes aux différents profilés *IPE*, pour les trois valeurs de la résistance caractéristique du béton, $f_{ck} (20, 25, 30) N/mm^2$, et pour les deux valeurs de $f_{yk} (400, 500) N/mm^2$, et ce pour la plage adoptée du rapport géométrique, β . Représentant un large éventail de sections pratiques.

B.2 Présentation des abaques développés (Eurocode 2)

B.2.1 Sections simplement armées

(i) Pour $f_{yk}=400 N/mm^2$

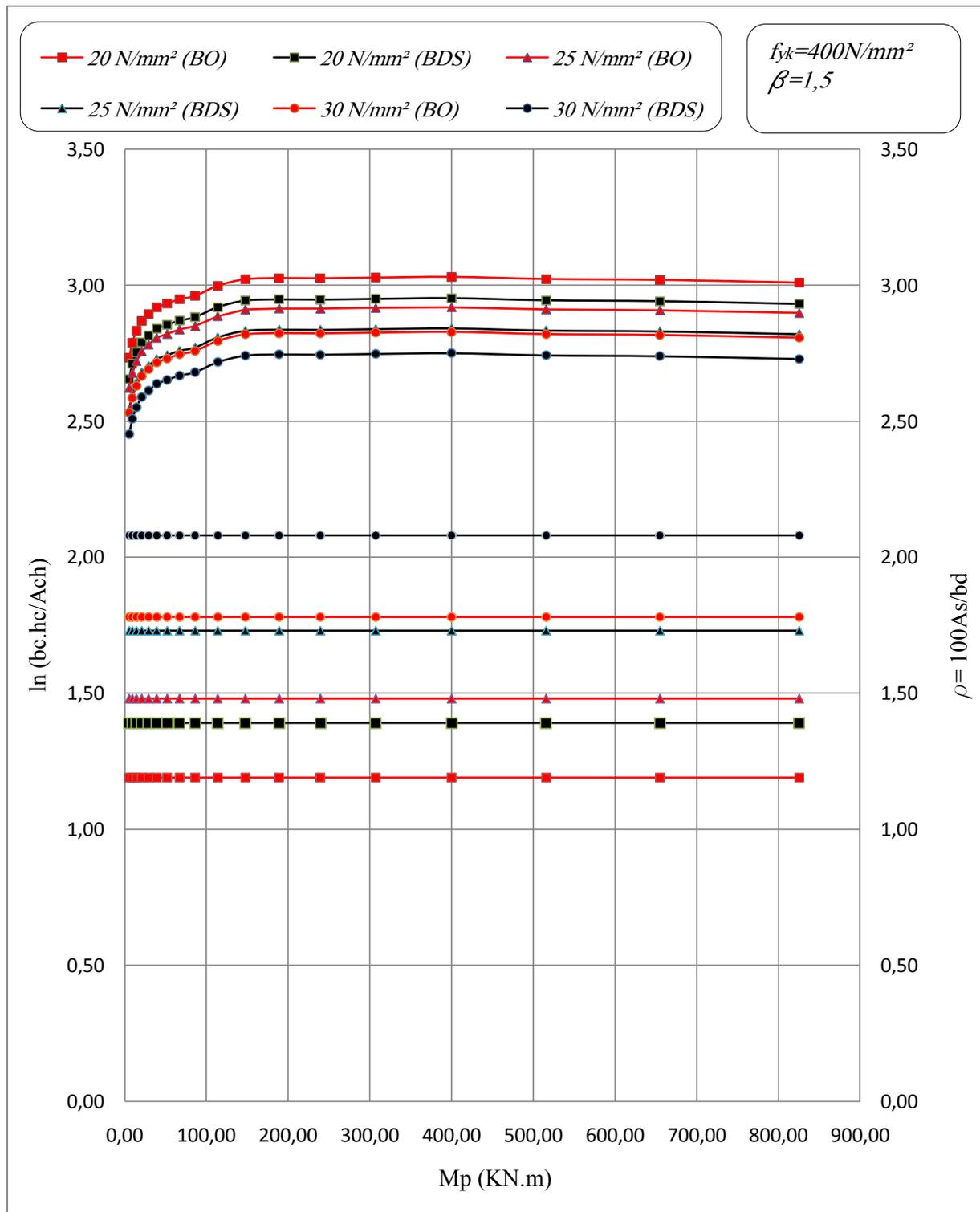


Figure (B.1). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1.50$

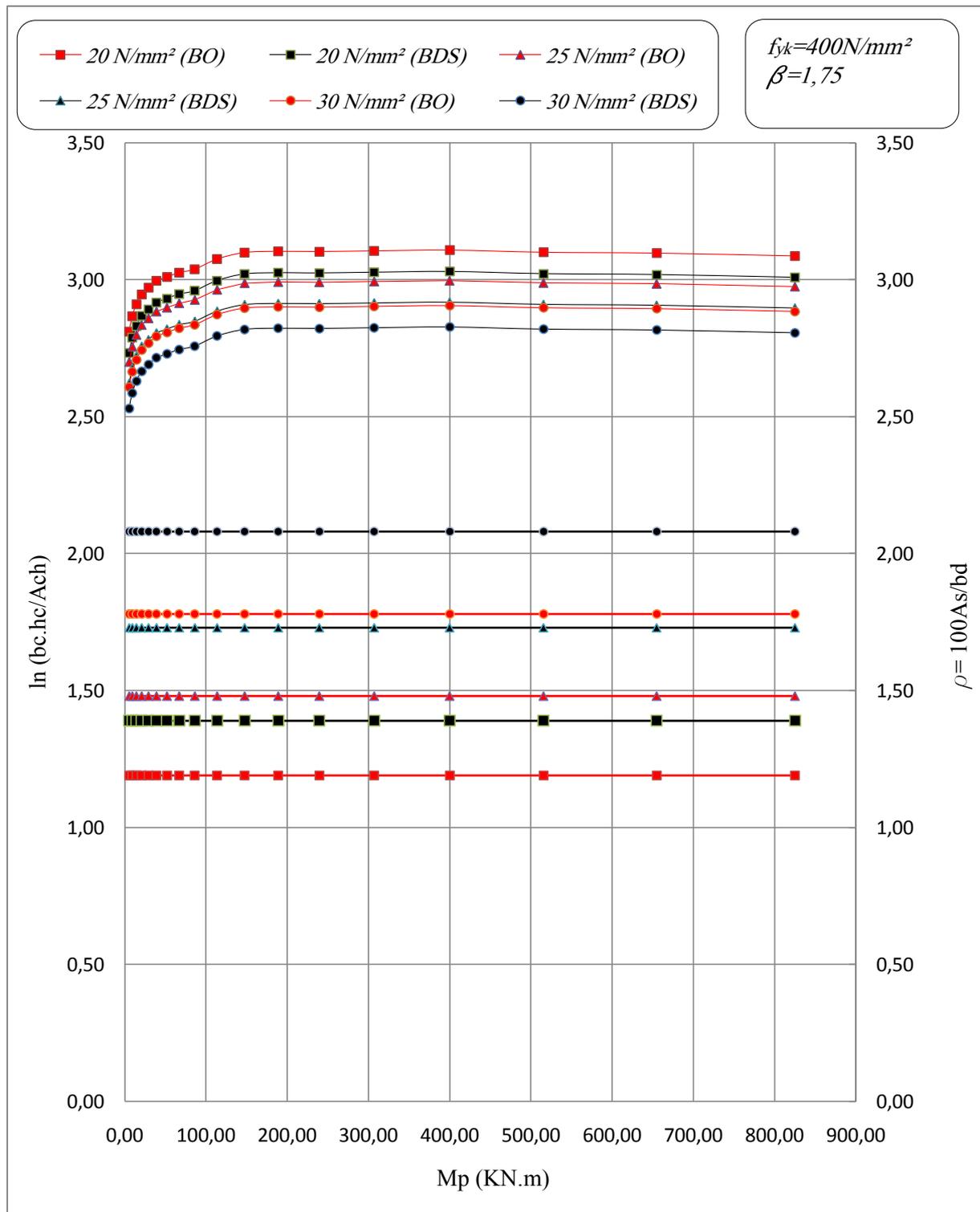


Figure (B.2). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$

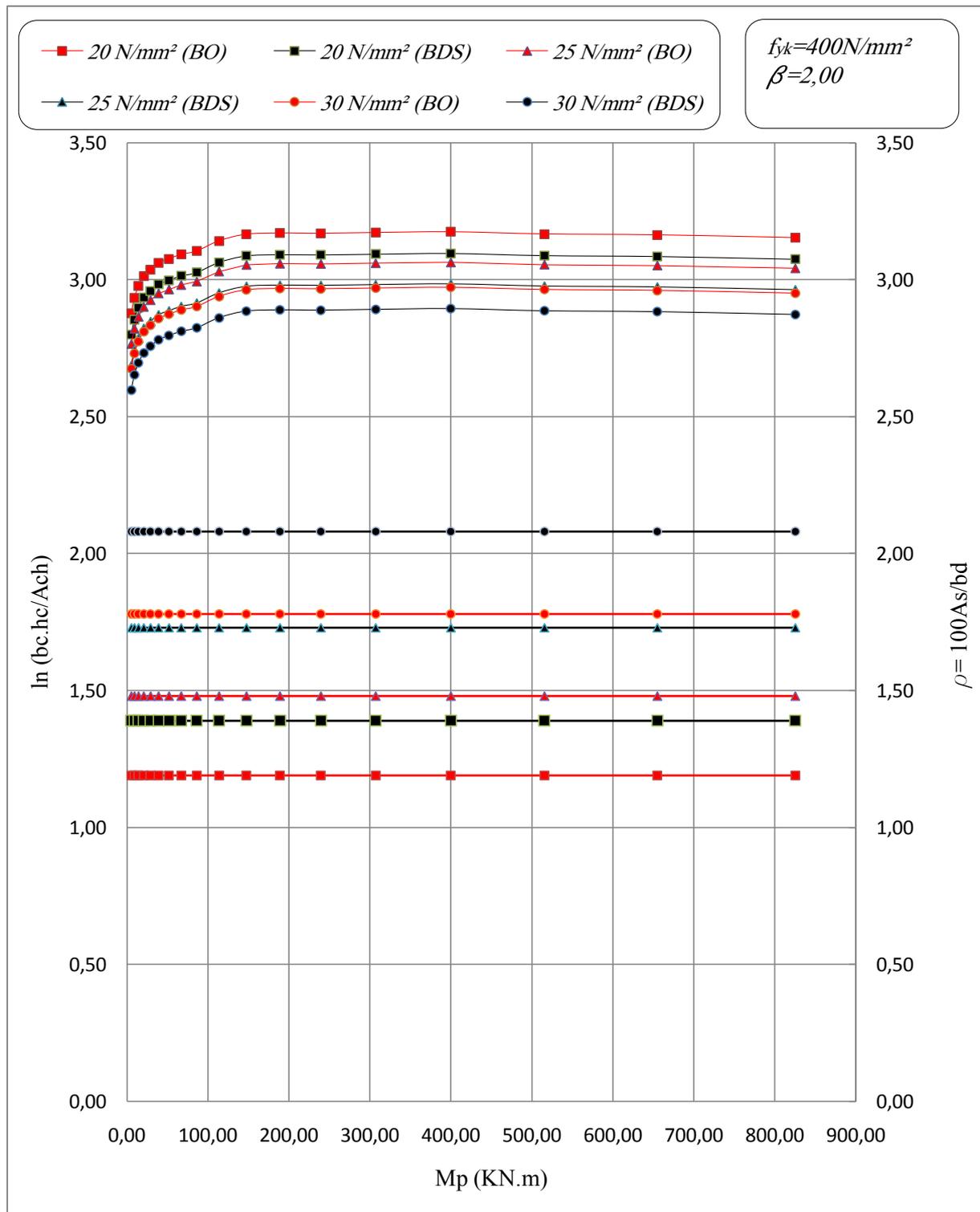


Figure (B.3). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2.00$

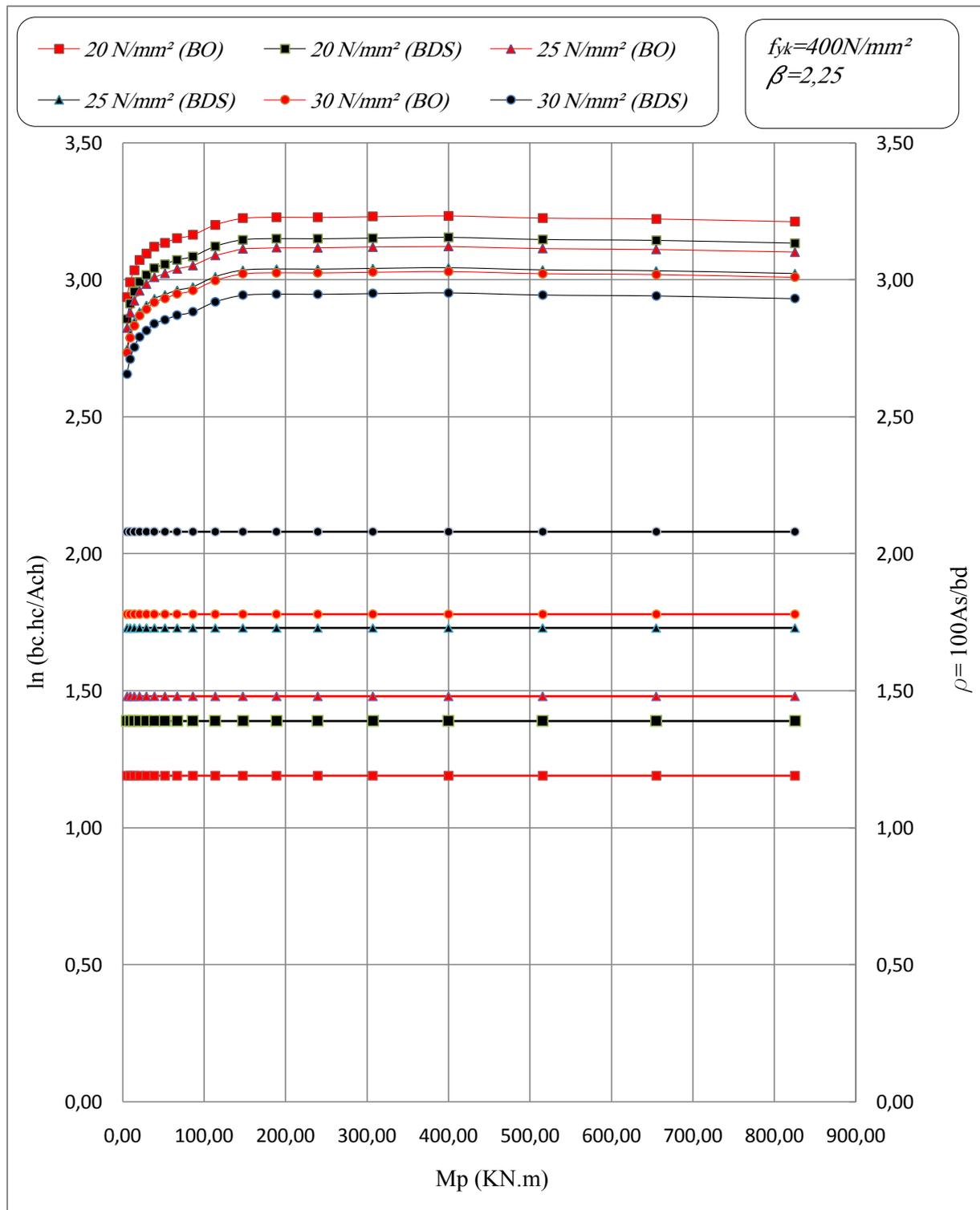


Figure (B.4). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2.25$

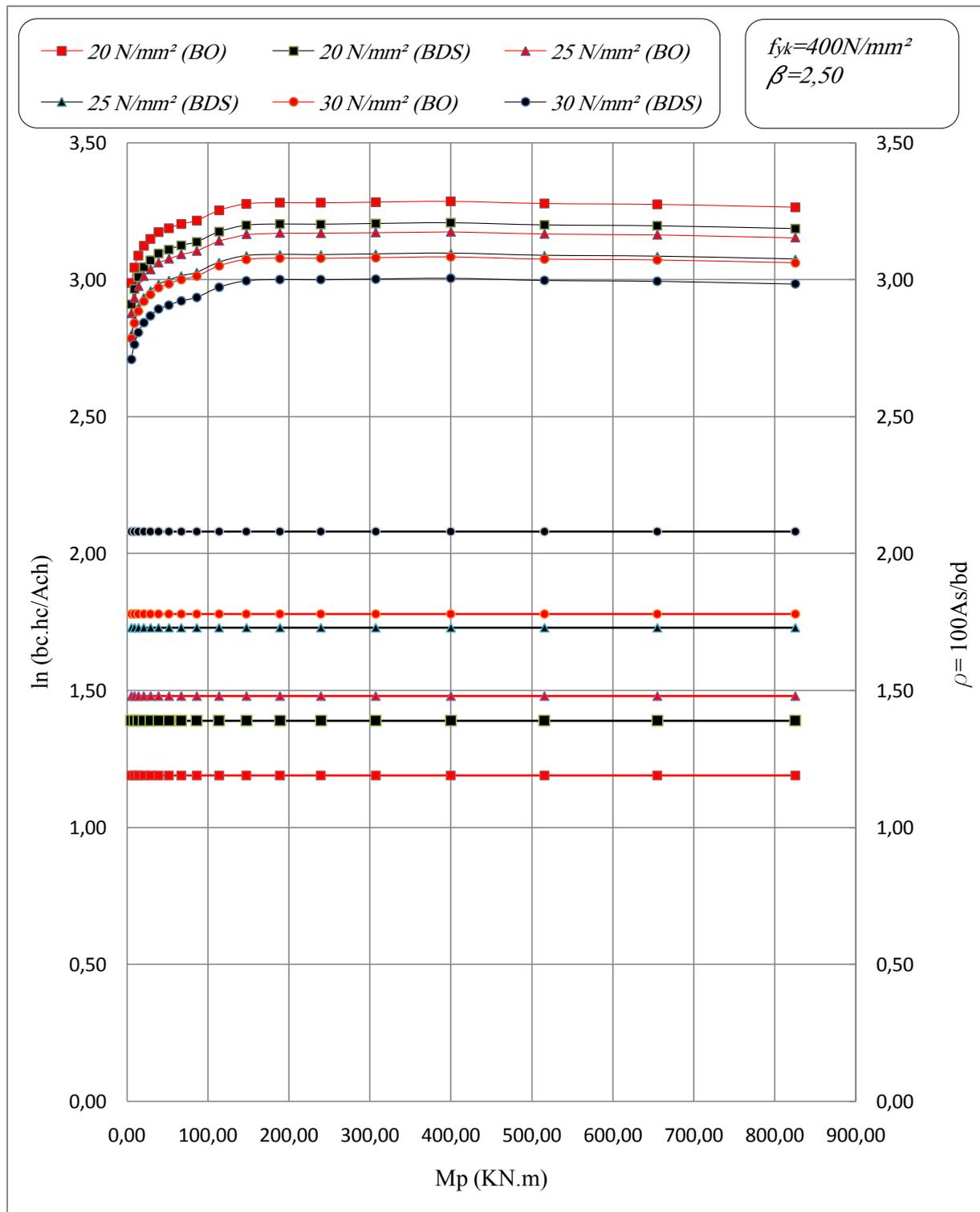


Figure (B.5). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2.50$

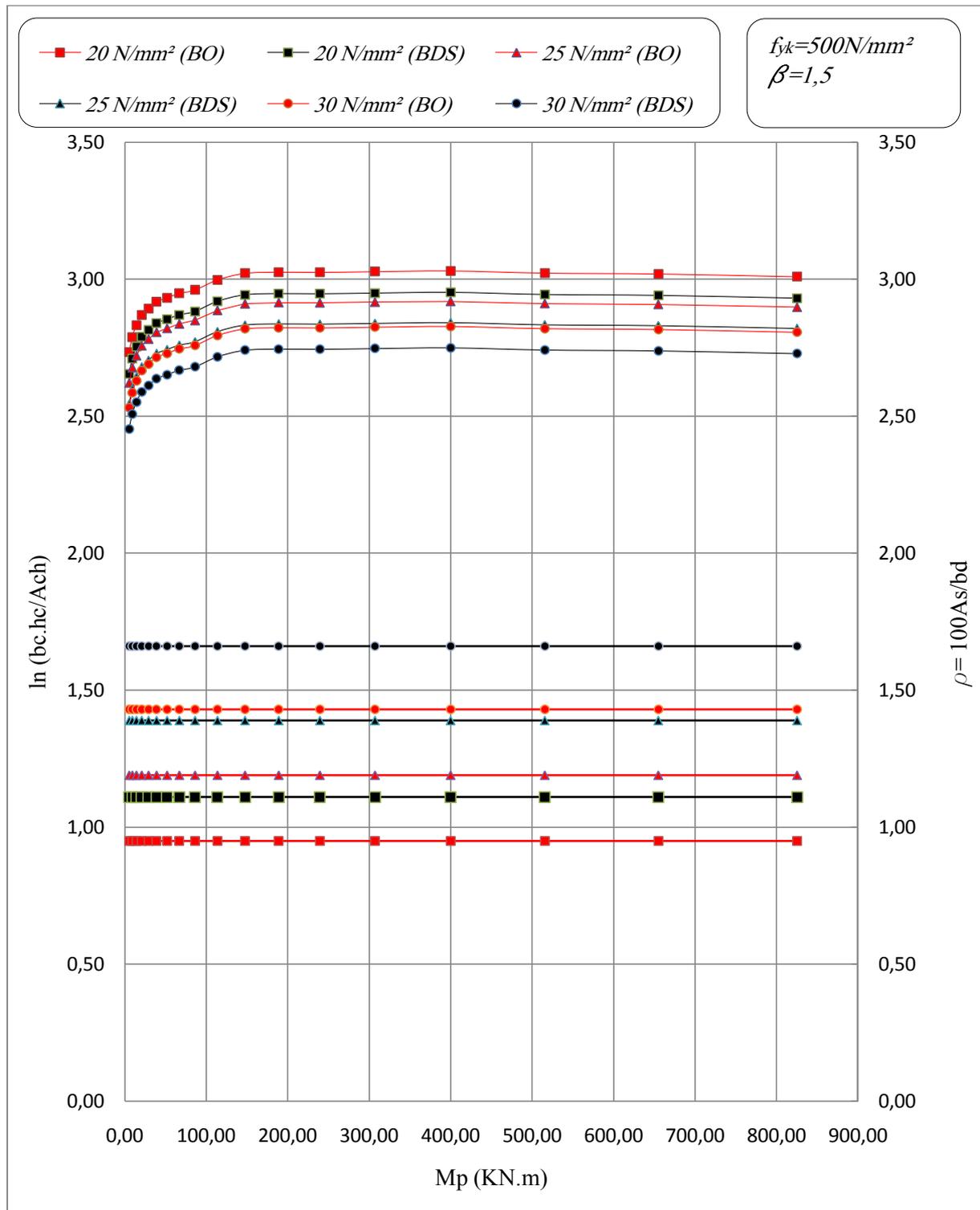
(ii) Pour $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ 

Figure (B.6). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1.50$

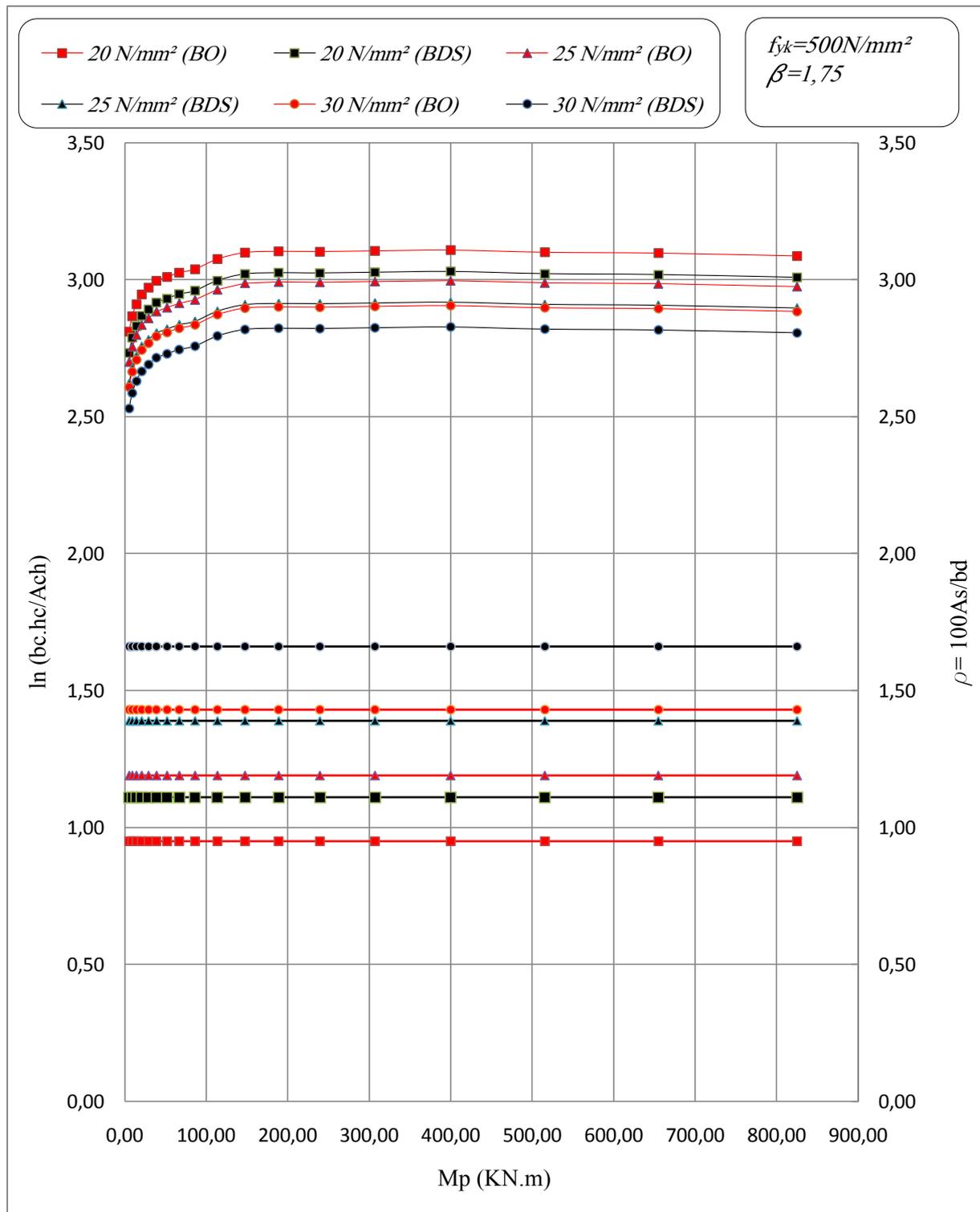


Figure (B.7). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$

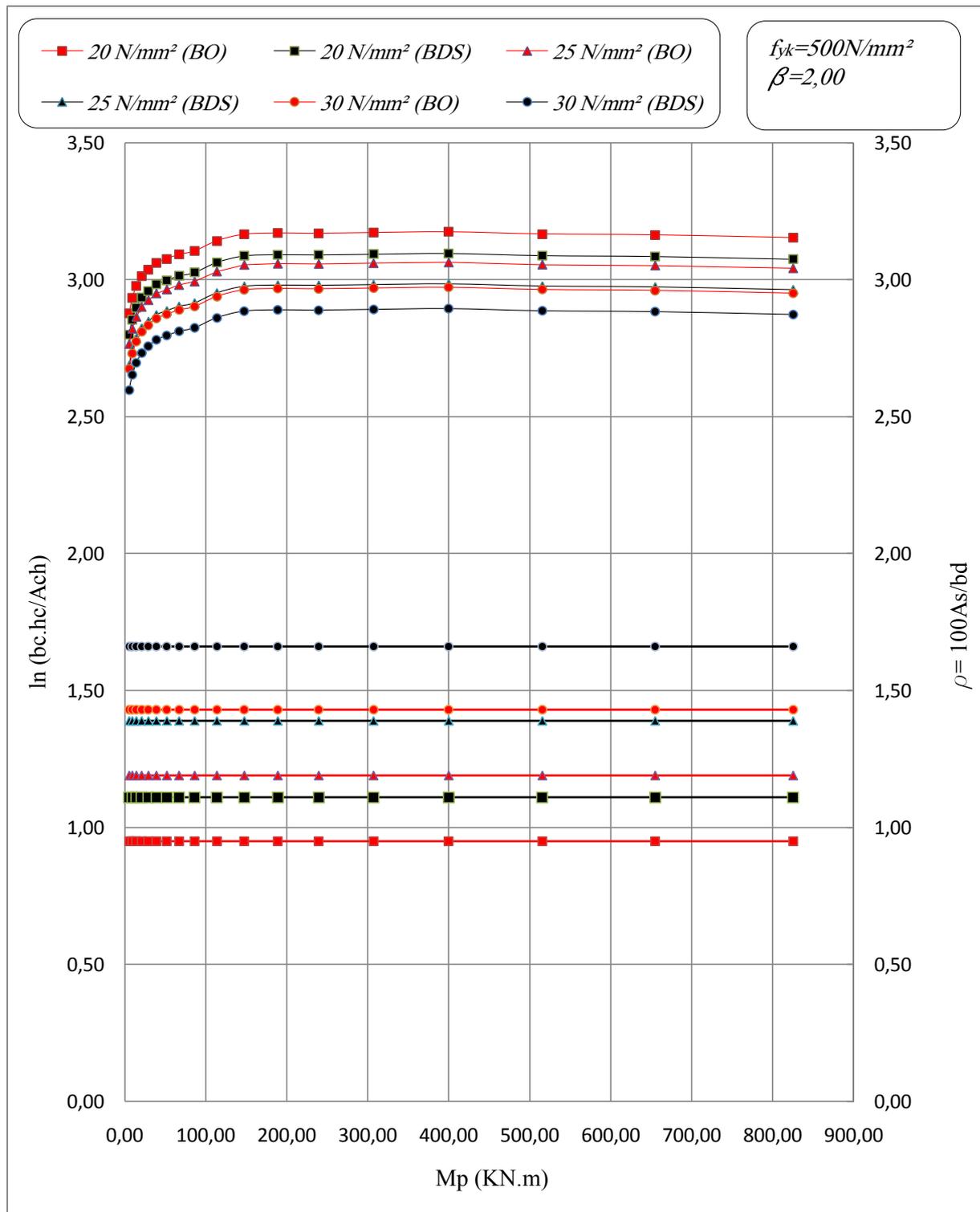


Figure (B.8). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,00$

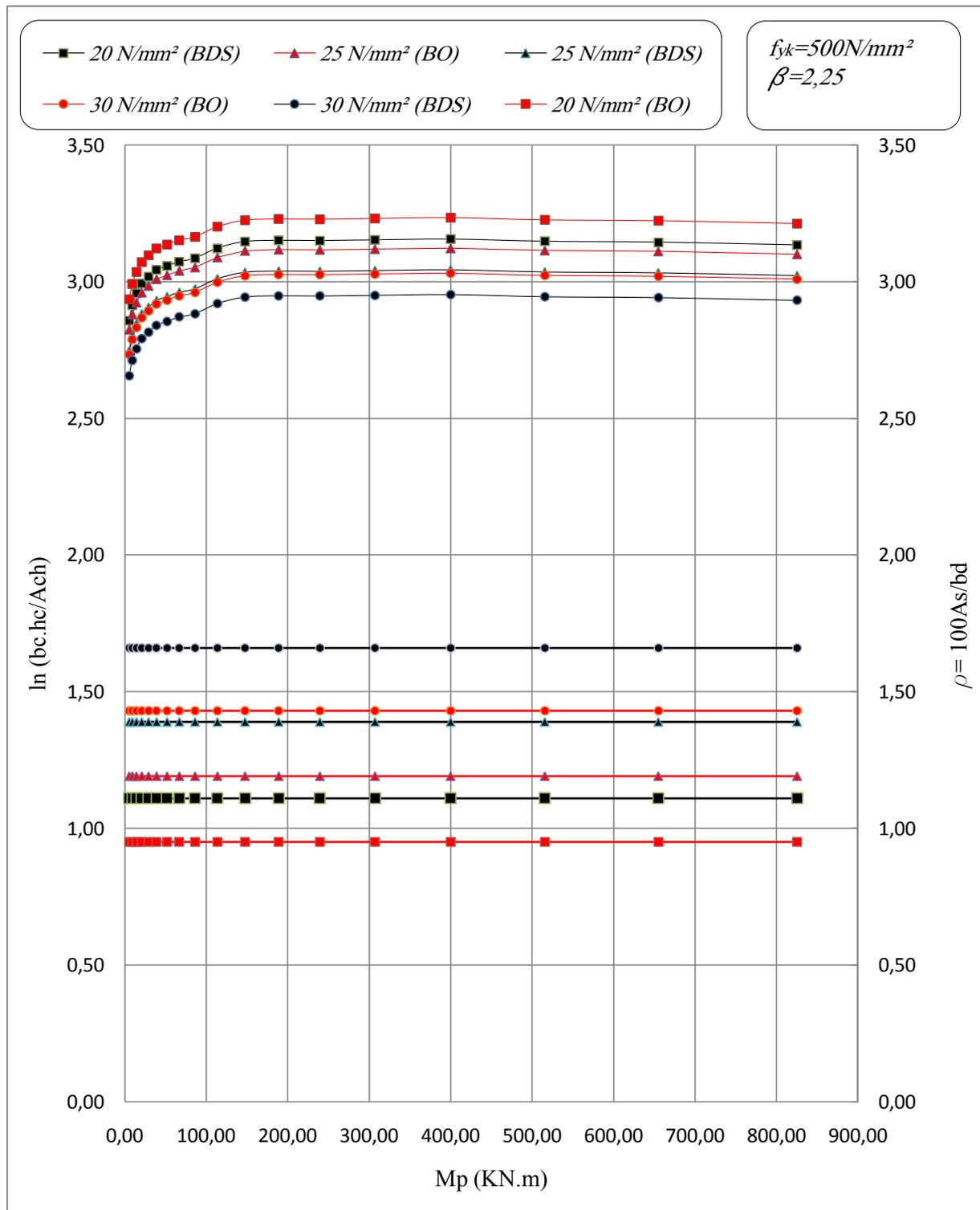


Figure (B.9). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$

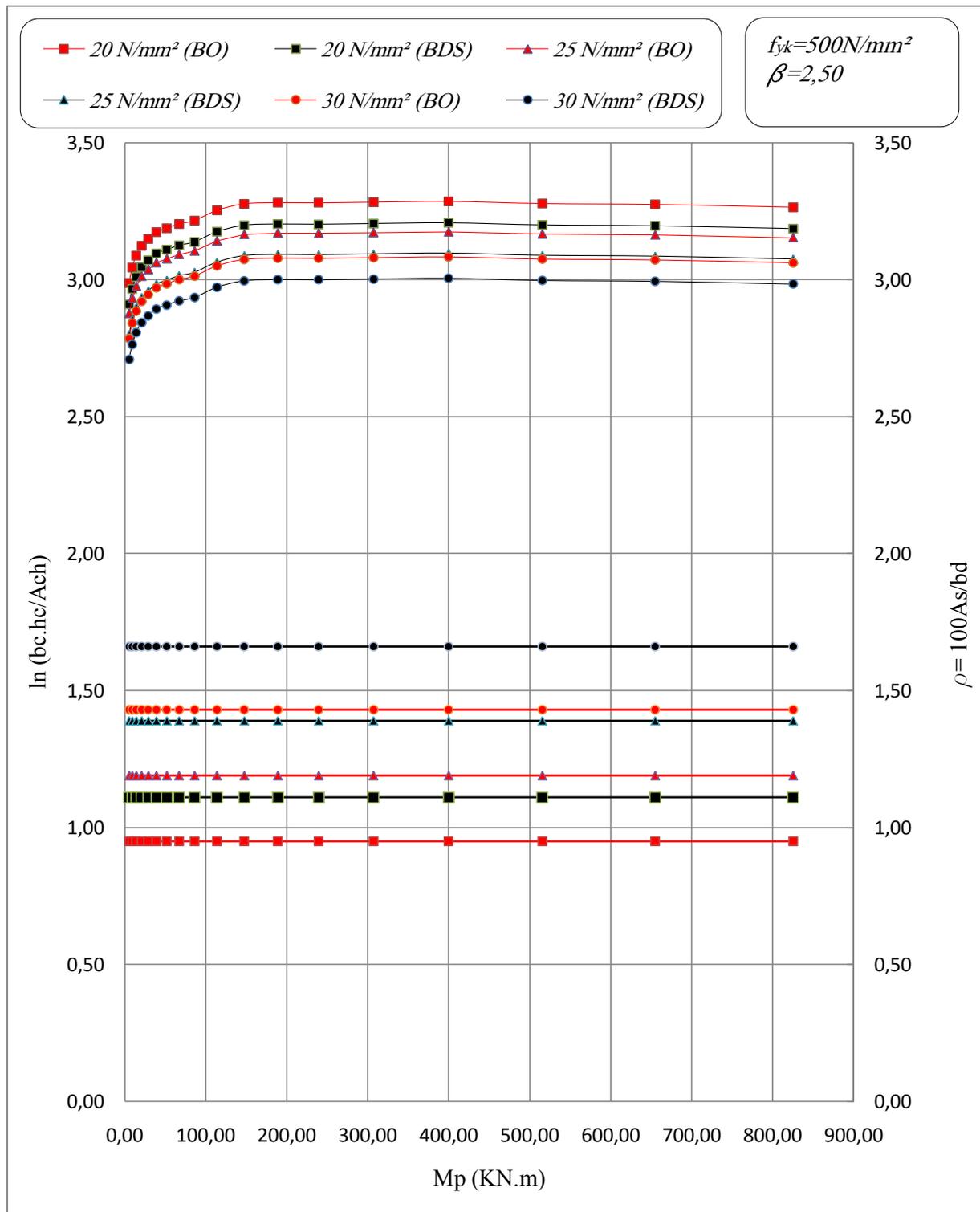


Figure (B.10). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$

B.2.2 Sections doublement armées

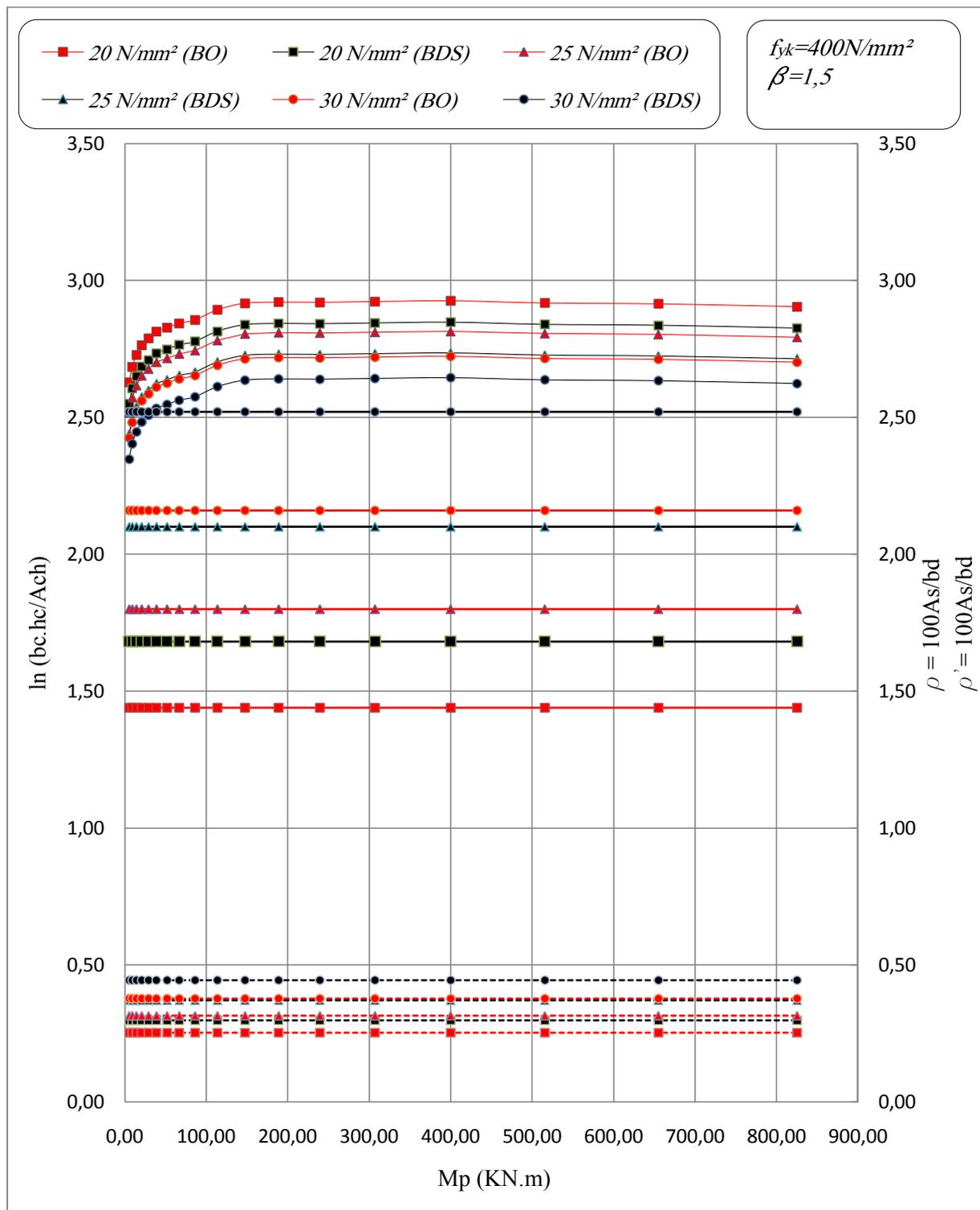
(i) Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$ 

Figure (B.11). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta= 1,50$

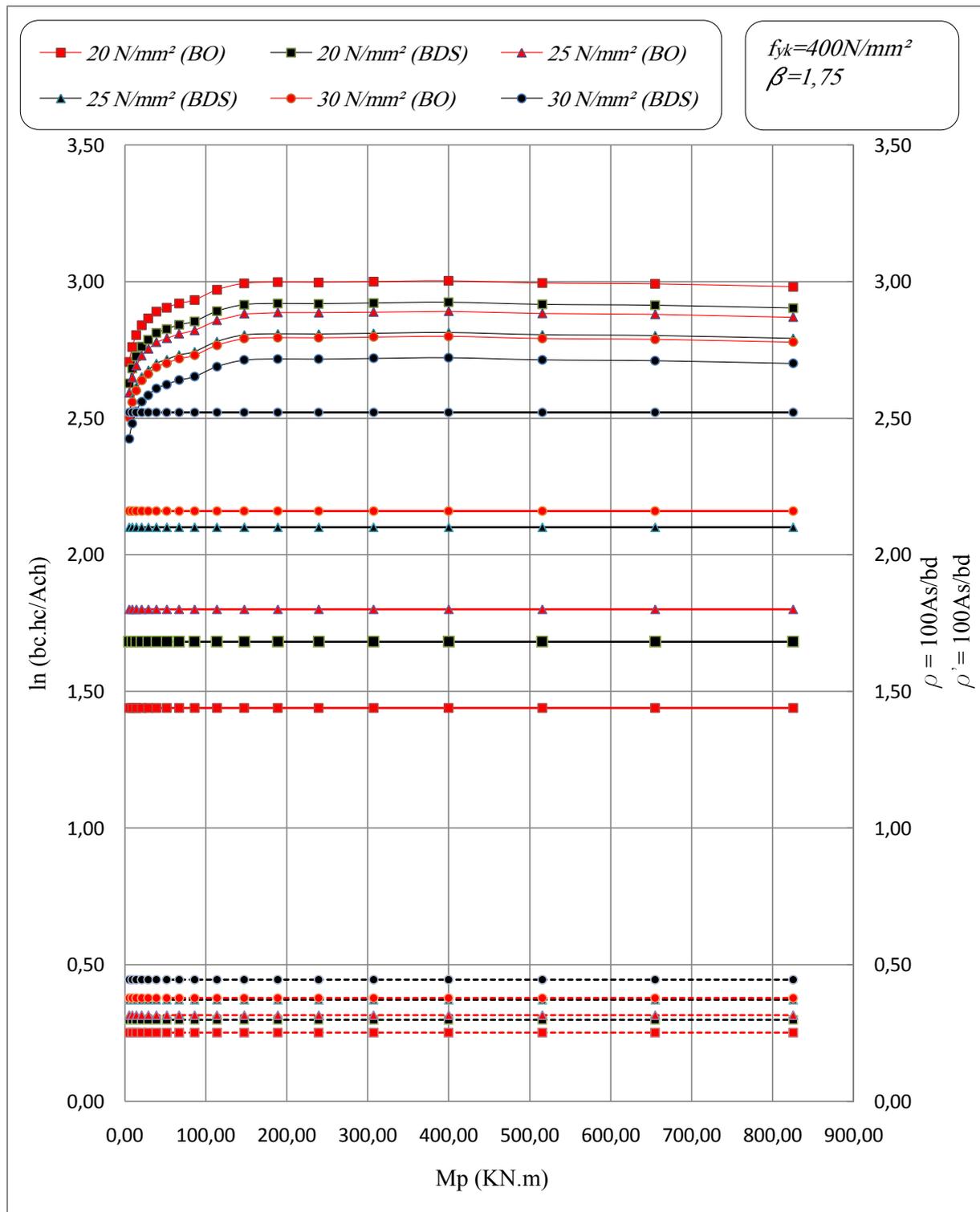


Figure (B.12). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$

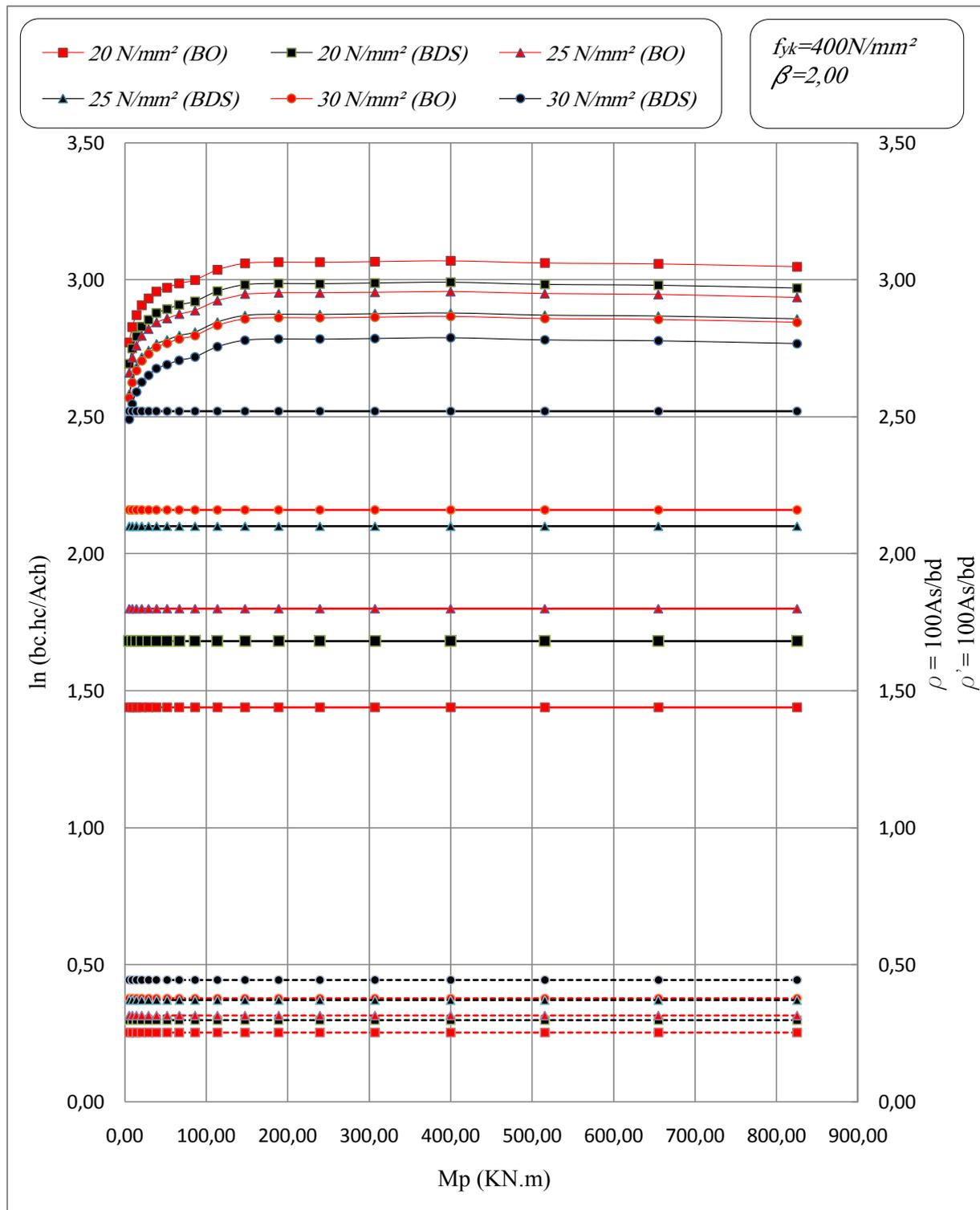


Figure (B.13). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$

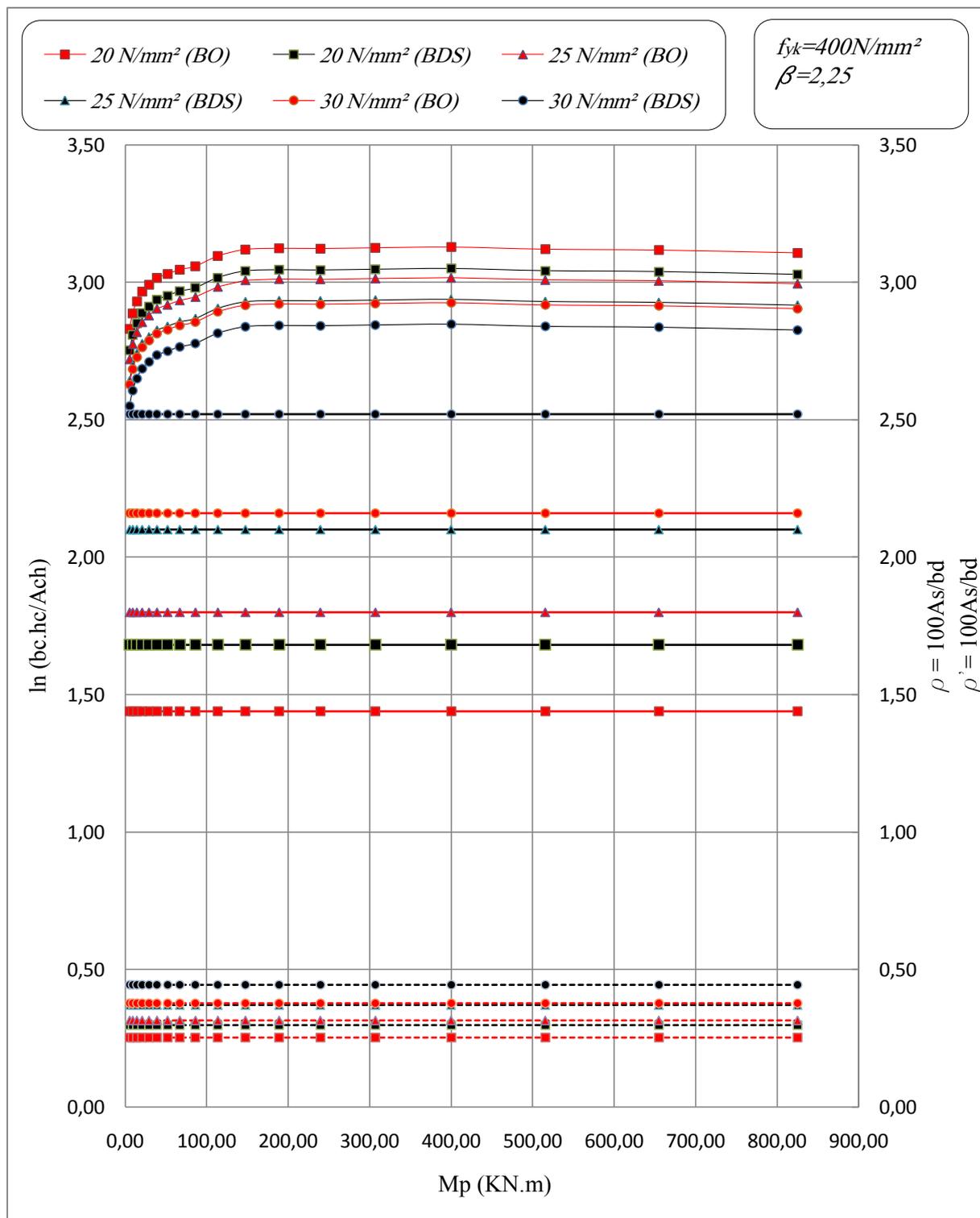


Figure (B.14). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$

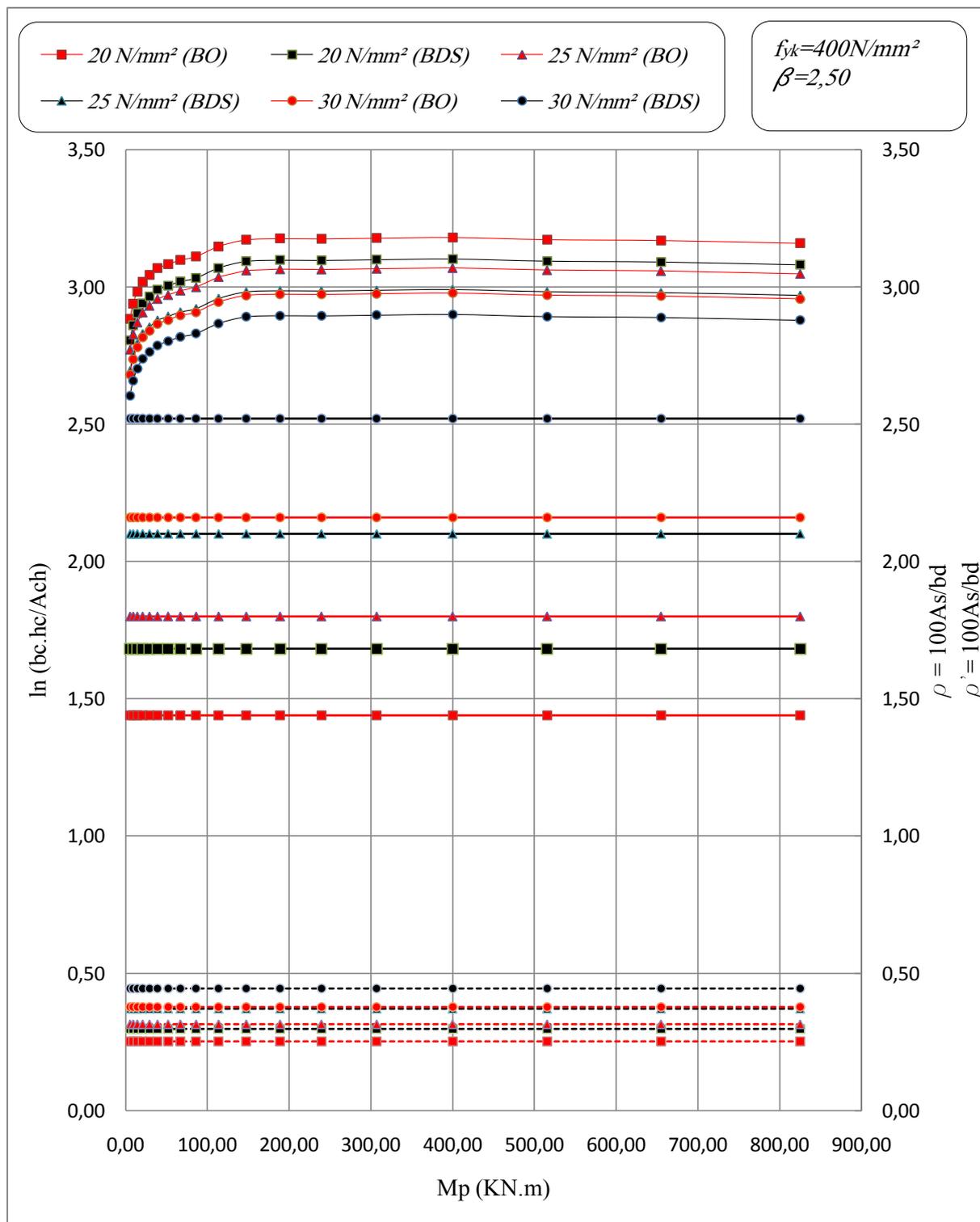


Figure (B.15). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$

(ii) Pour $f_{yk}=500\text{ N/mm}^2$

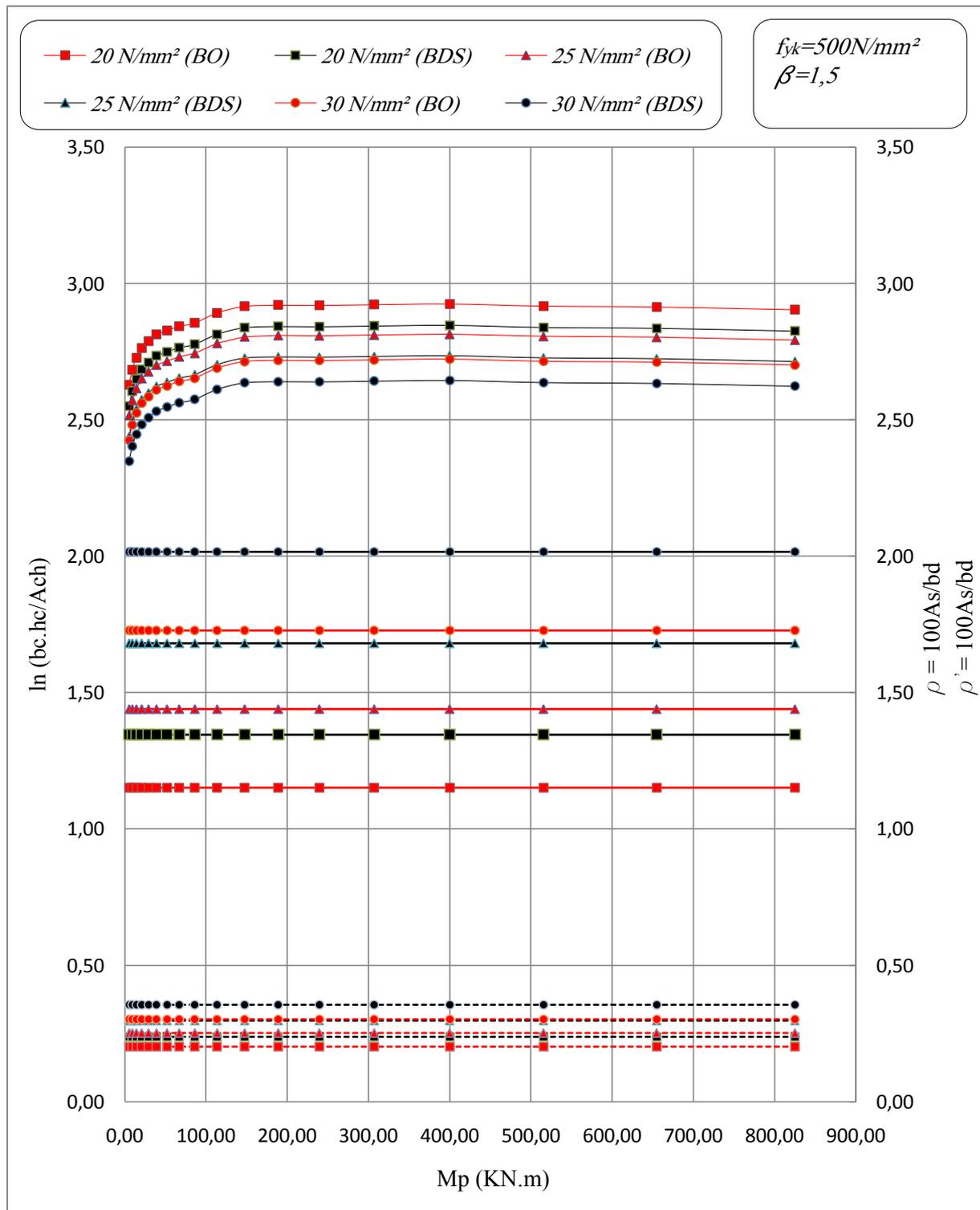


Figure (B.16). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$

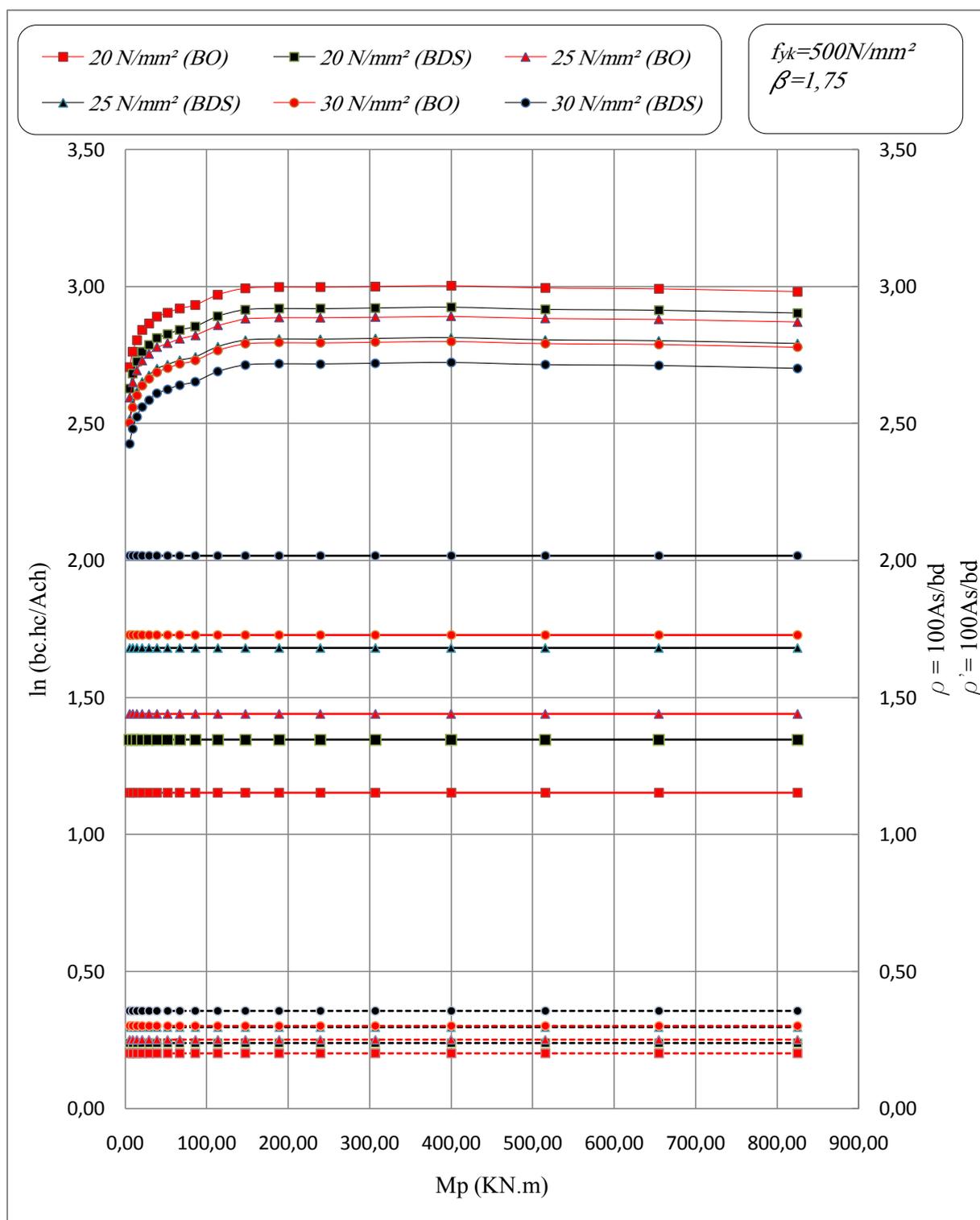


Figure (B.17). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,75$

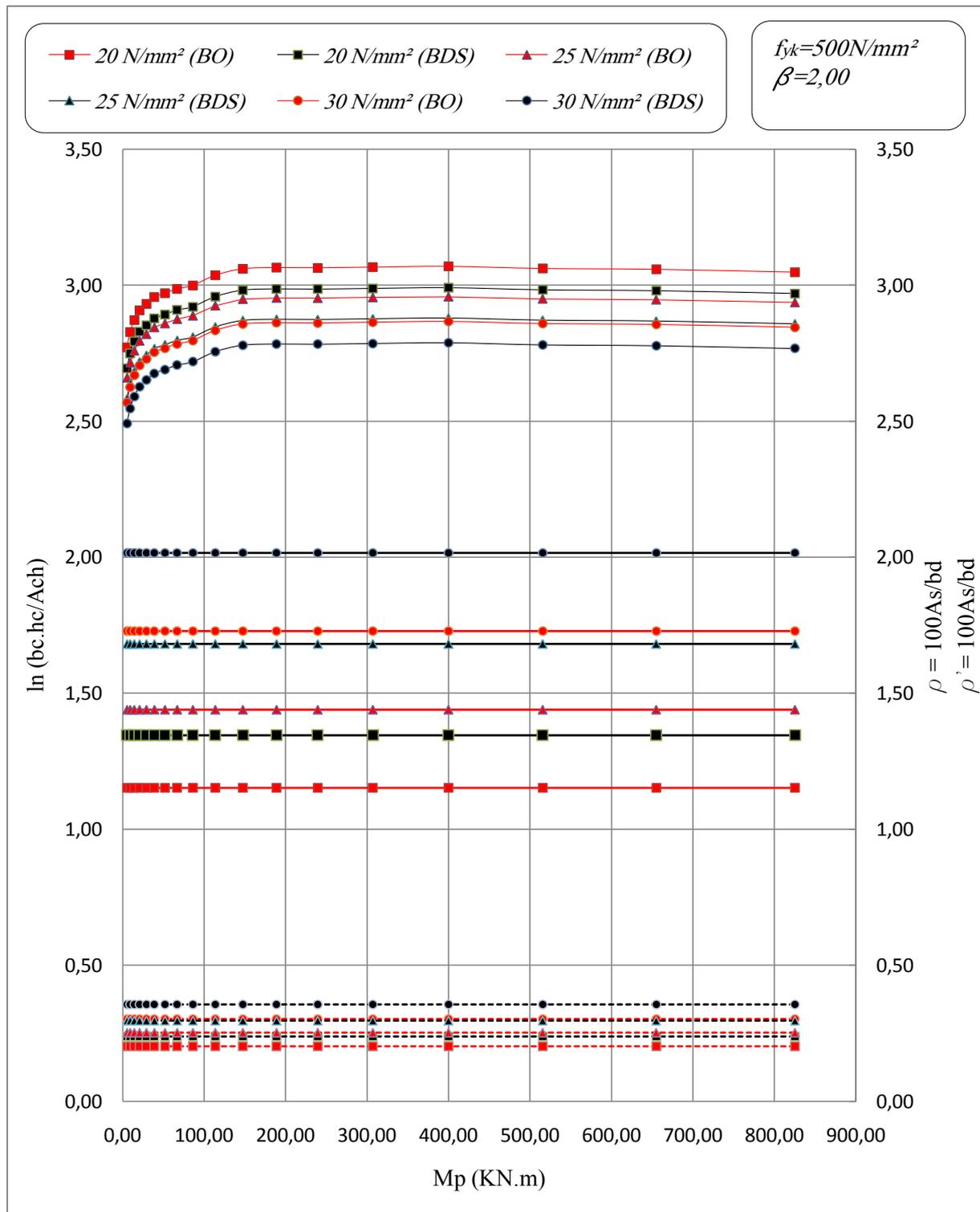


Figure (B.18). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$

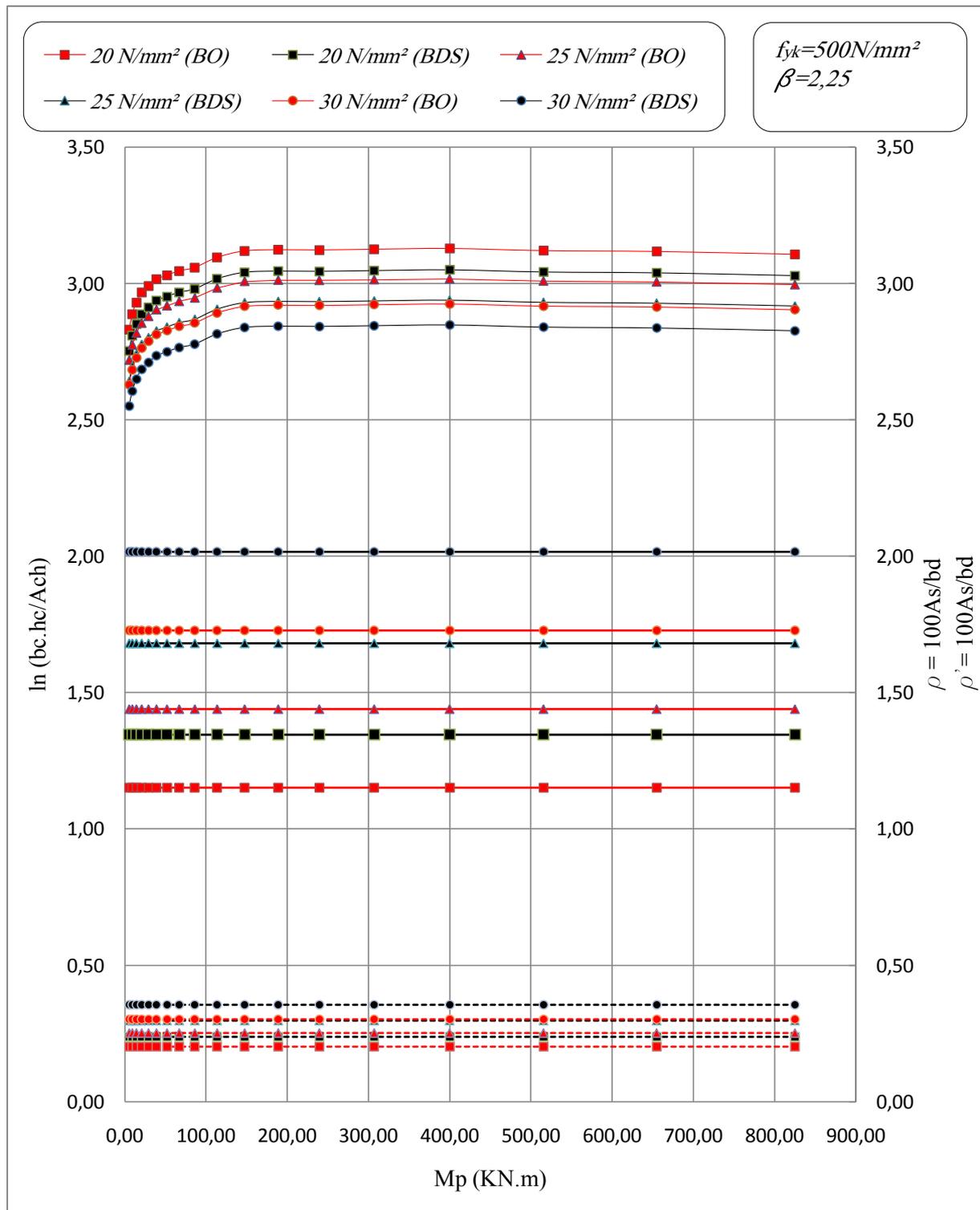


Figure (B.19). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$

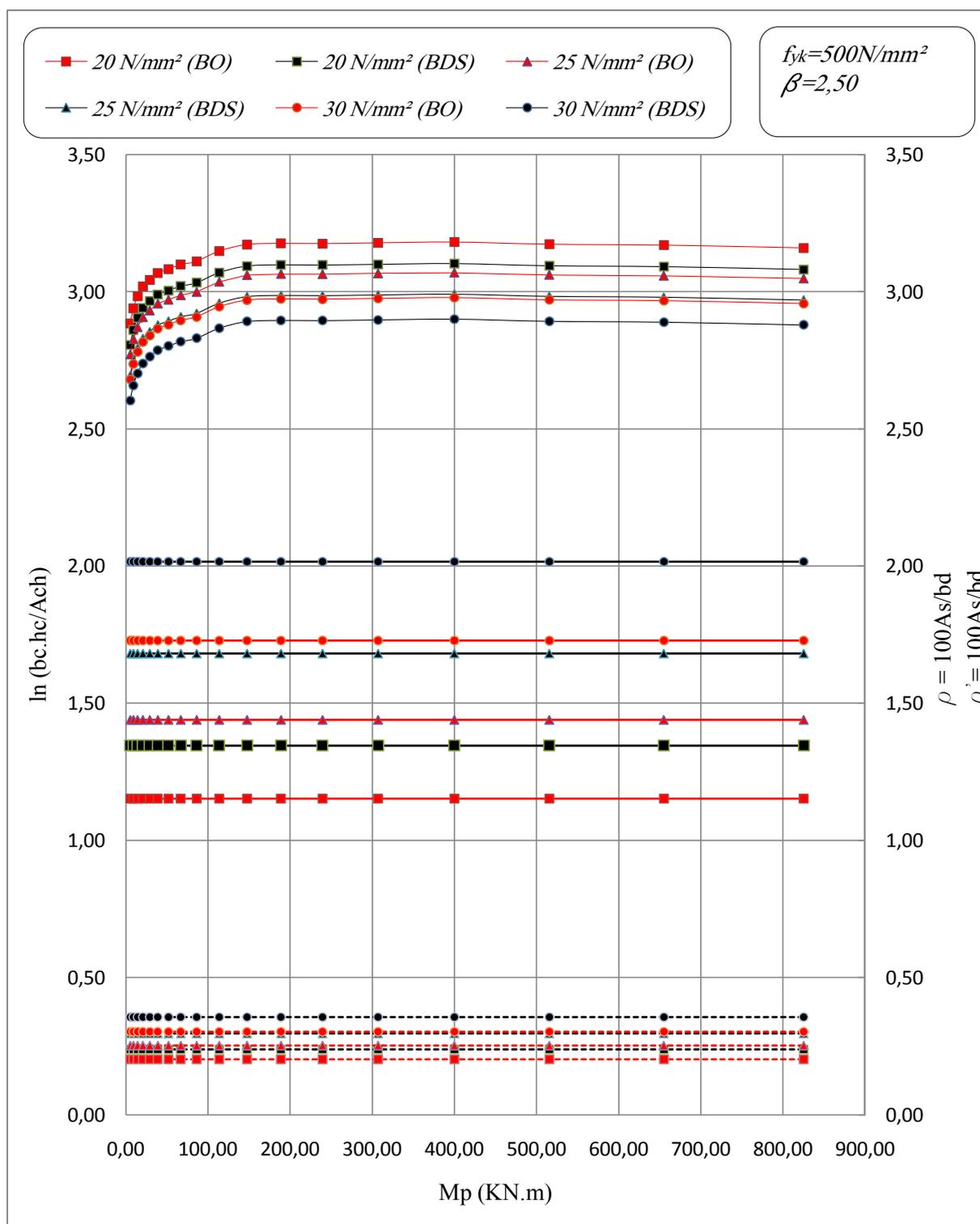


Figure (B.20). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$

B.3 Présentation des abaques développés (CP110)

B.3.1 Sections simplement armées

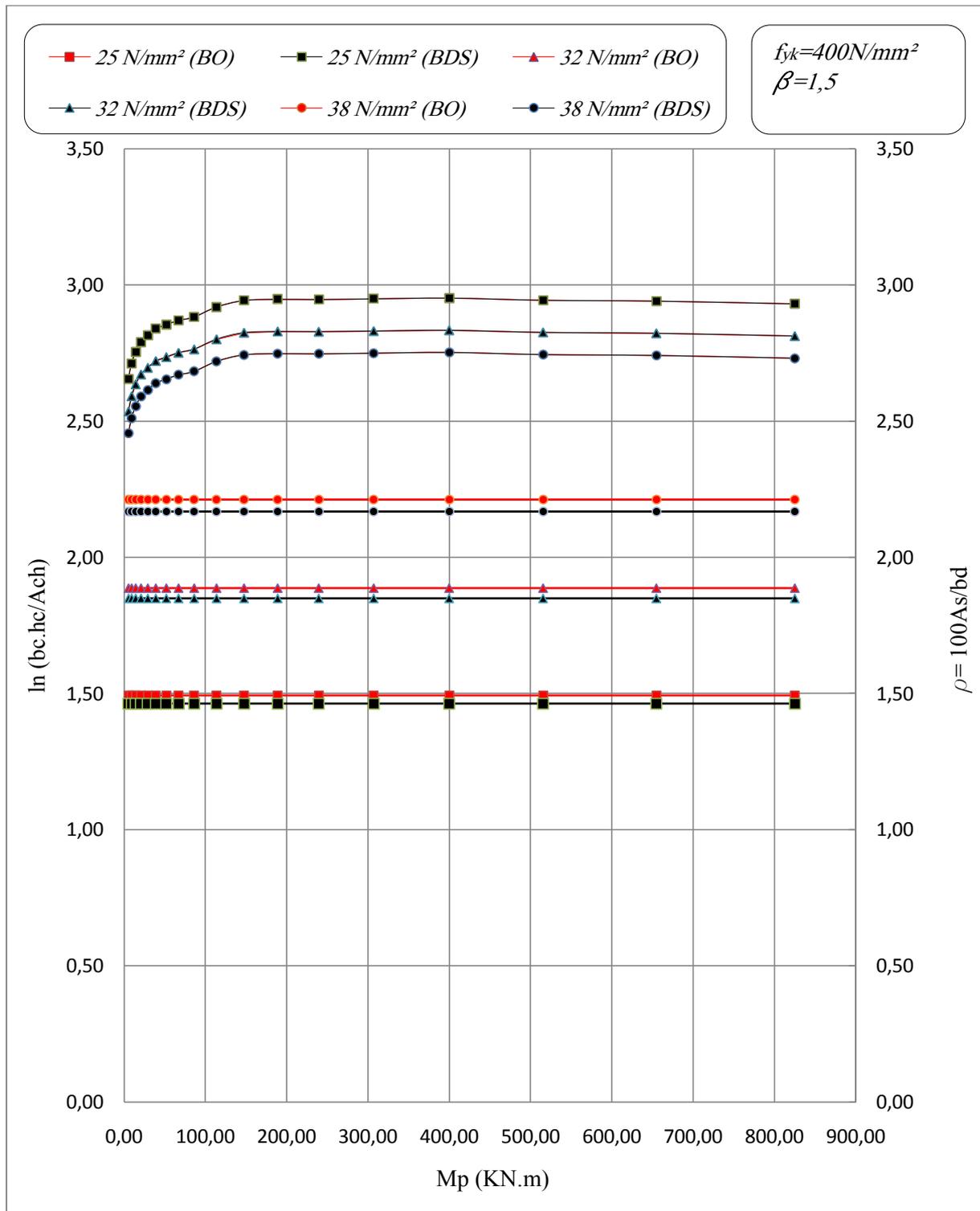
(i) Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$ 

Figure (B.21). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$

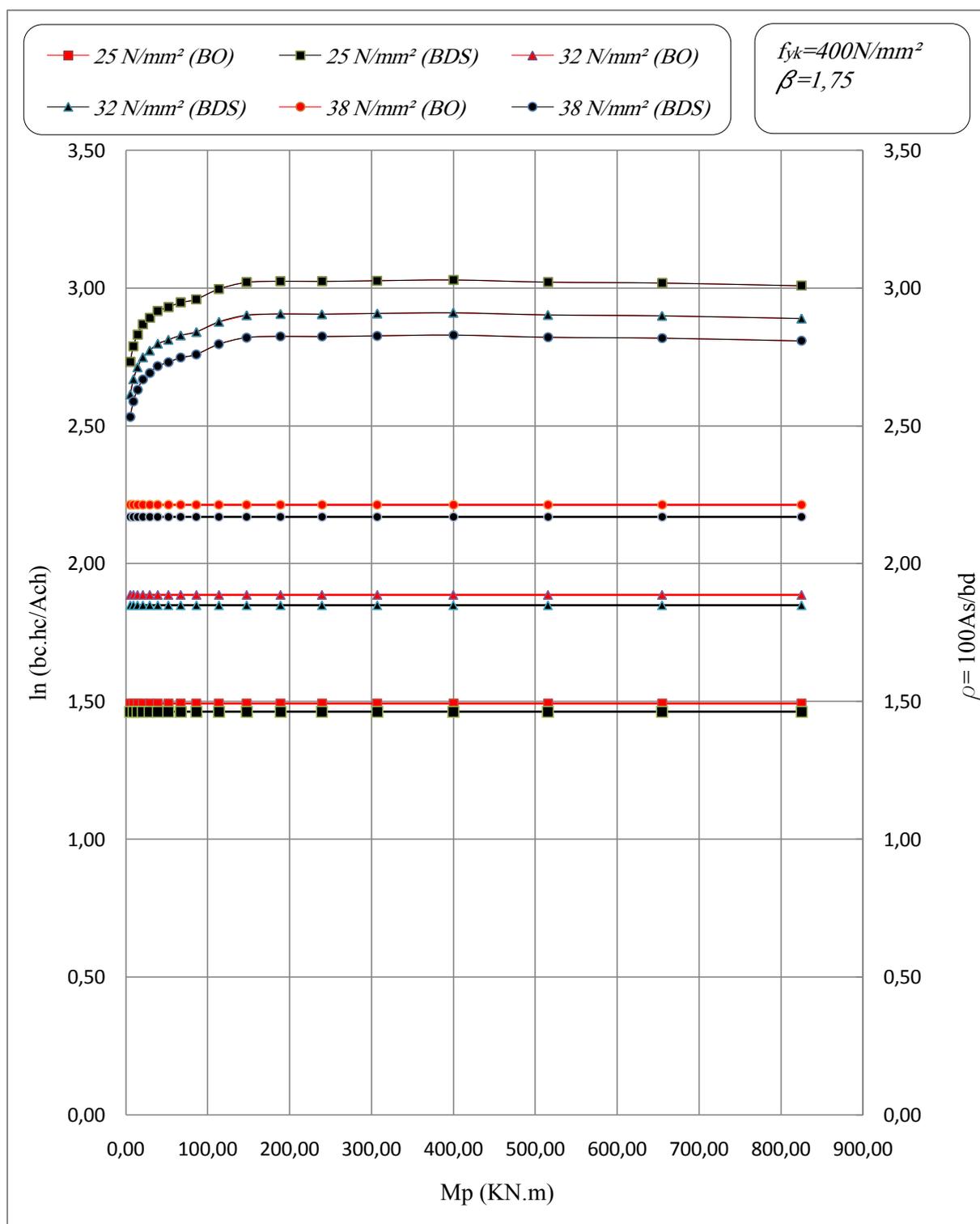


Figure (B.22). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$

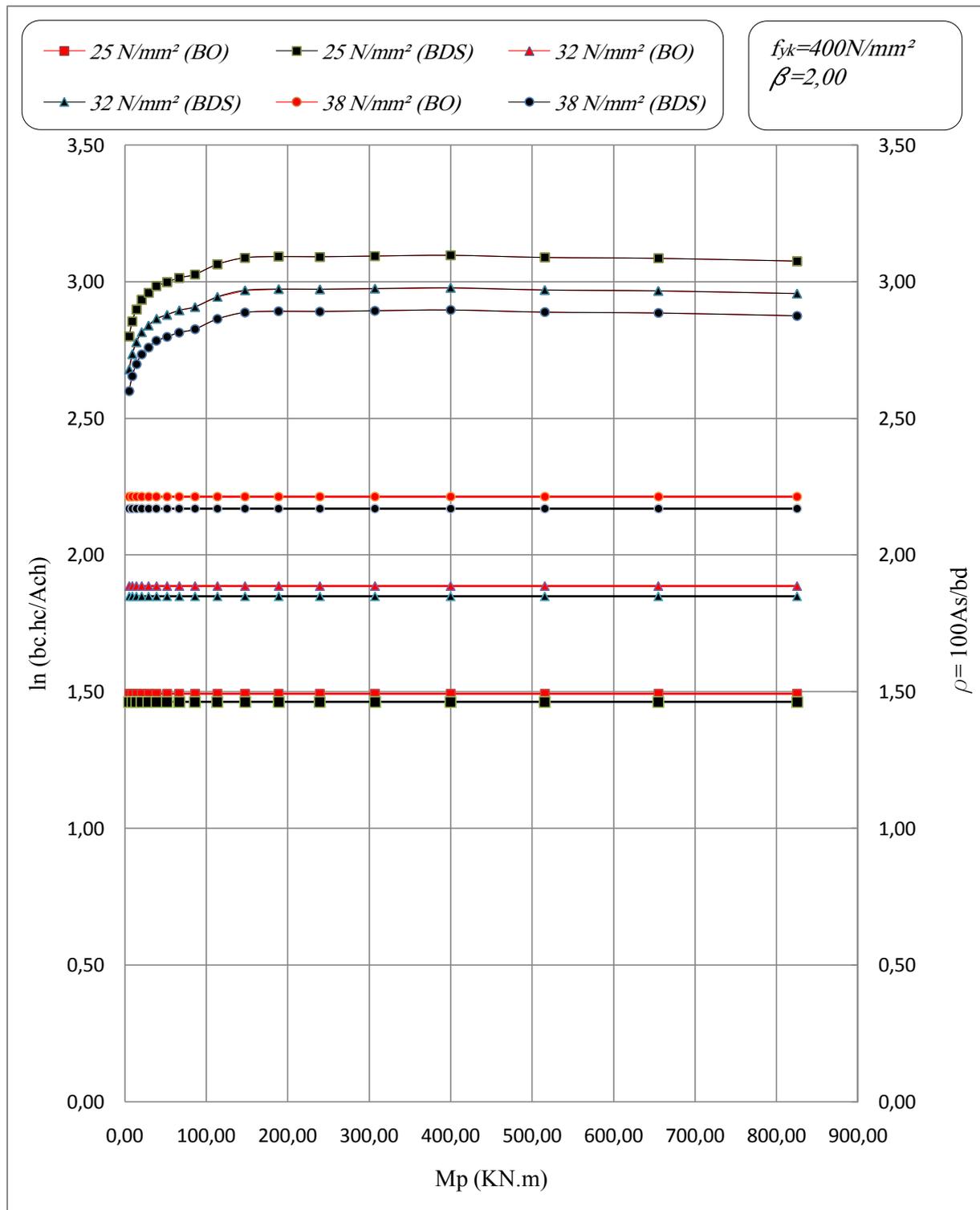


Figure (B.23). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$

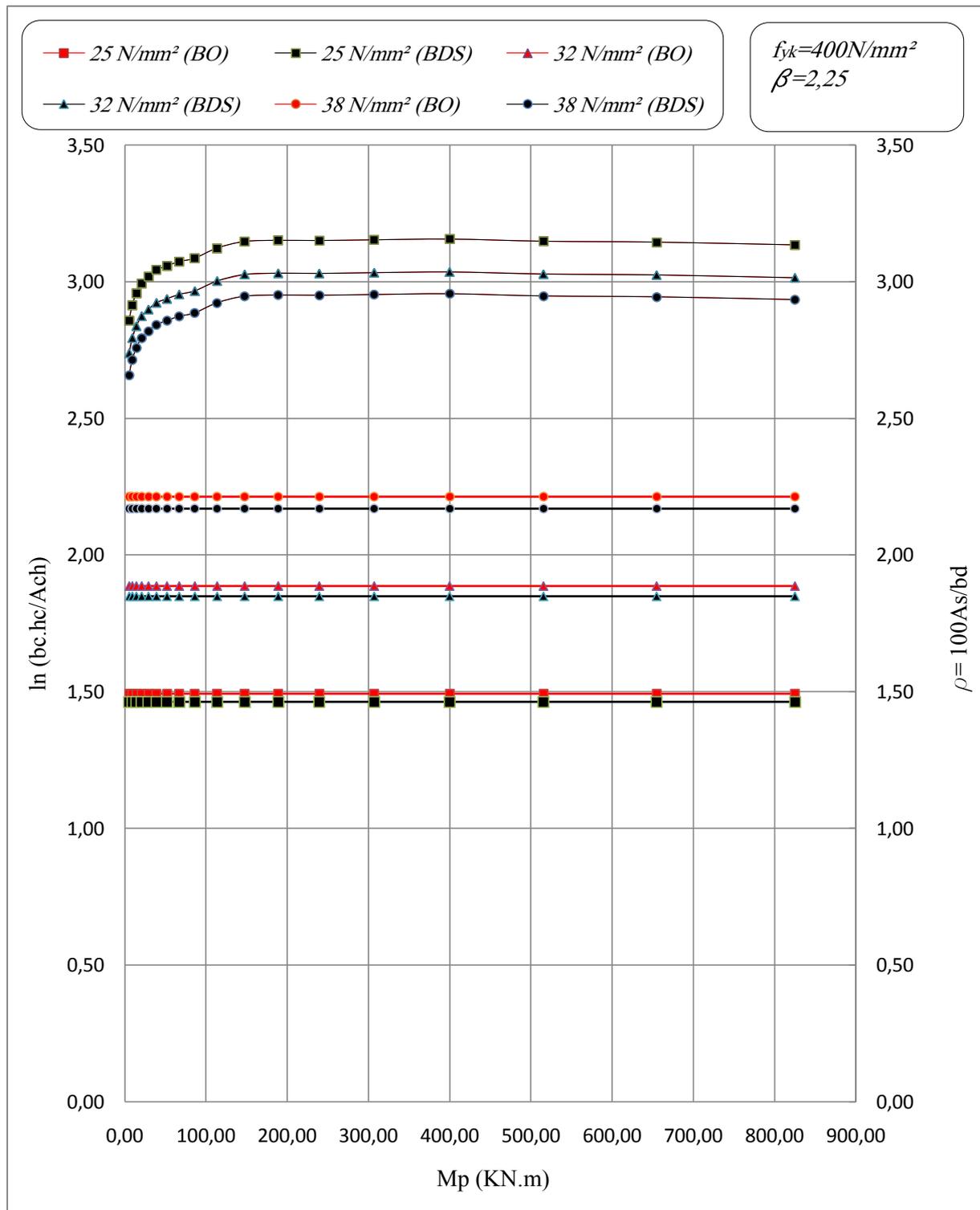


Figure (B.24). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,25$

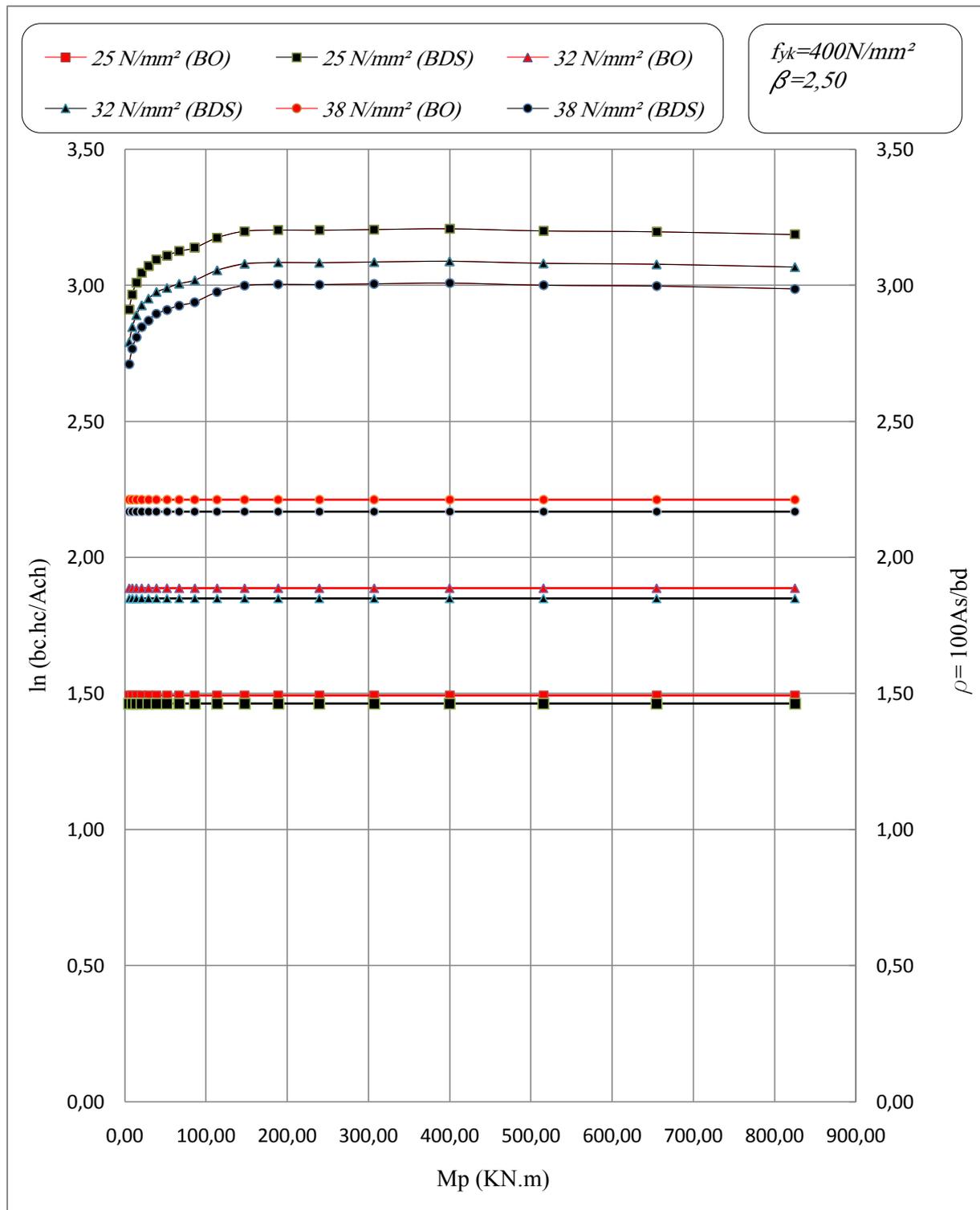


Figure (B.25). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$

(ii) Pour $f_{yk}=500$ N/mm²

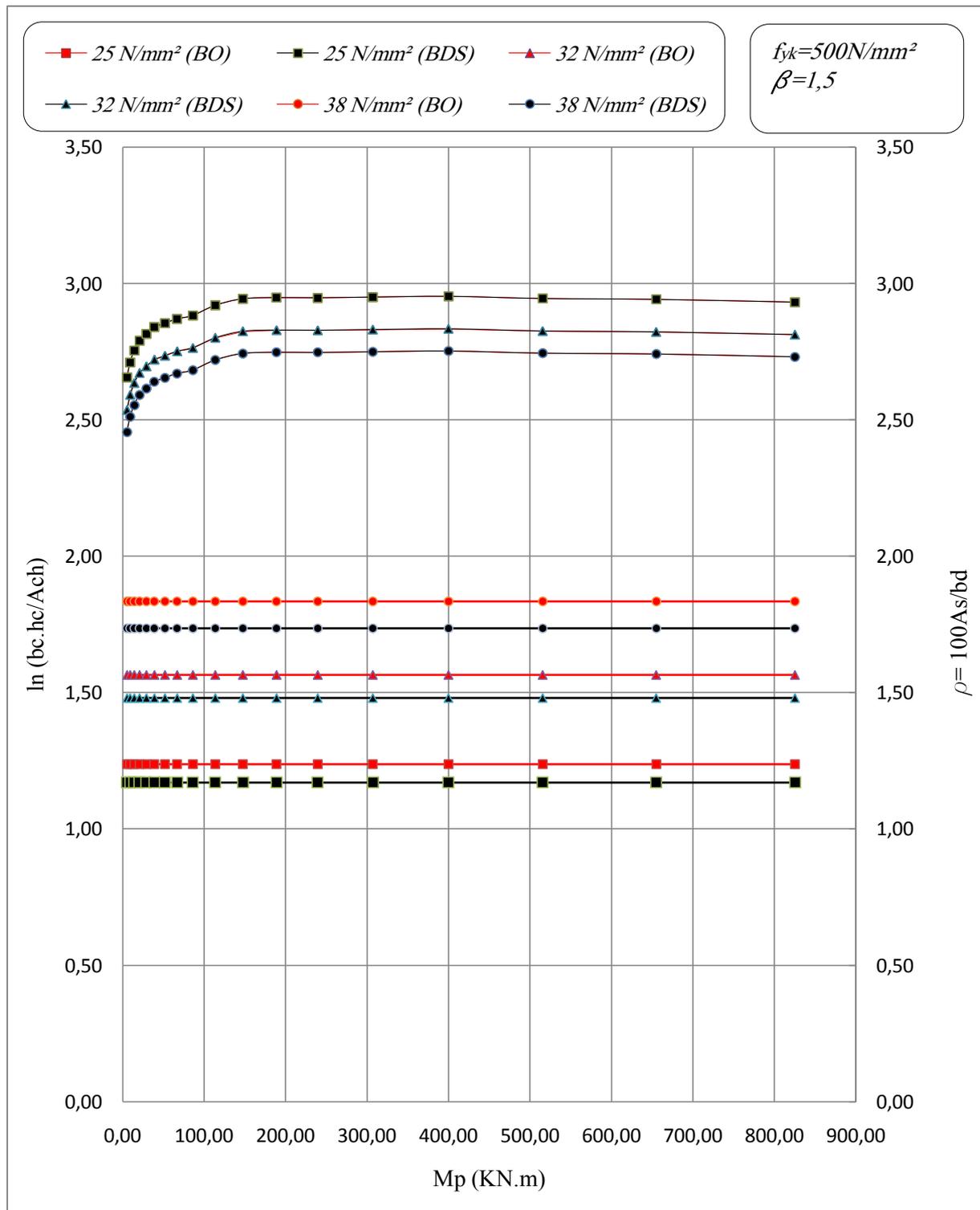


Figure (B.26). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$

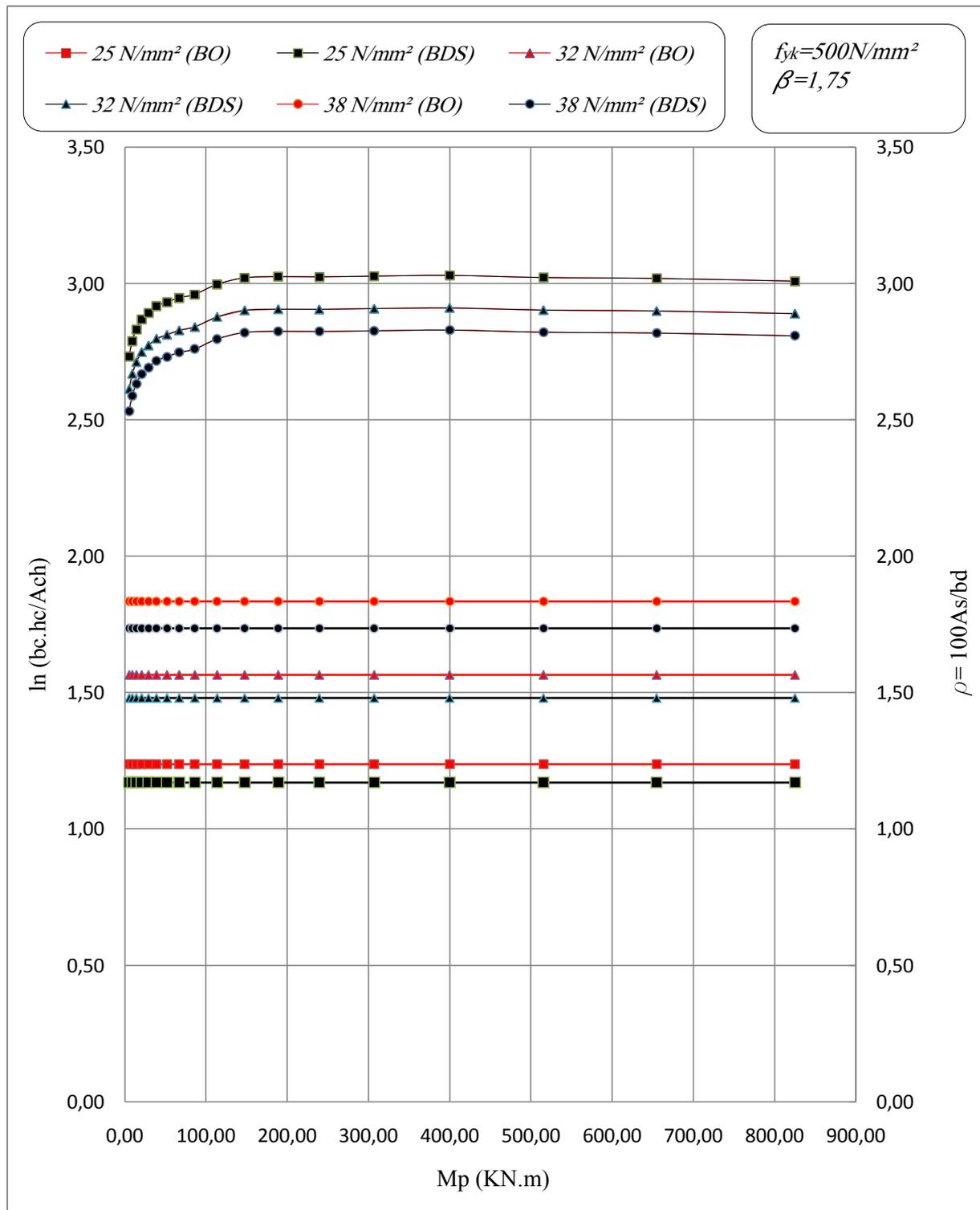


Figure (B.27). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,75$

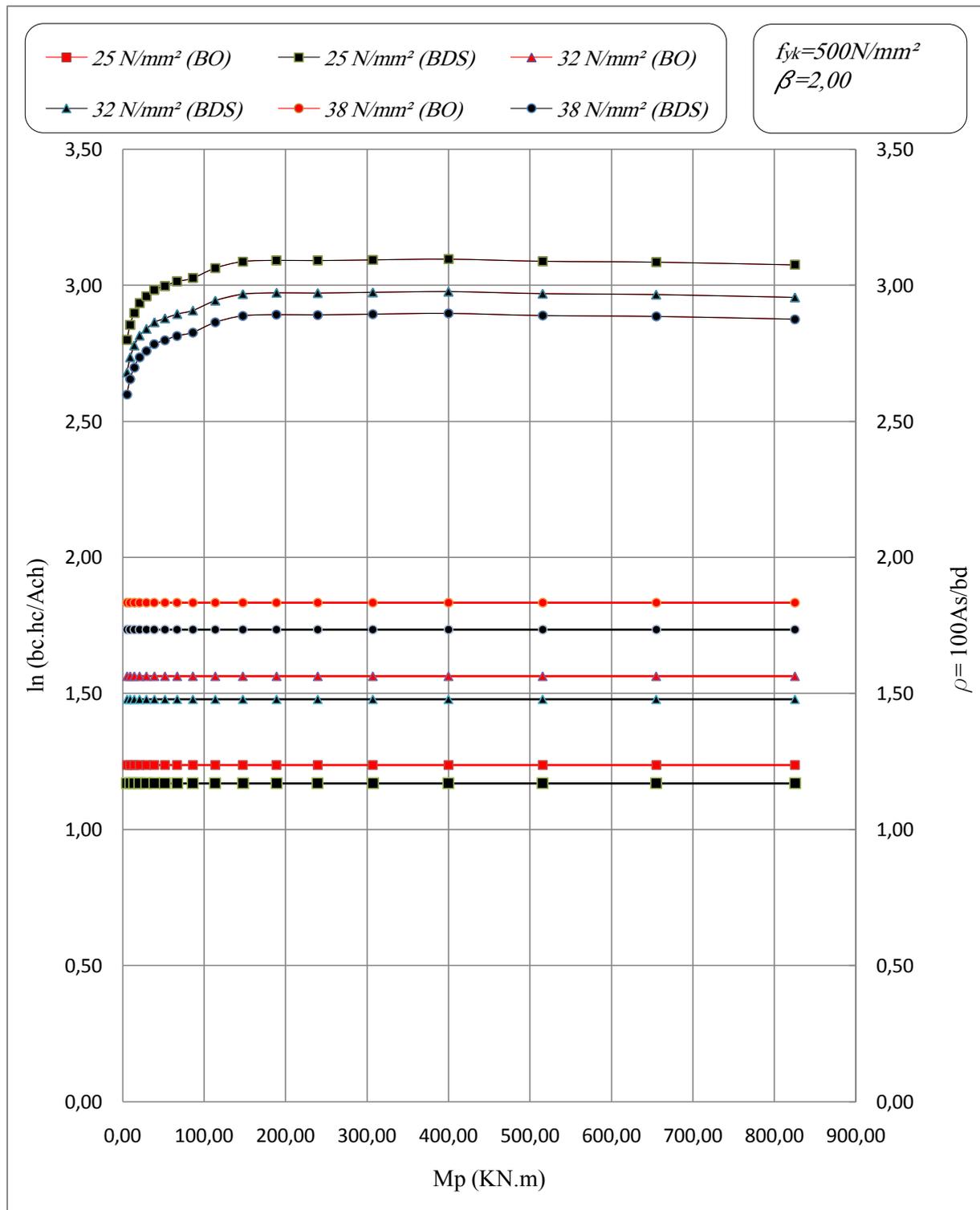


Figure (B.28). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$

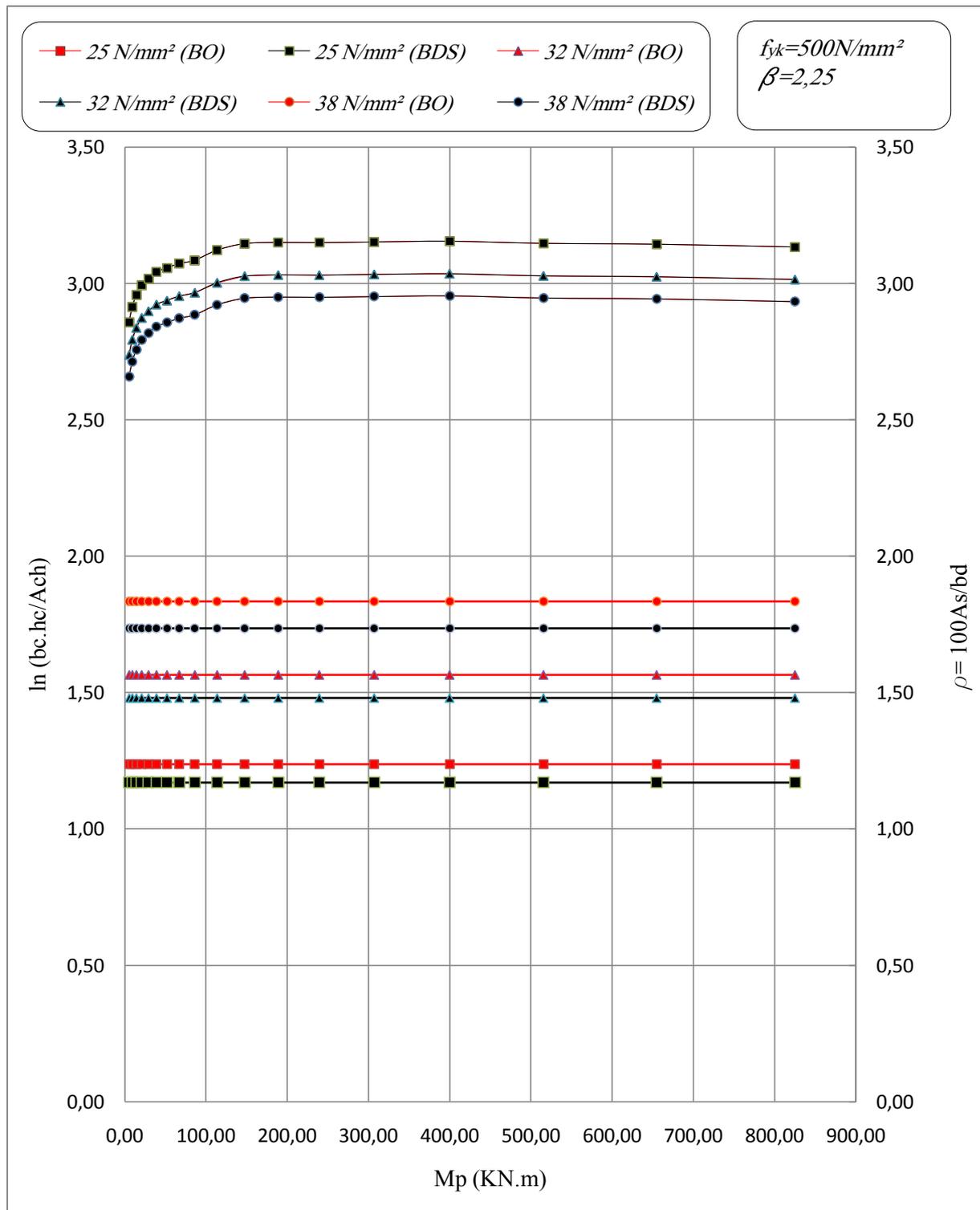


Figure (B.29). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,25$

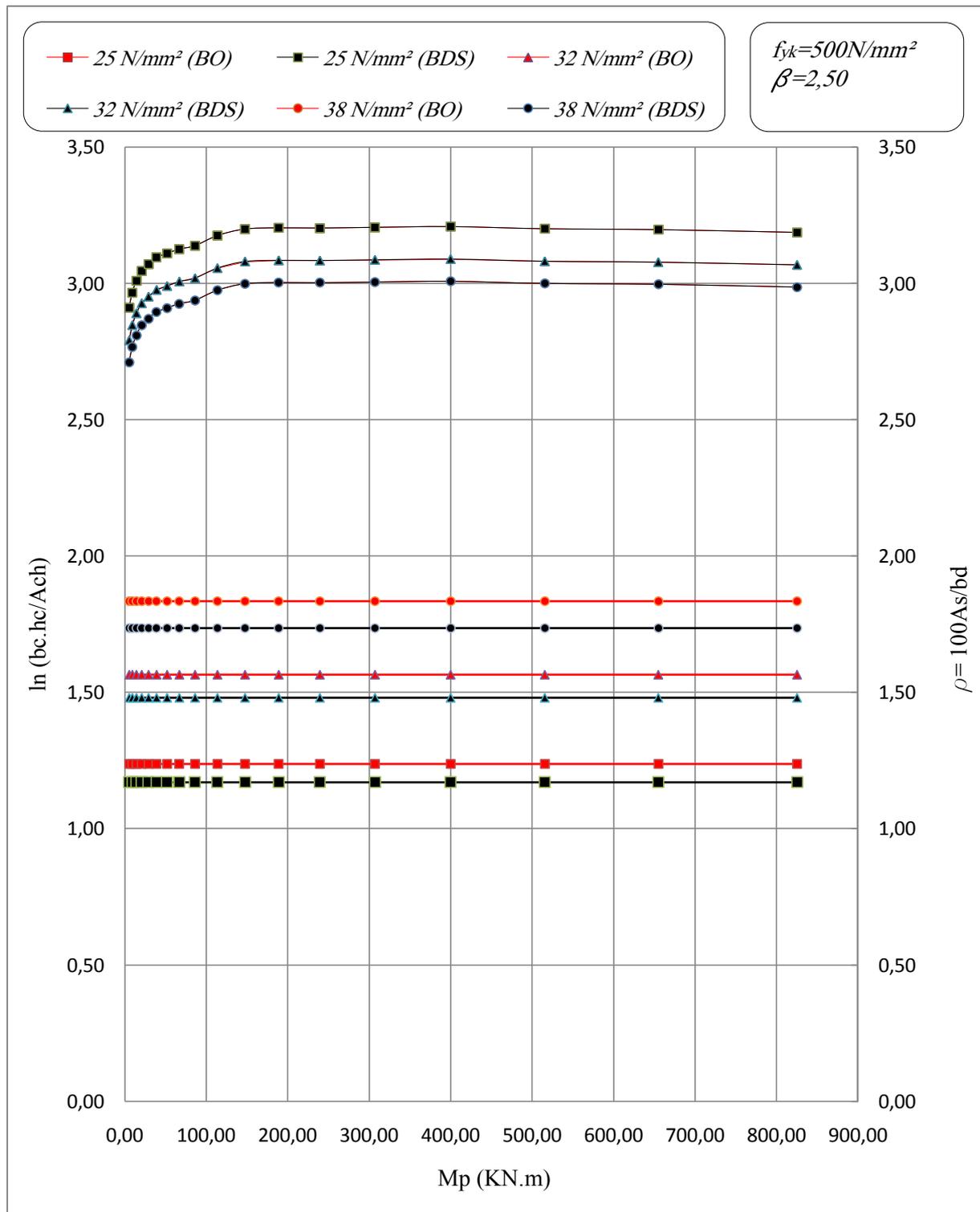


Figure (B.30). Sections en béton ordinaire et béton de sable simplement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,50$

B.3.2 Sections doublement armées

(i) Pour $f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$

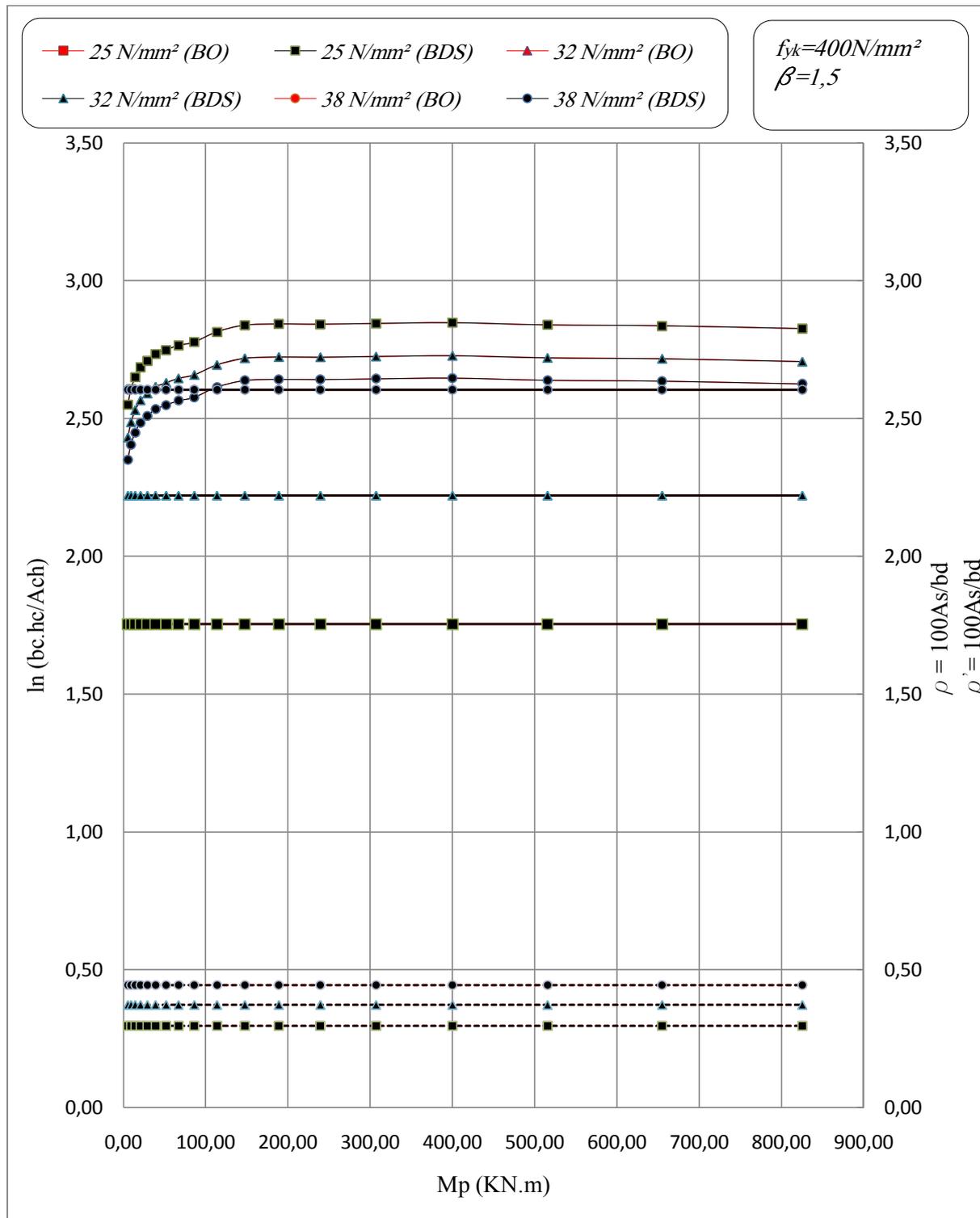


Figure (B.31). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$

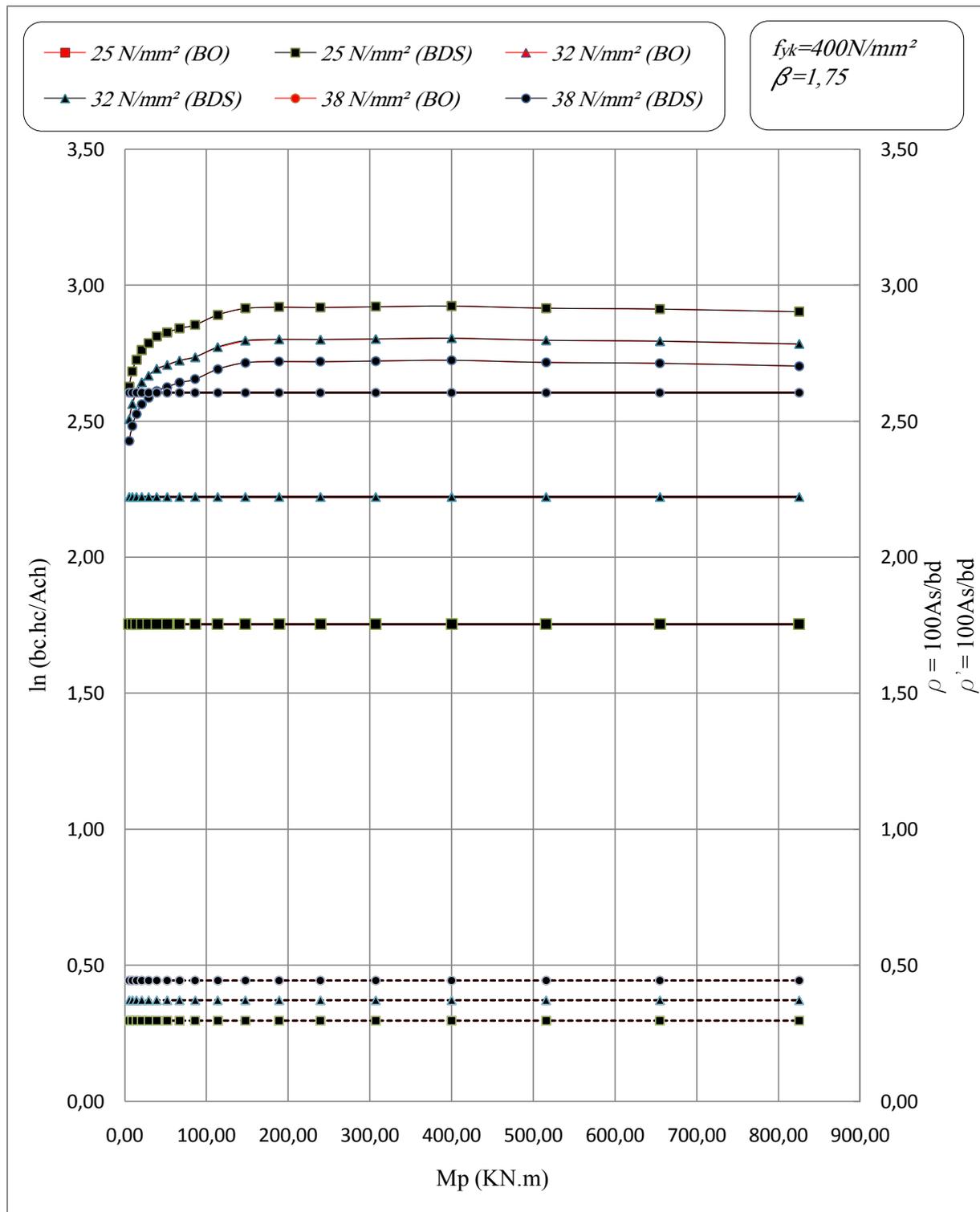


Figure (B.32). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 1,75$

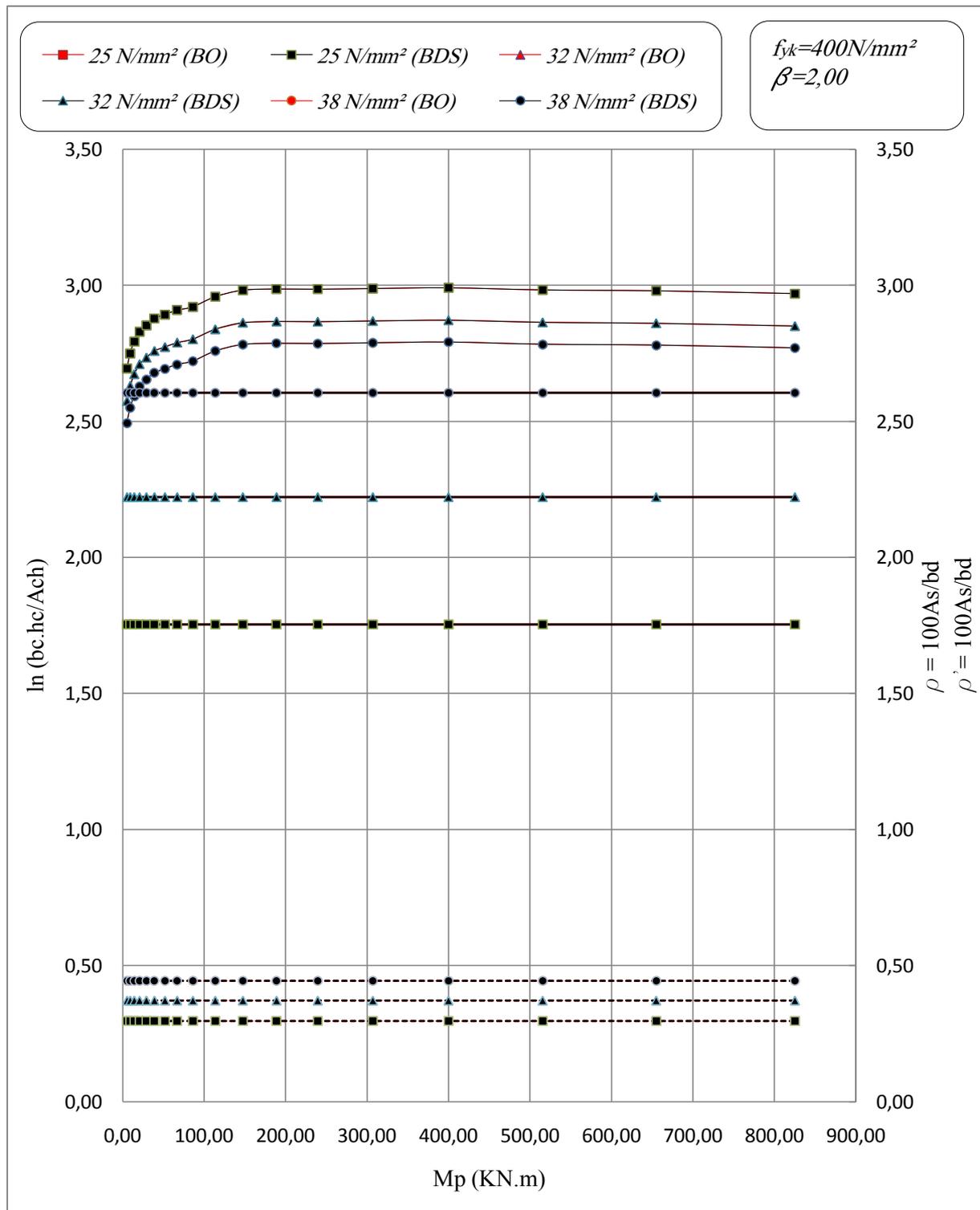


Figure (B.33). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$

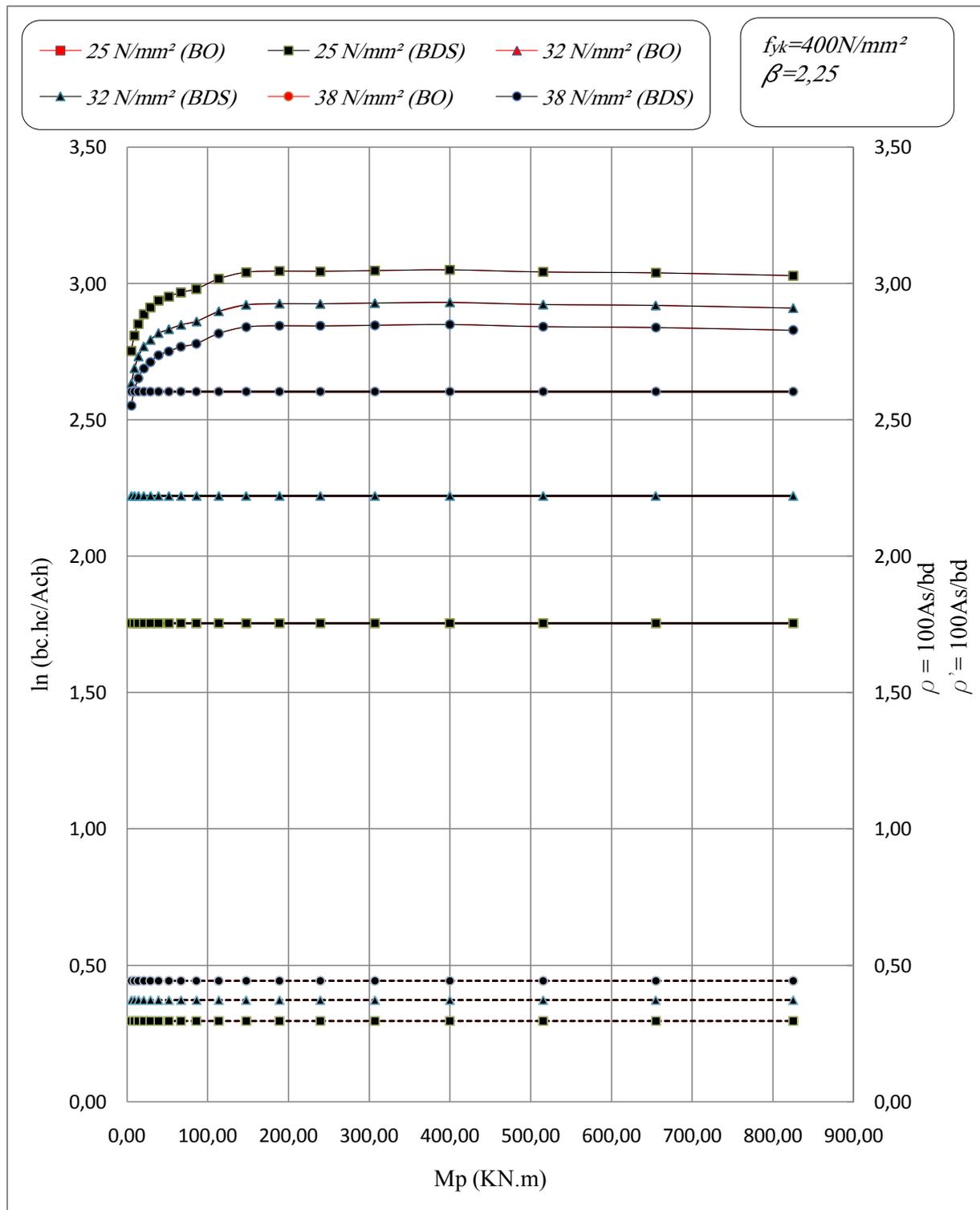


Figure (B.34). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,25$

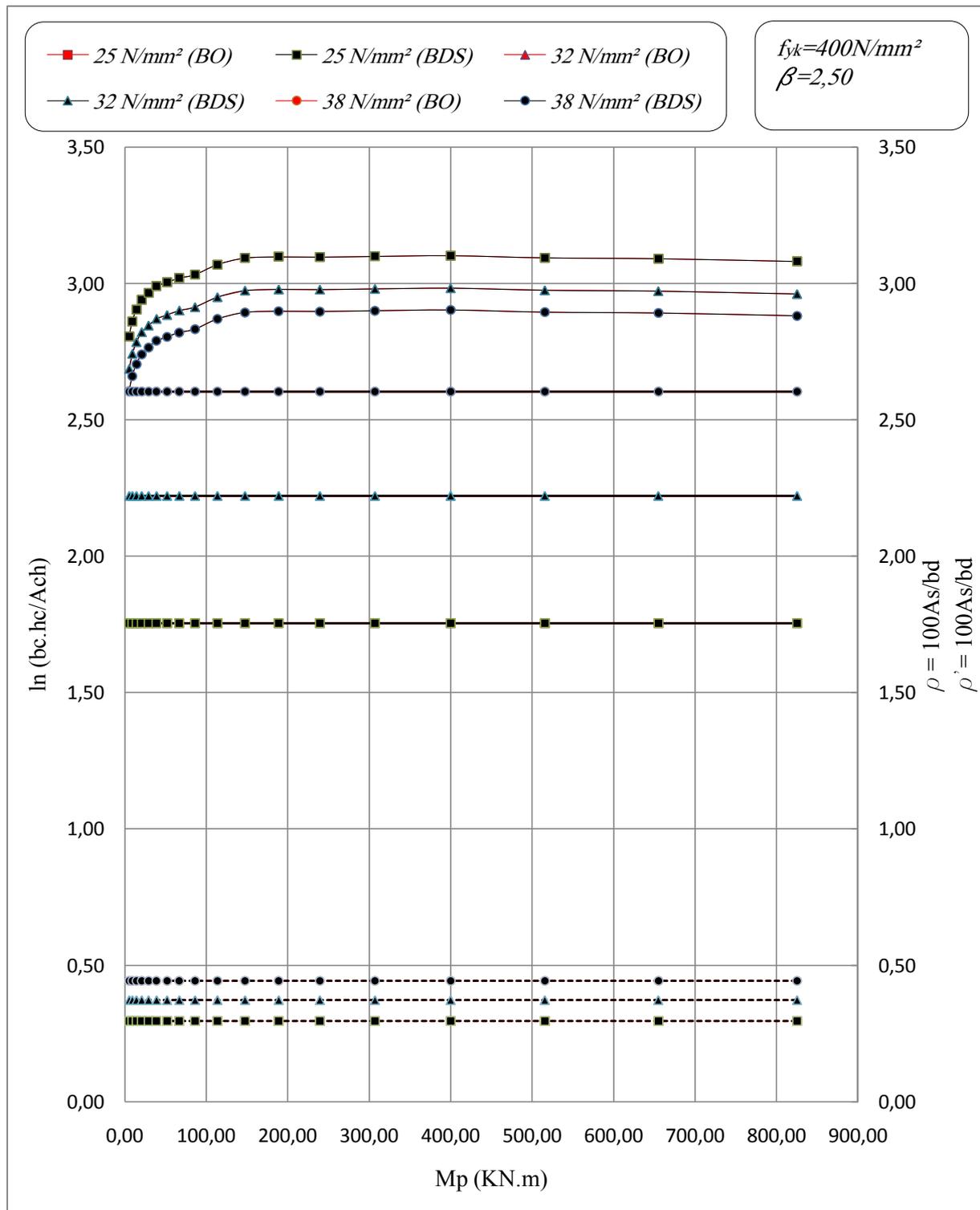


Figure (B.35). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,50$

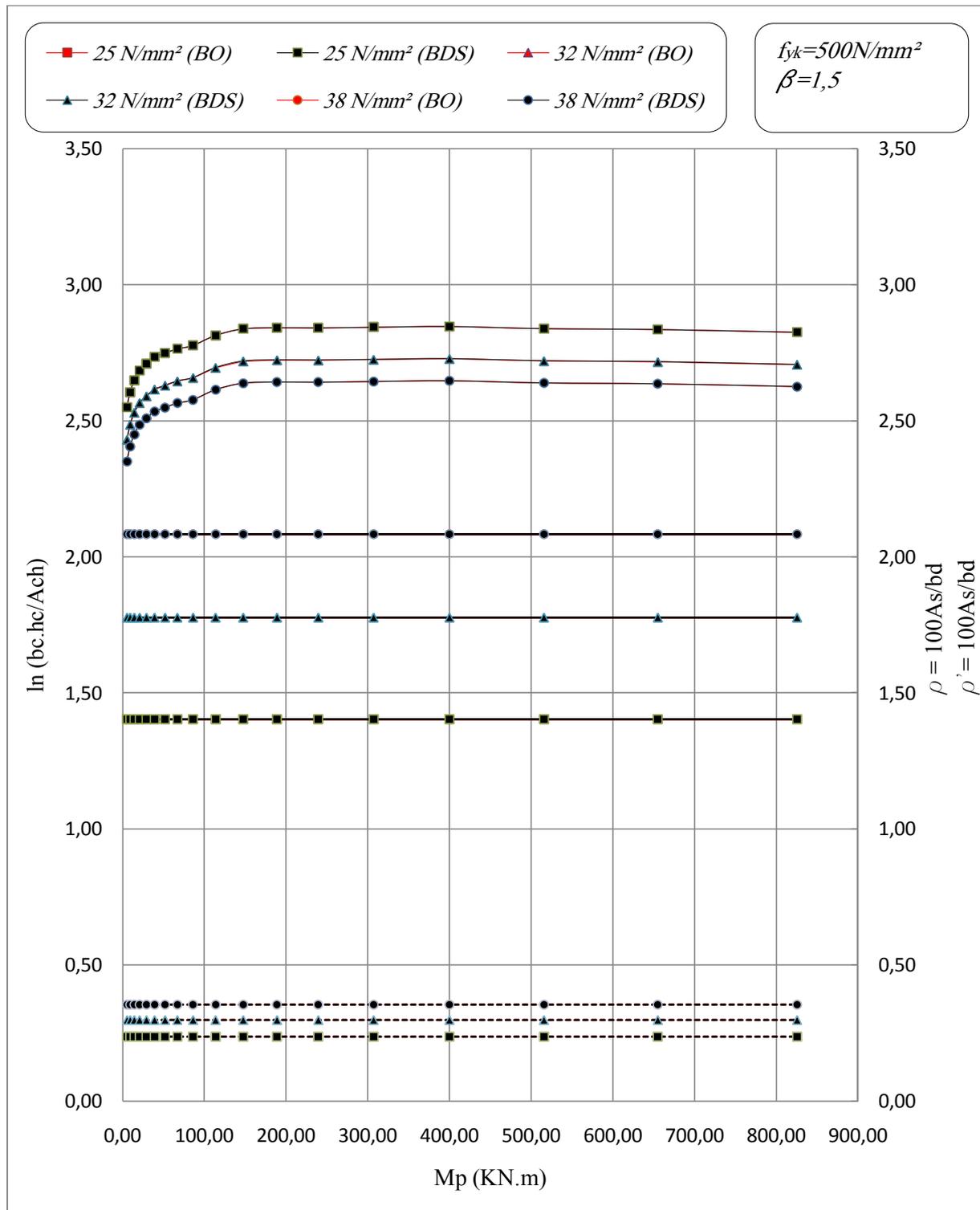
(ii) Pour $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ 

Figure (B.36). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,50$

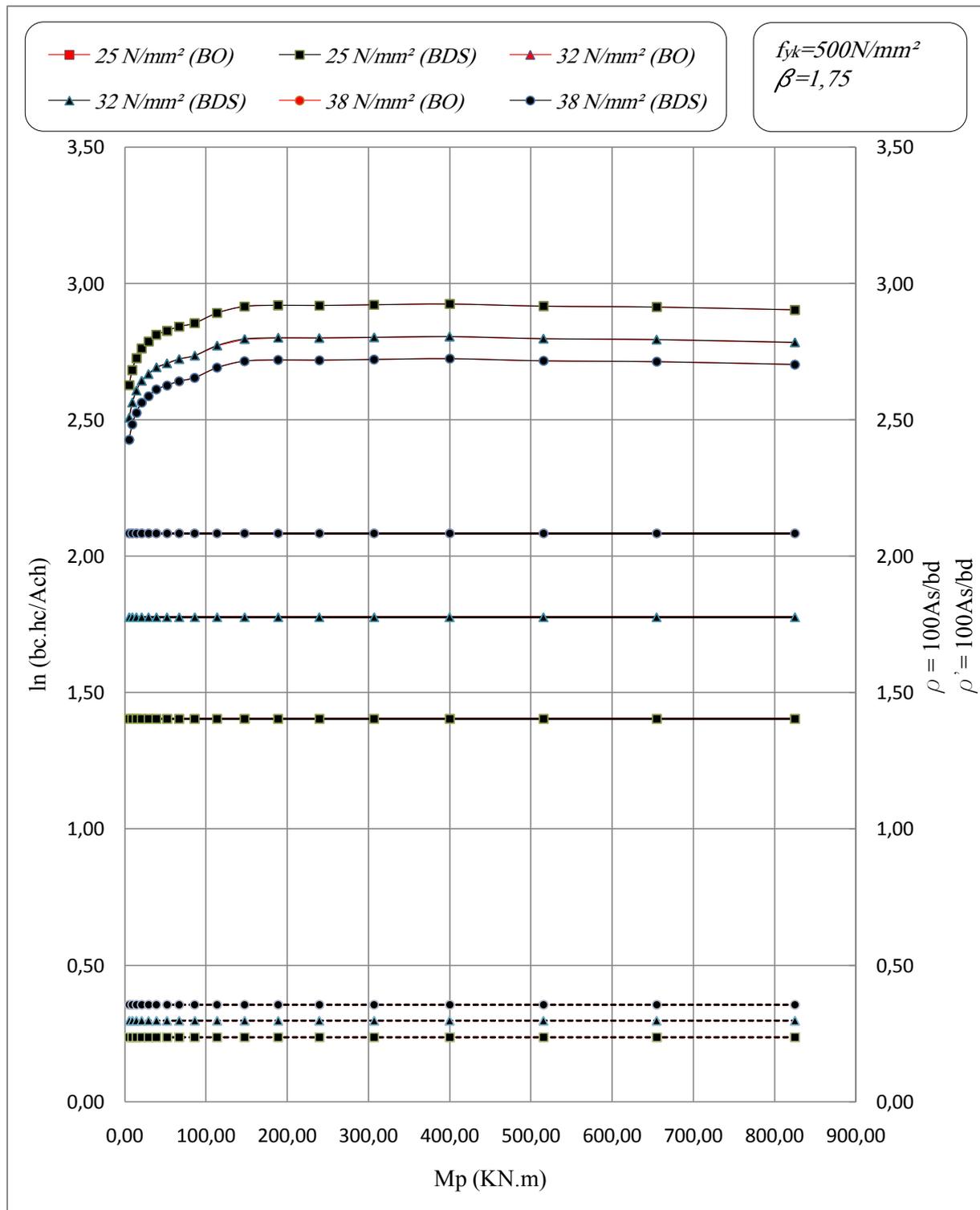


Figure (B.37). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=1,75$

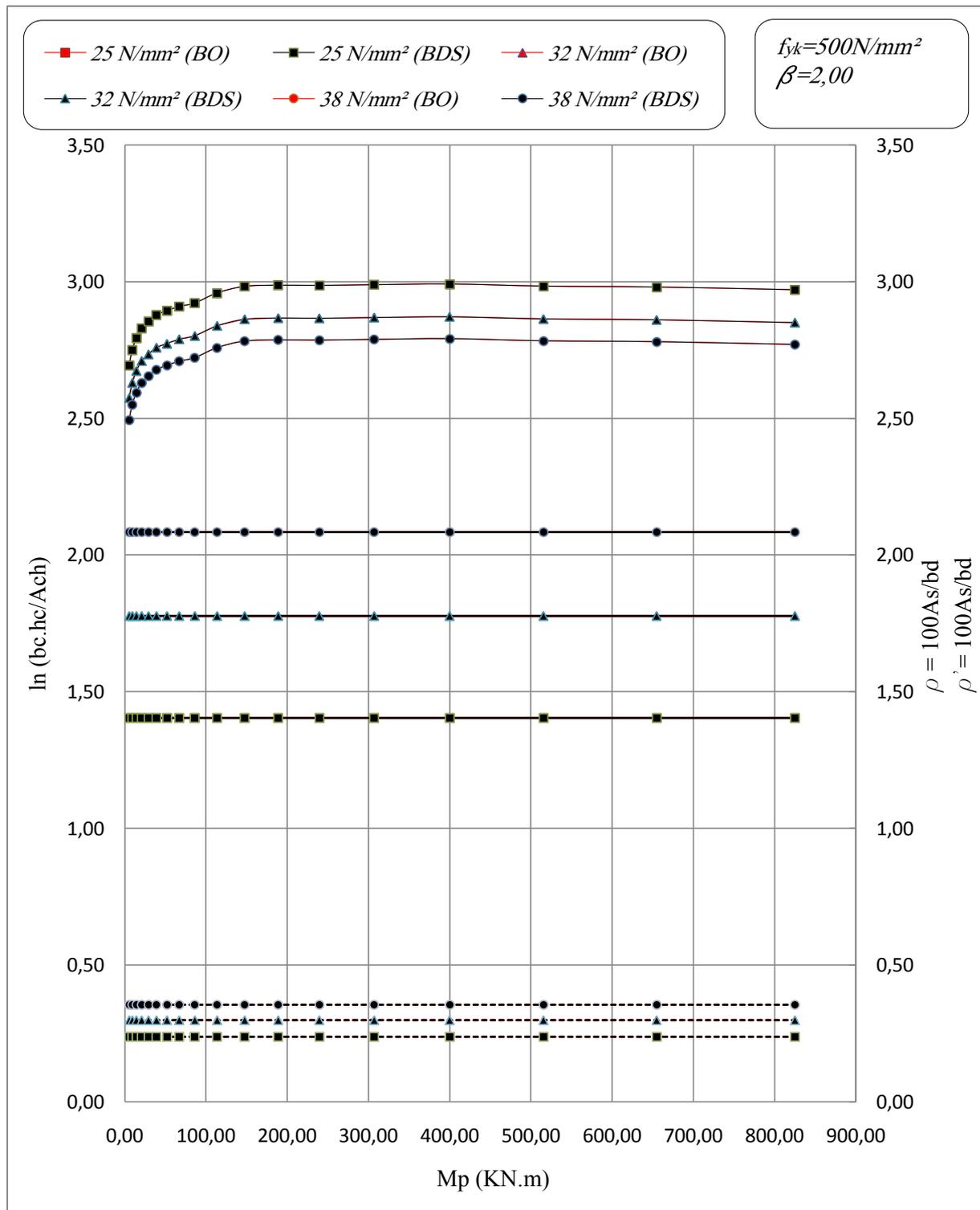


Figure (B.38). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,00$

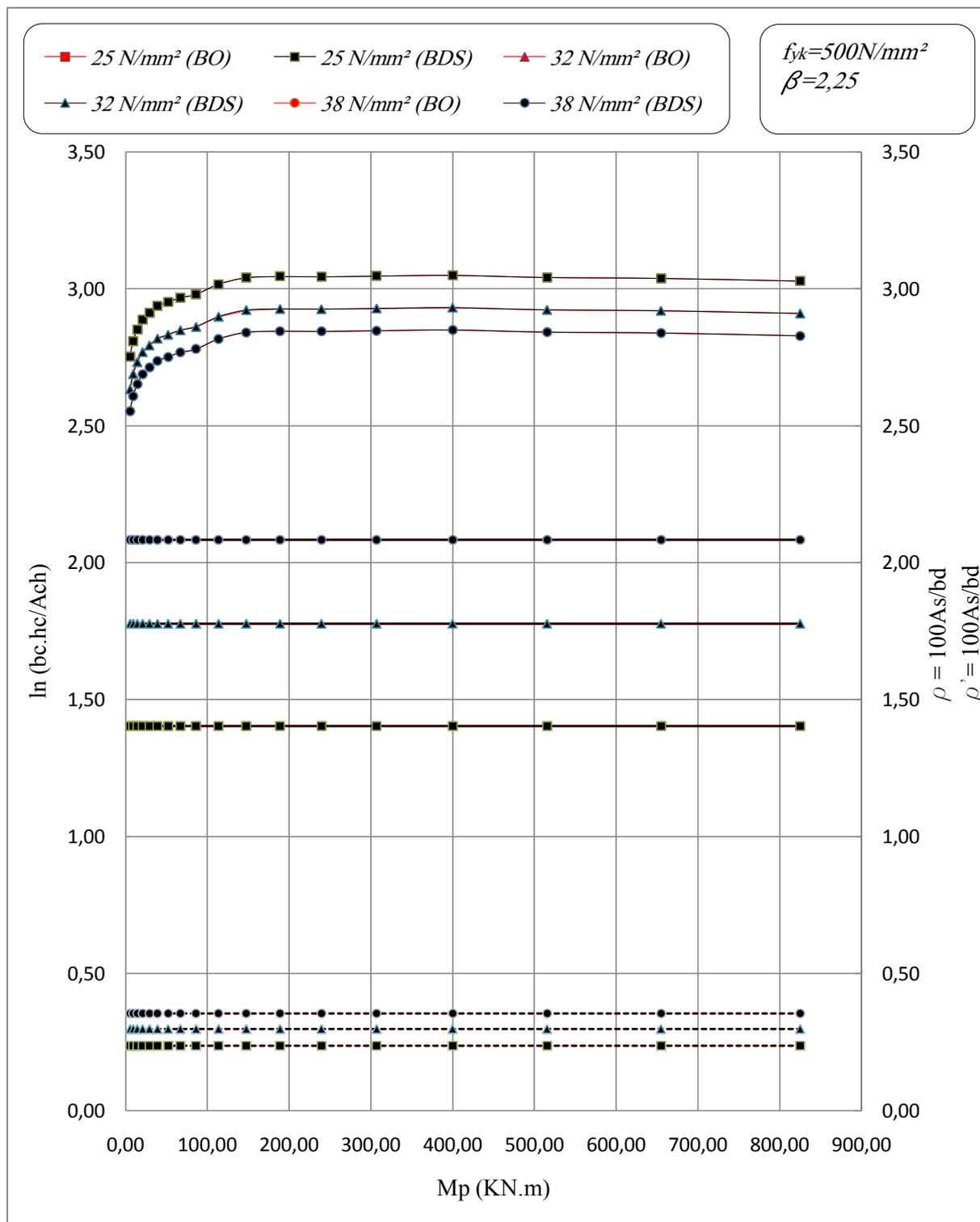


Figure (B.39). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta = 2,25$

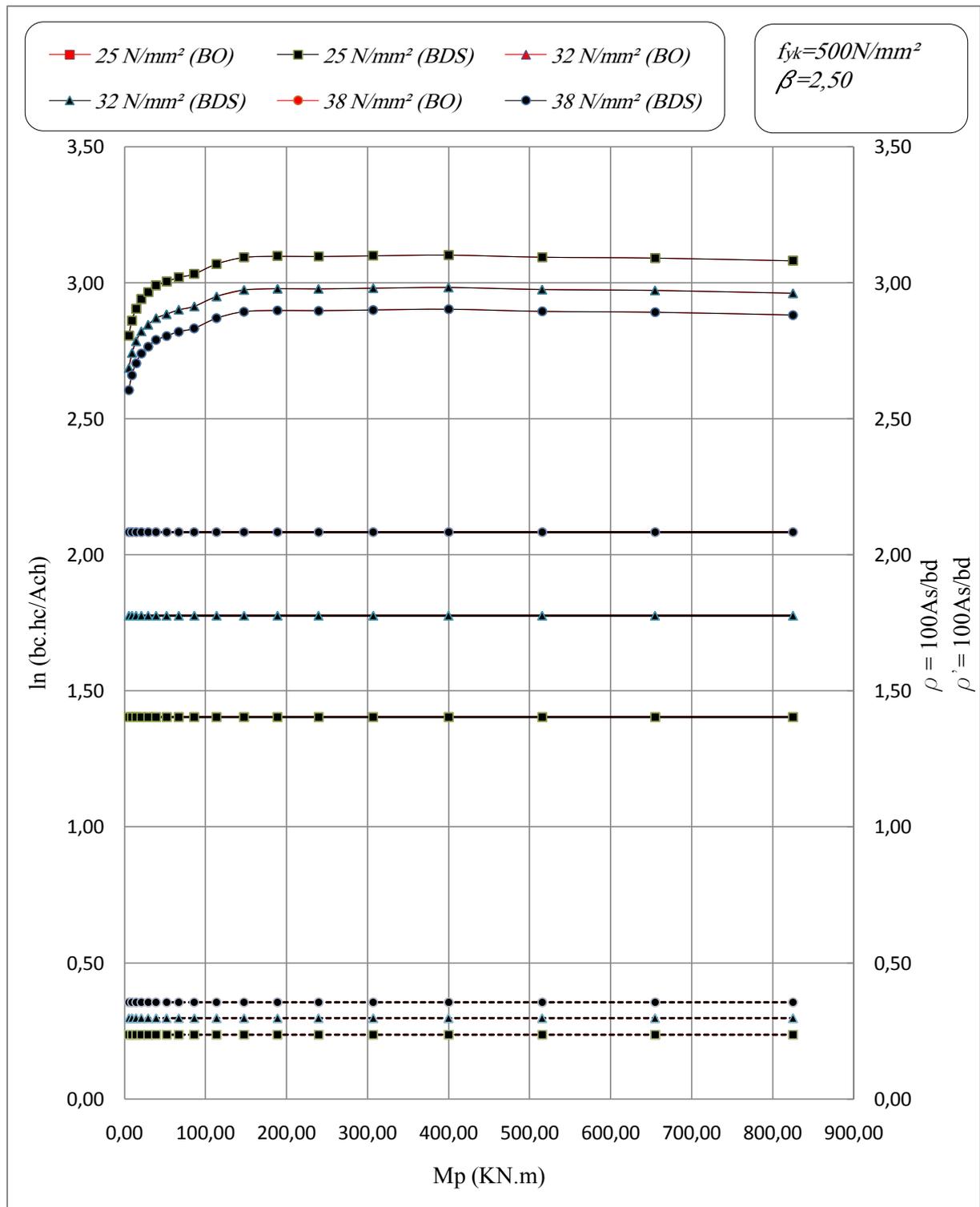


Figure (B.40). Sections en béton ordinaire et béton de sable doublement armées équivalentes à la gamme IPE pour : $\beta=2,50$

ANNEXE C

PRÉSENTATION GRAPHIQUE DU

CATALOGUE D'ABAQUES À TROIS

ENTRÉES

C. PRÉSENTATION GRAPHIQUE DU CATALOGUE D'ABAQUES À TROIS ENTRÉES

C.1 Introduction

La volonté d'utiliser au mieux la matière pour des raisons économiques, ainsi que la tendance à une conception optimale, conduisent nécessairement à mettre à la disposition des ingénieurs un catalogue d'abaques à trois entrées liant graphiquement la relation du moment réduit Mu/bd^2 et les taux géométriques des armatures tendues, ρ , et comprimées, ρ' , d'un élément structurel en béton de sable armé et béton ordinaire armé (poutre) soumise à la flexion simple, utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2], et CP110 [3]. Ces abaques doivent être conçus en fonction des paramètres influents à savoir l'enrobage des aciers d'/d , la résistance caractéristique à la compression du béton, la résistance caractéristique des aciers, la position de l'axe neutre, x/d ,... etc.

C.2 Principe de conception d'abaques à trois entrées

Les équations de base utilisées dans la conception de ce catalogue d'abaques à trois entrées liant graphiquement le moment réduit Mu/bd^2 et les taux d'armatures tendues $\rho = 100A_s/bd$ et comprimées $\rho' = 100A'_s/bd$ sont tirés à partir d'une analyse d'une section rectangulaire en béton de sable armé et béton ordinaire armé (élément structurel) soumise à la flexion simple, utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2 [1,2], et CP110 [3]. Ces équations utilisées pour la conception d'abaques sont obtenues en prenant l'équilibre des moments autour de l'axe neutre. Le principe de développement est exposé et détaillé dans le chapitre 3.

C.3 Présentation du catalogue d'abaques

Il a été jugé nécessaire de représenter qu'une série d'abaques pour les trois valeurs de f_{ck} (20, 25 et 30MPa), et pour les deux valeurs de f_{yk} (400 et 500MPa), et une valeur de d'/d (0.10). Les figures (C.1) à (C.24) représentent cette série d'abaques.

C.3.1 Utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2

(i) Béton Ordinaire

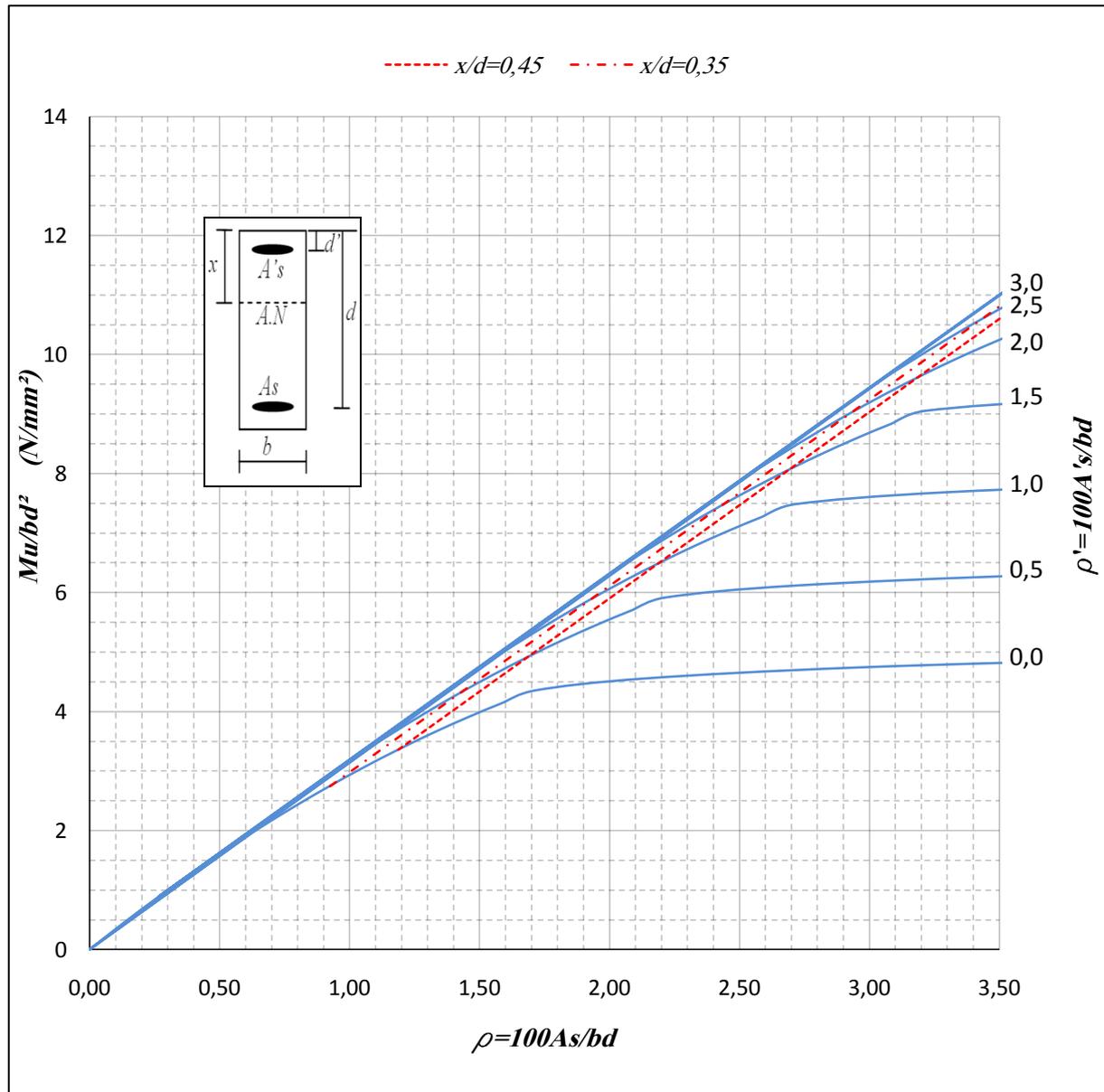


Figure (C.1). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{ck} = 20MPa$ et $d'/d = 0.10$

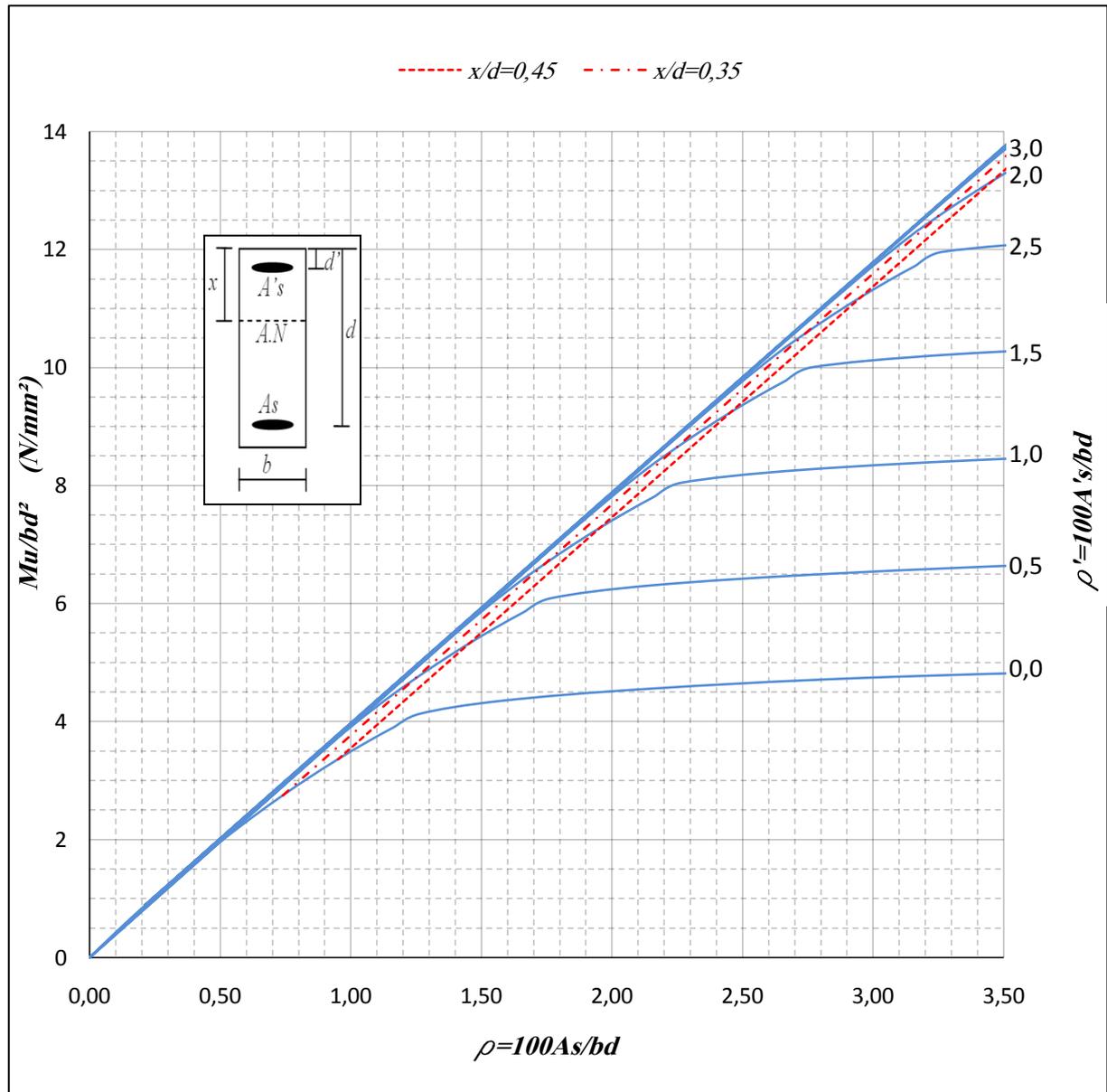


Figure (C.2). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 500MPa$, $f_{ck} = 20MPa$ et $d'/d = 0.10$

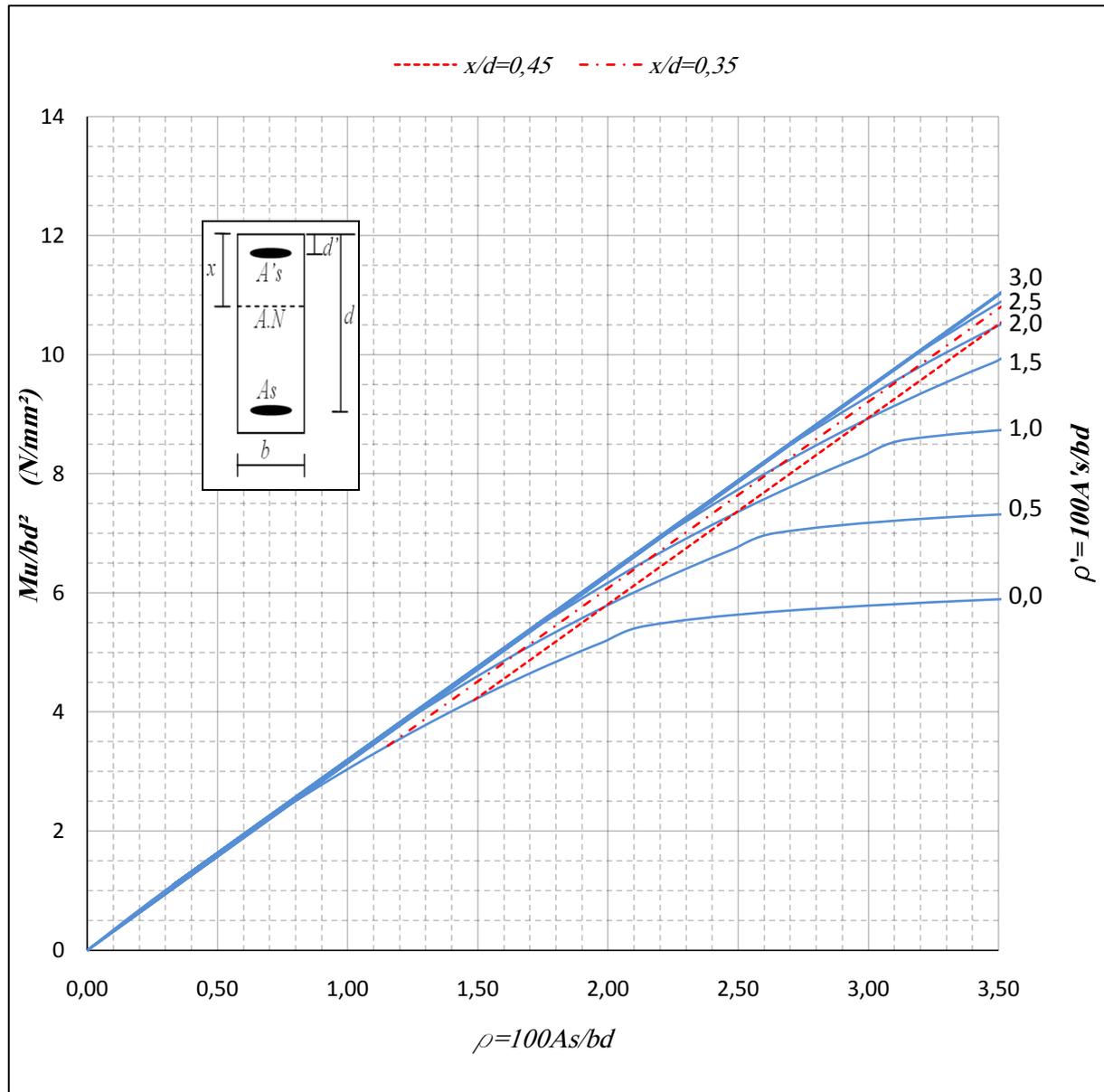


Figure (C.3). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{ck} = 25MPa$ et $d'/d = 0.10$

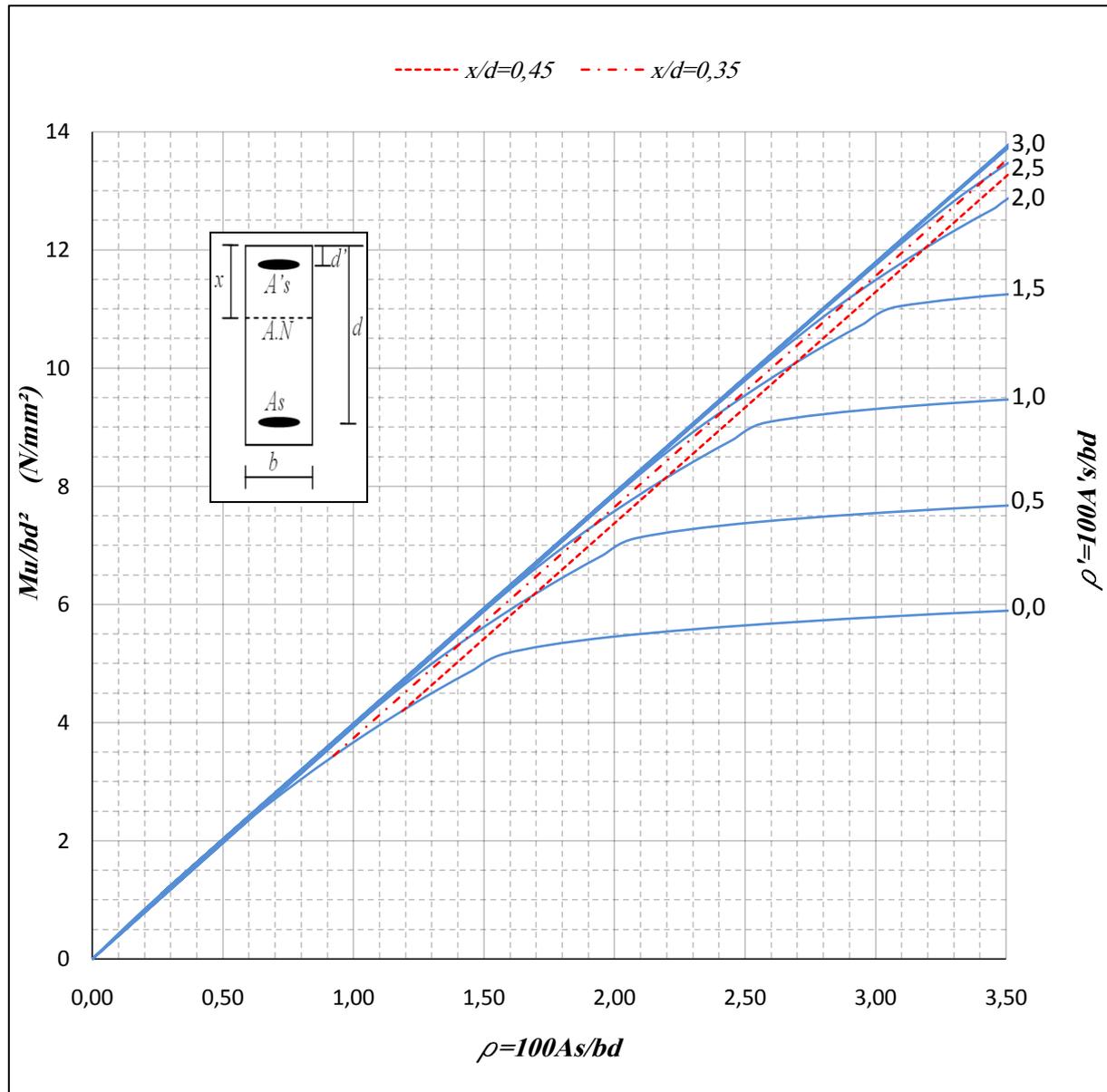


Figure (C.4). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 500MPa$, $f_{ck} = 25MPa$ et $d'/d = 0.10$

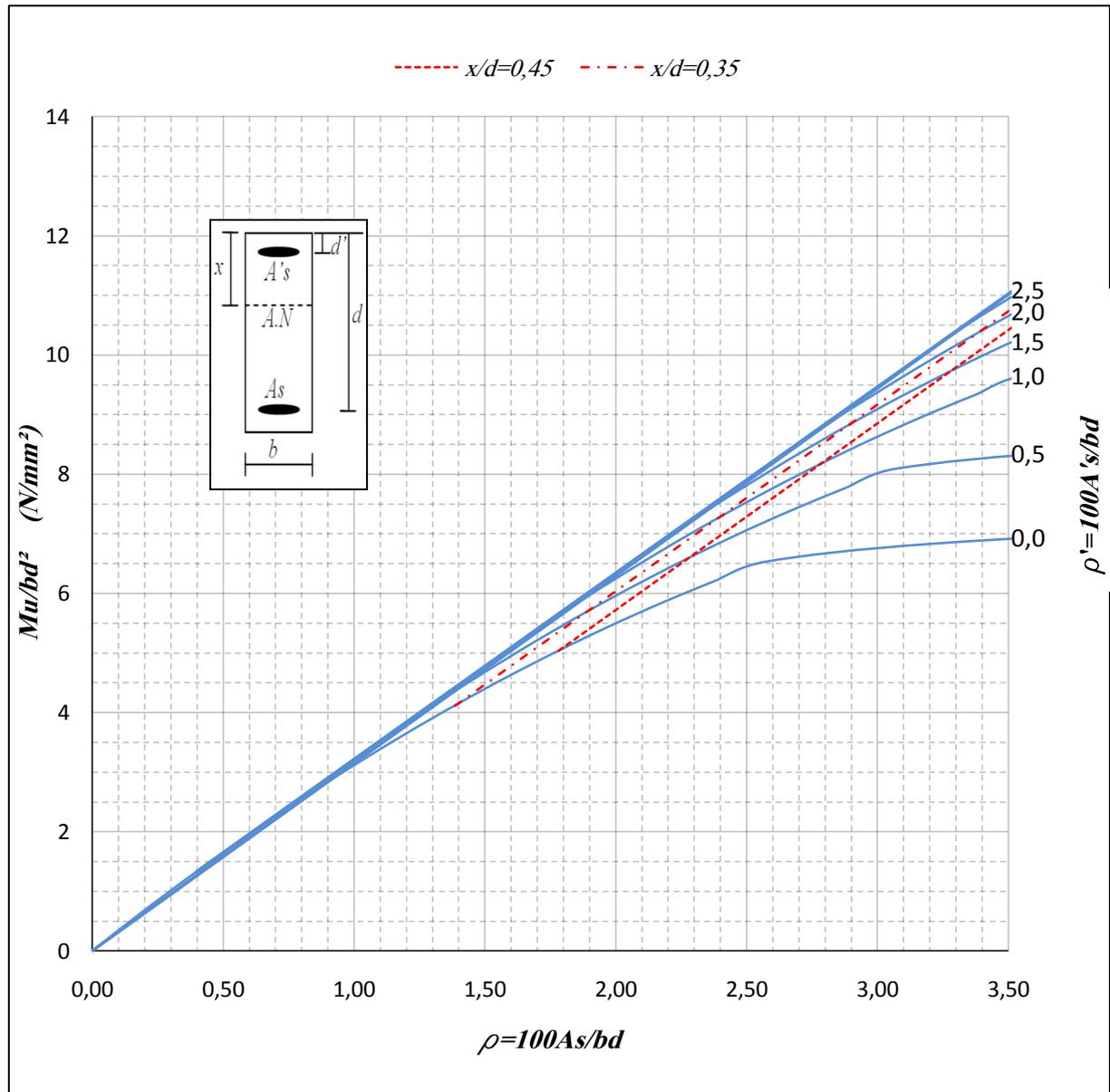


Figure (C.5). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{ck} = 30MPa$ et $d'/d = 0.10$

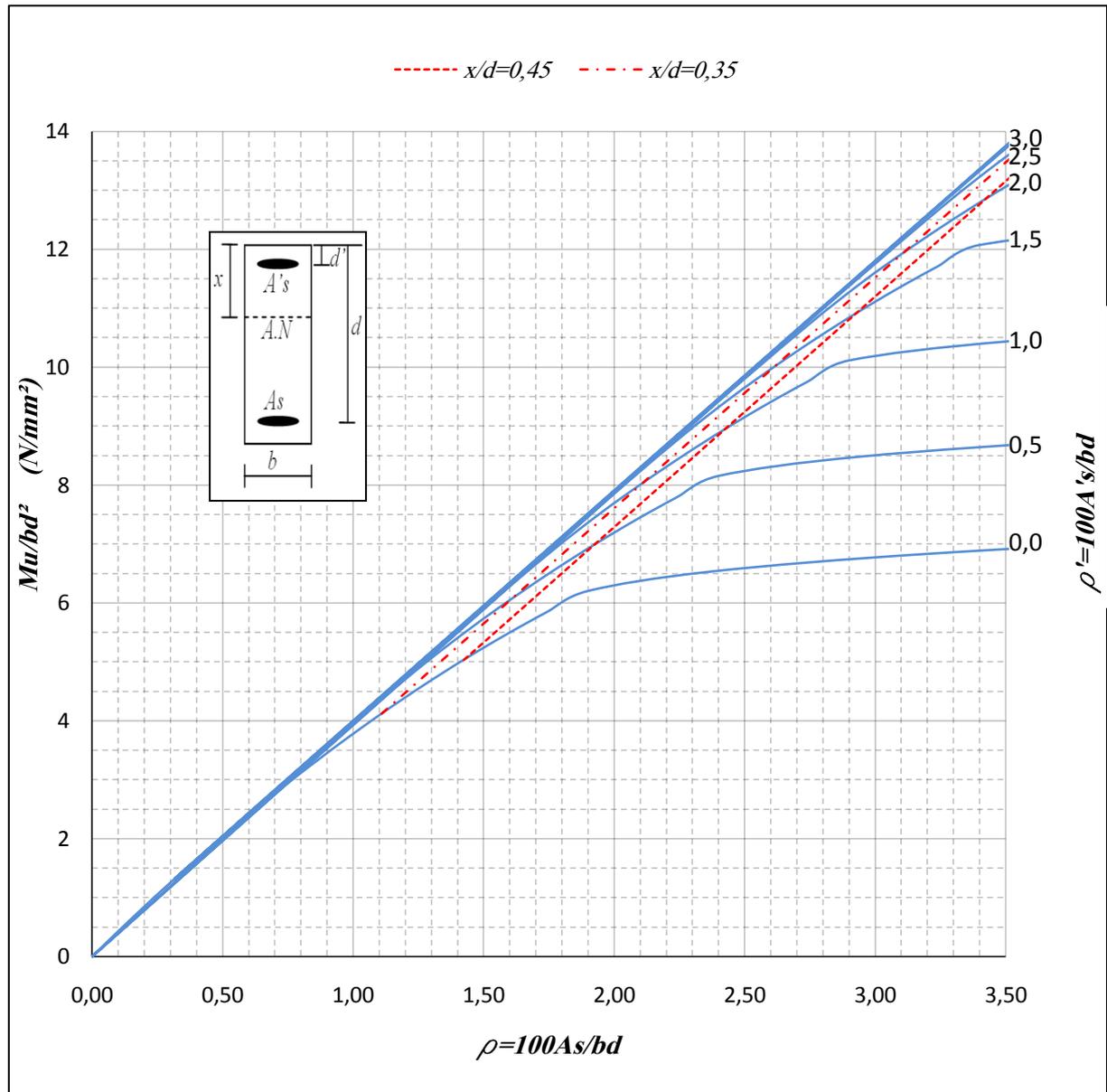


Figure (C.6). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 500MPa$, $f_{ck} = 30MPa$ et $d'/d = 0.10$

(ii) Béton de sable

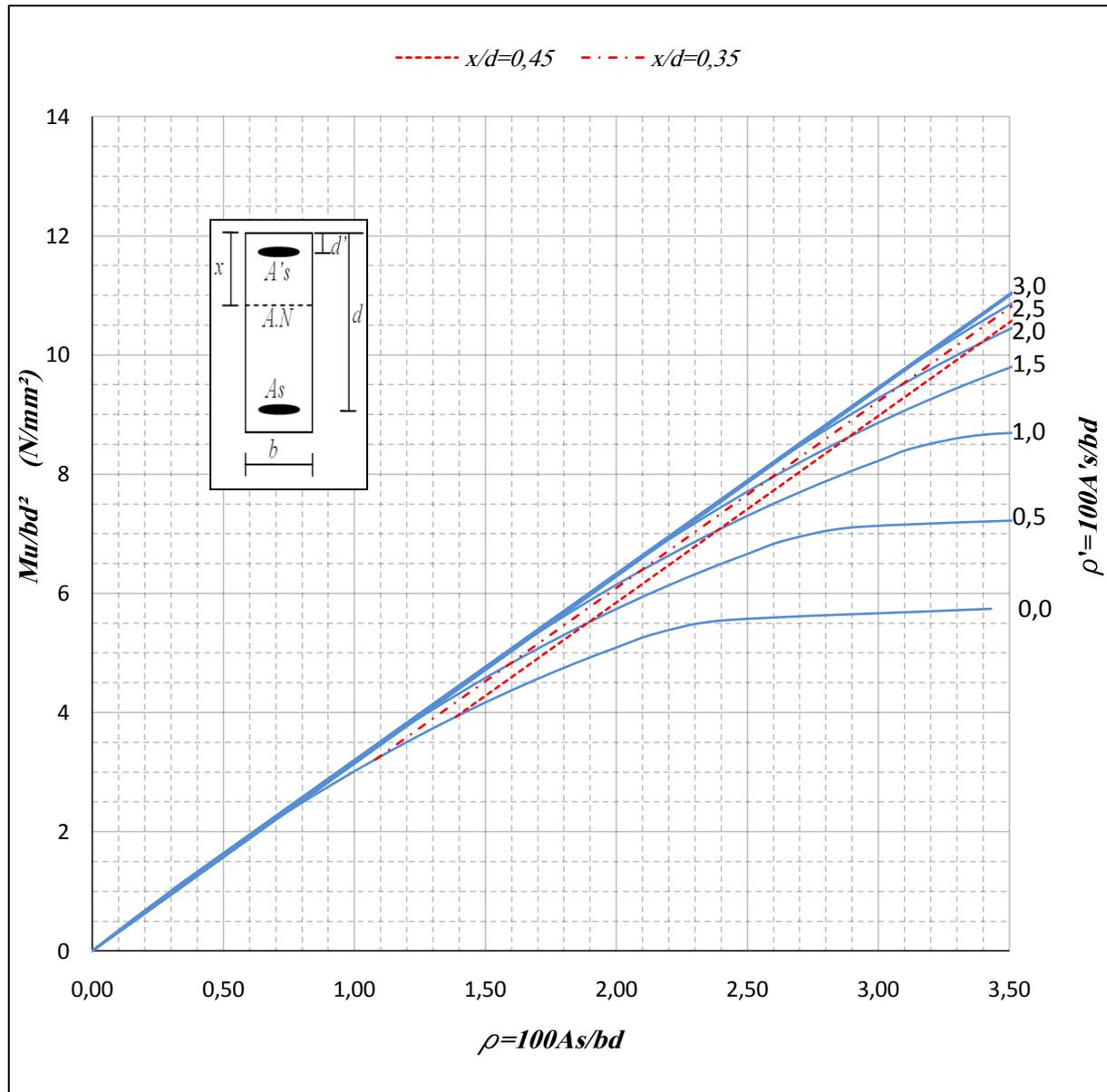


Figure (C.7). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{ck} = 20MPa$ et $d'/d = 0.10$

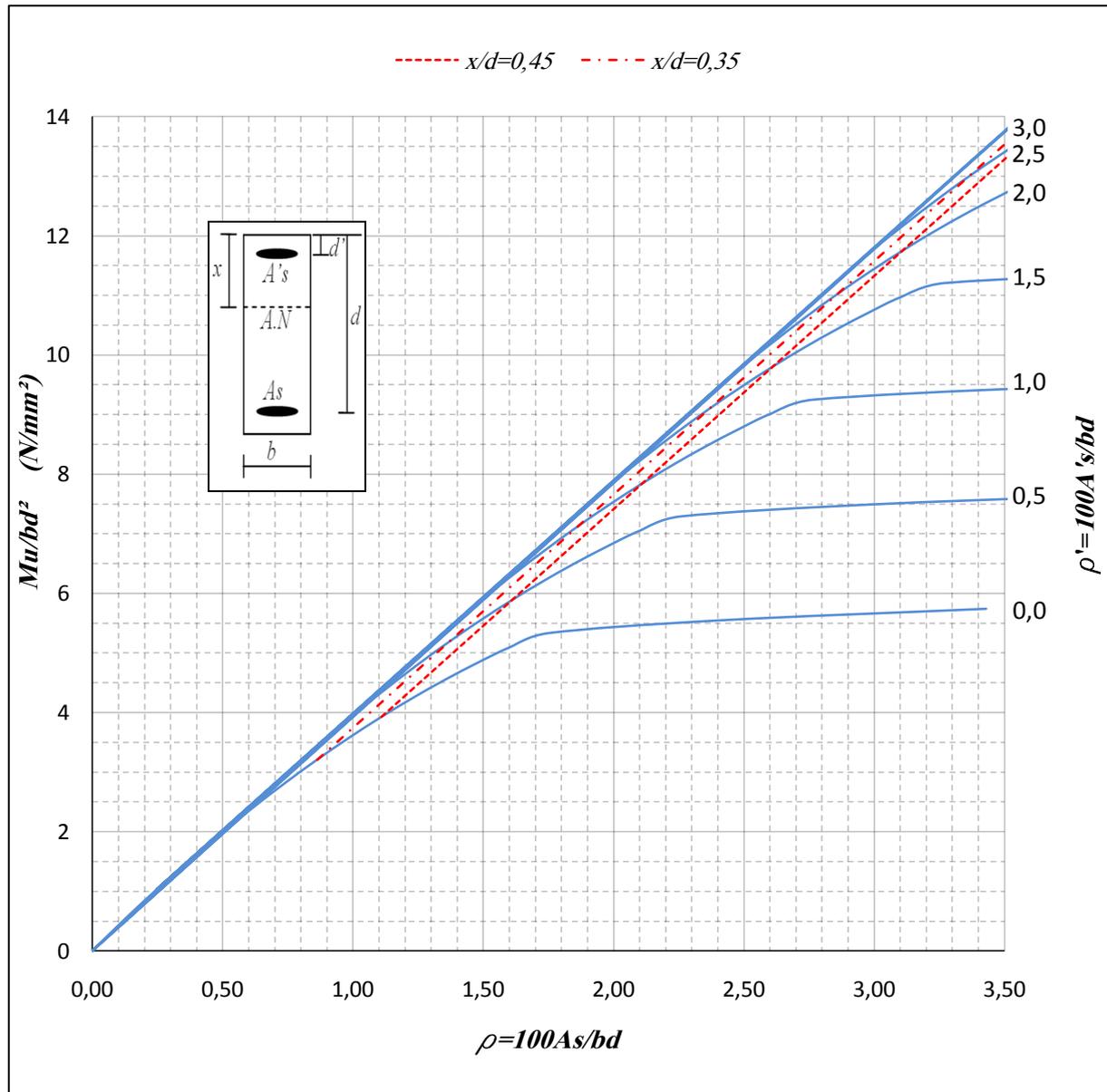


Figure (C.8). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 500MPa$, $f_{ck} = 20MPa$ et $d'/d = 0.10$

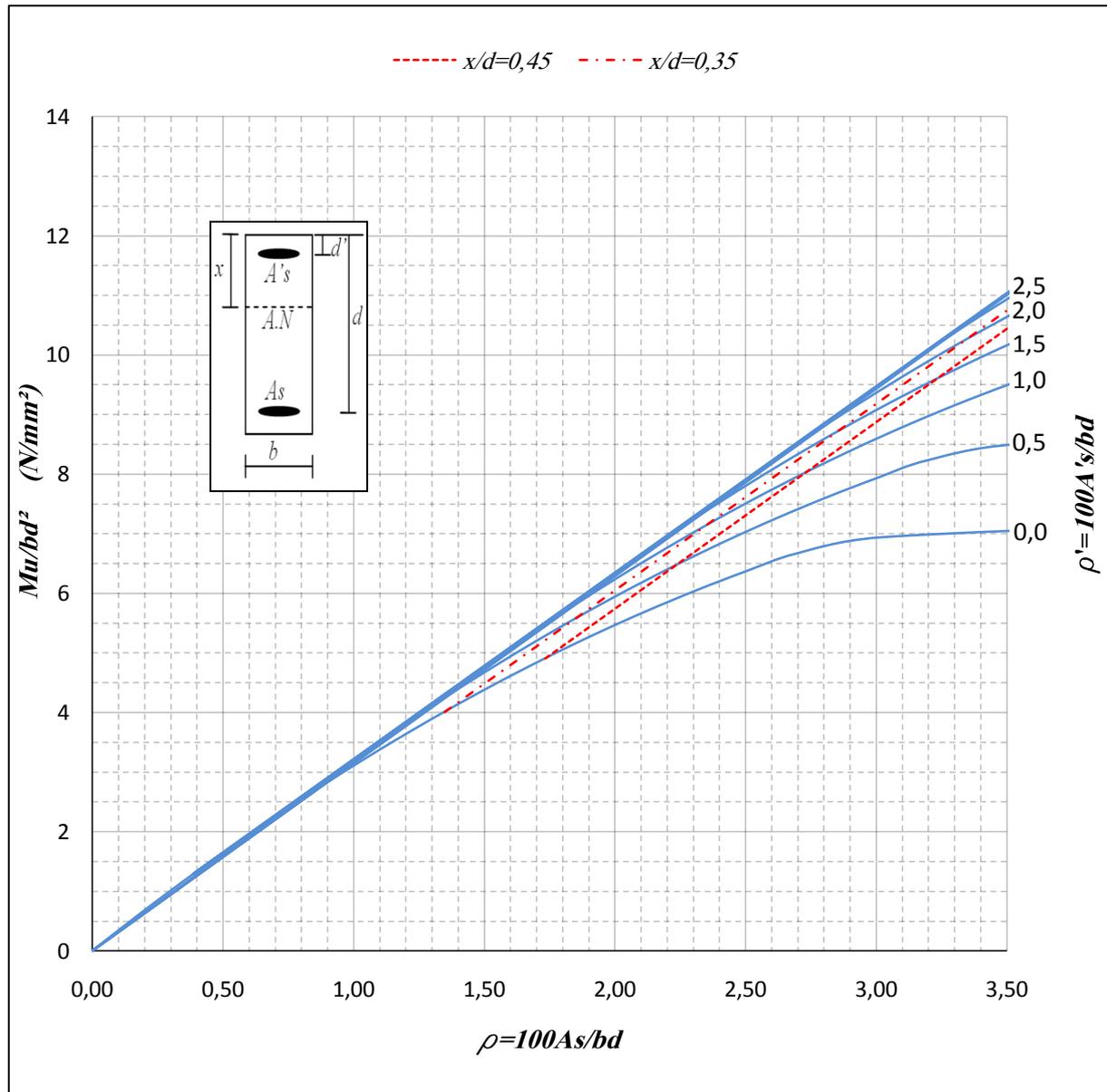


Figure (C.9). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{ck} = 25MPa$ et $d'/d = 0.10$

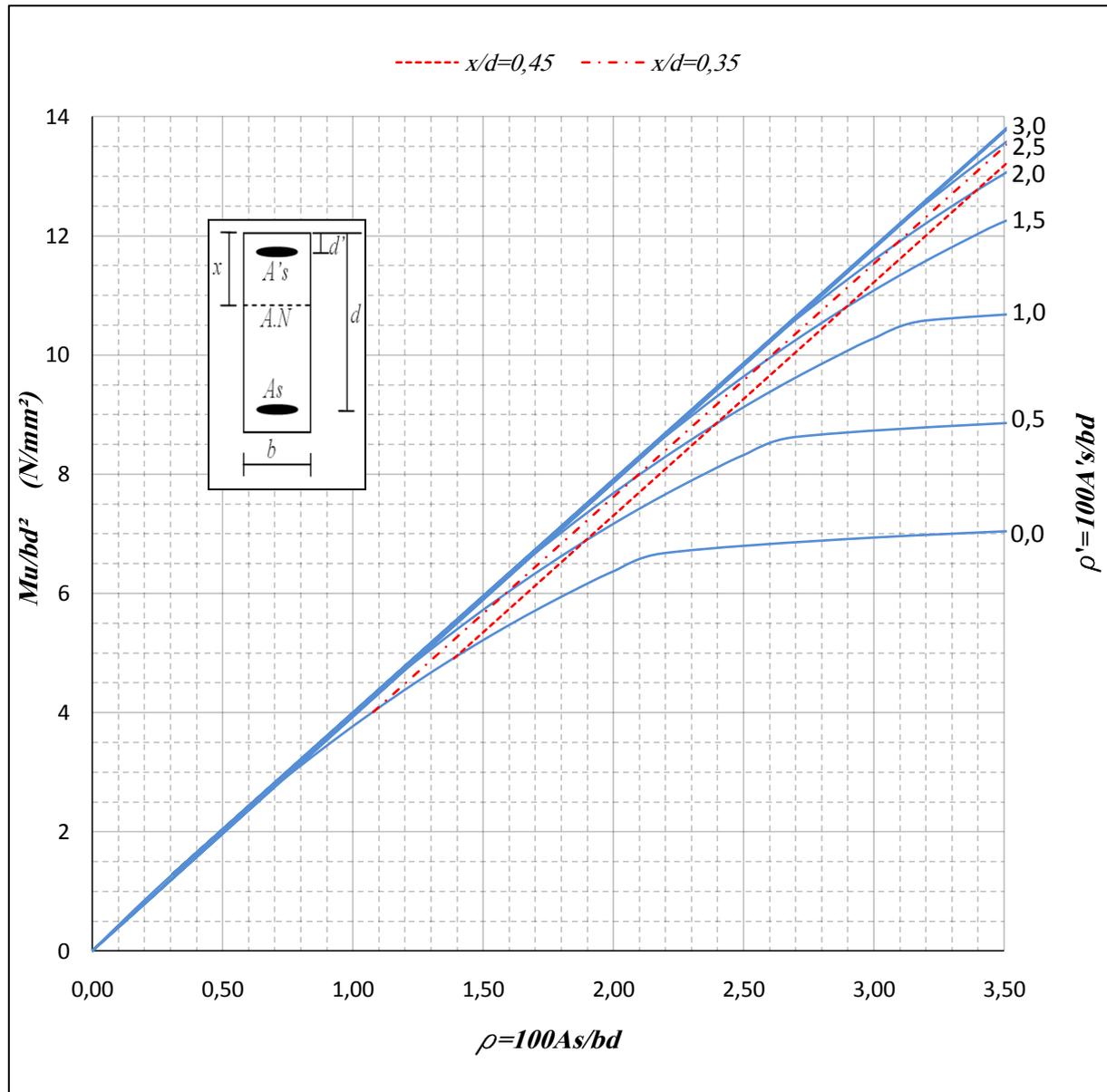


Figure (C.10). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 500\text{MPa}$, $f_{ck} = 25\text{MPa}$ et $d'/d = 0.10$

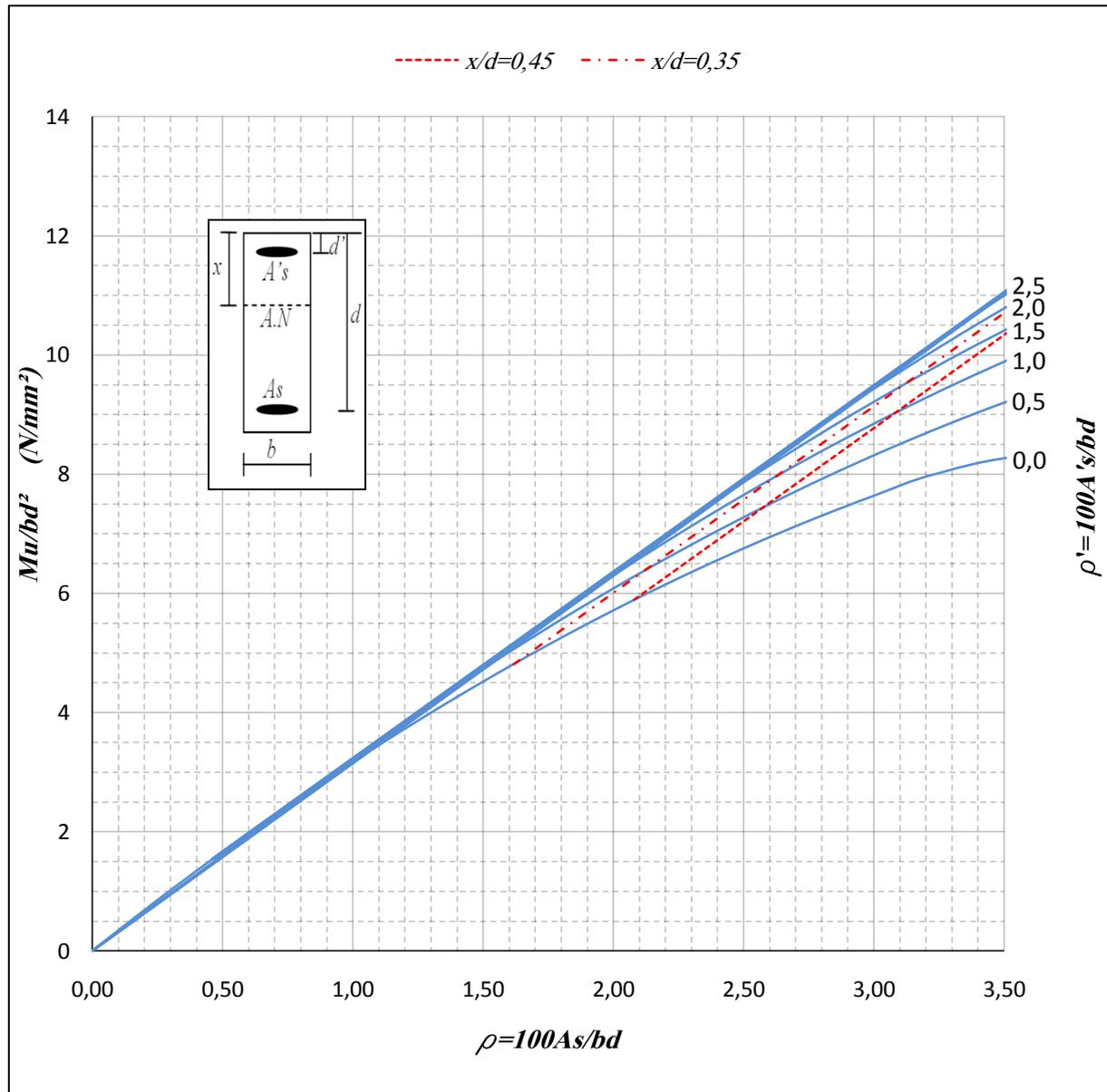


Figure (C.11). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{ck} = 30MPa$ et $d'/d = 0.10$

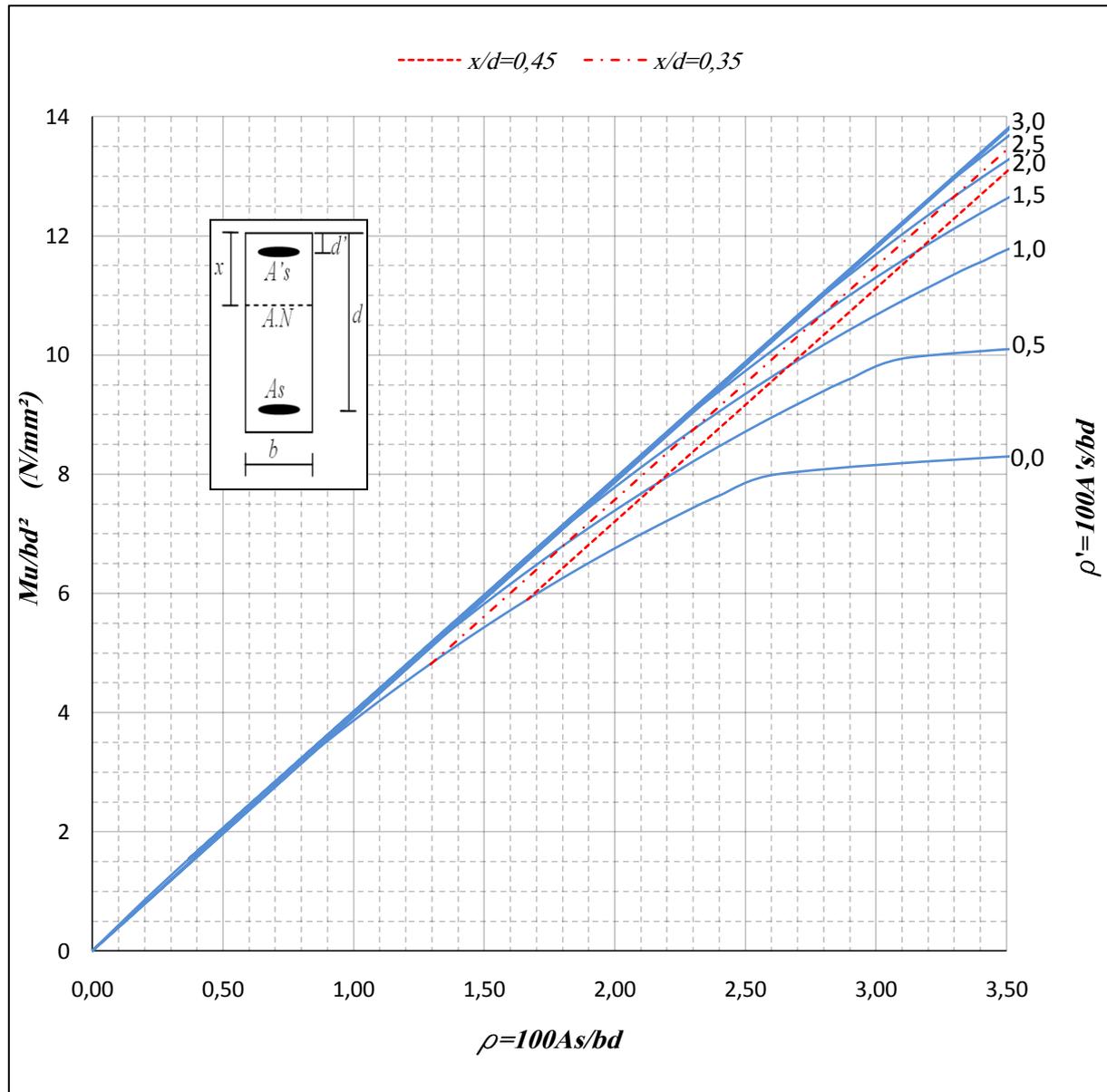


Figure (C.12). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (Eurocode 2), cas de $f_{yk} = 500 MPa$, $f_{ck} = 30 MPa$ et $d'/d = 0.10$

C.3.2 Utilisant les caractéristiques des matériaux adoptées par l'Eurocode 2

(i) Béton Ordinaire

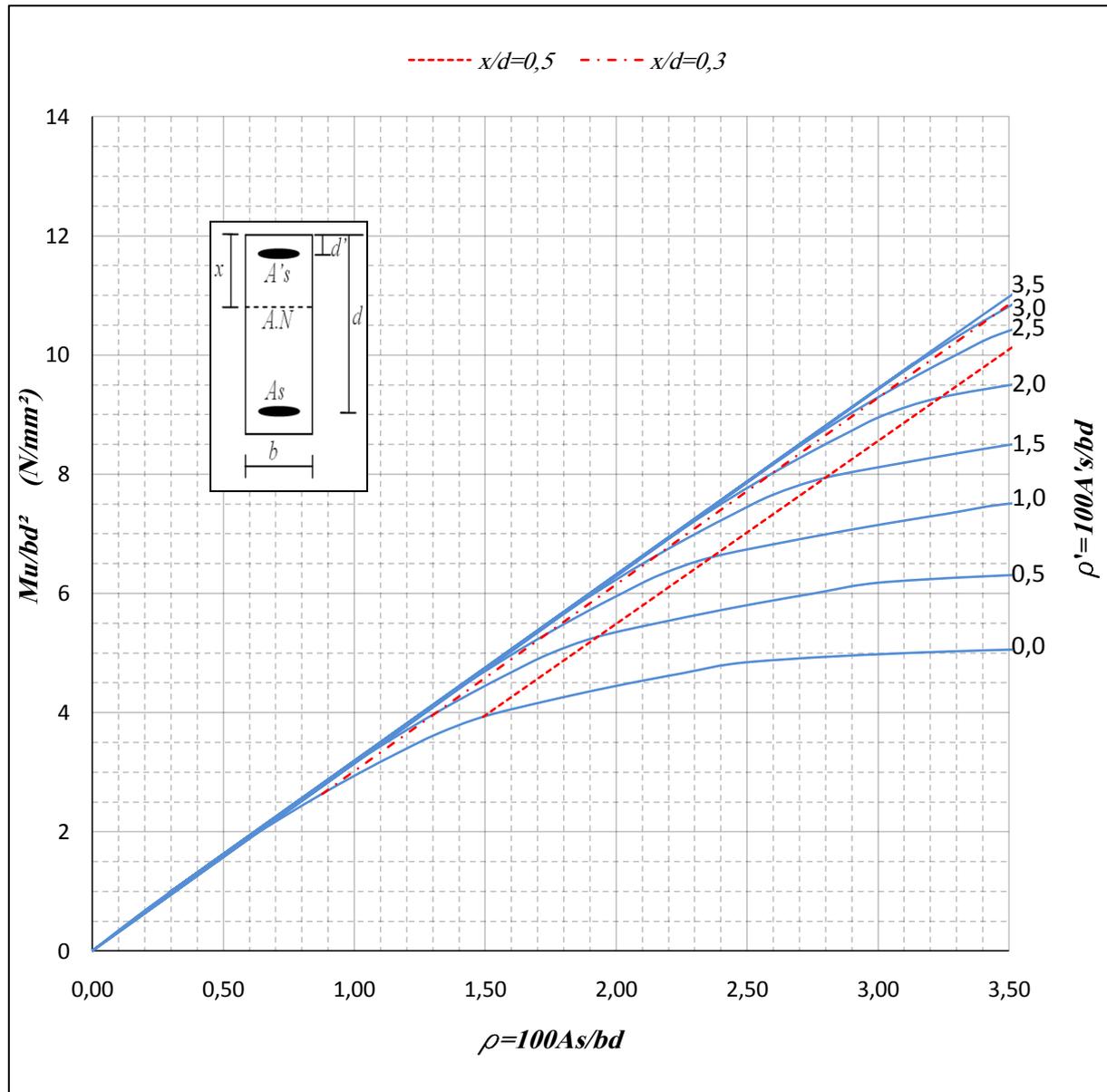


Figure (C.13). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (CP110), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{cu} = 25MPa$ et $d'/d = 0.10$

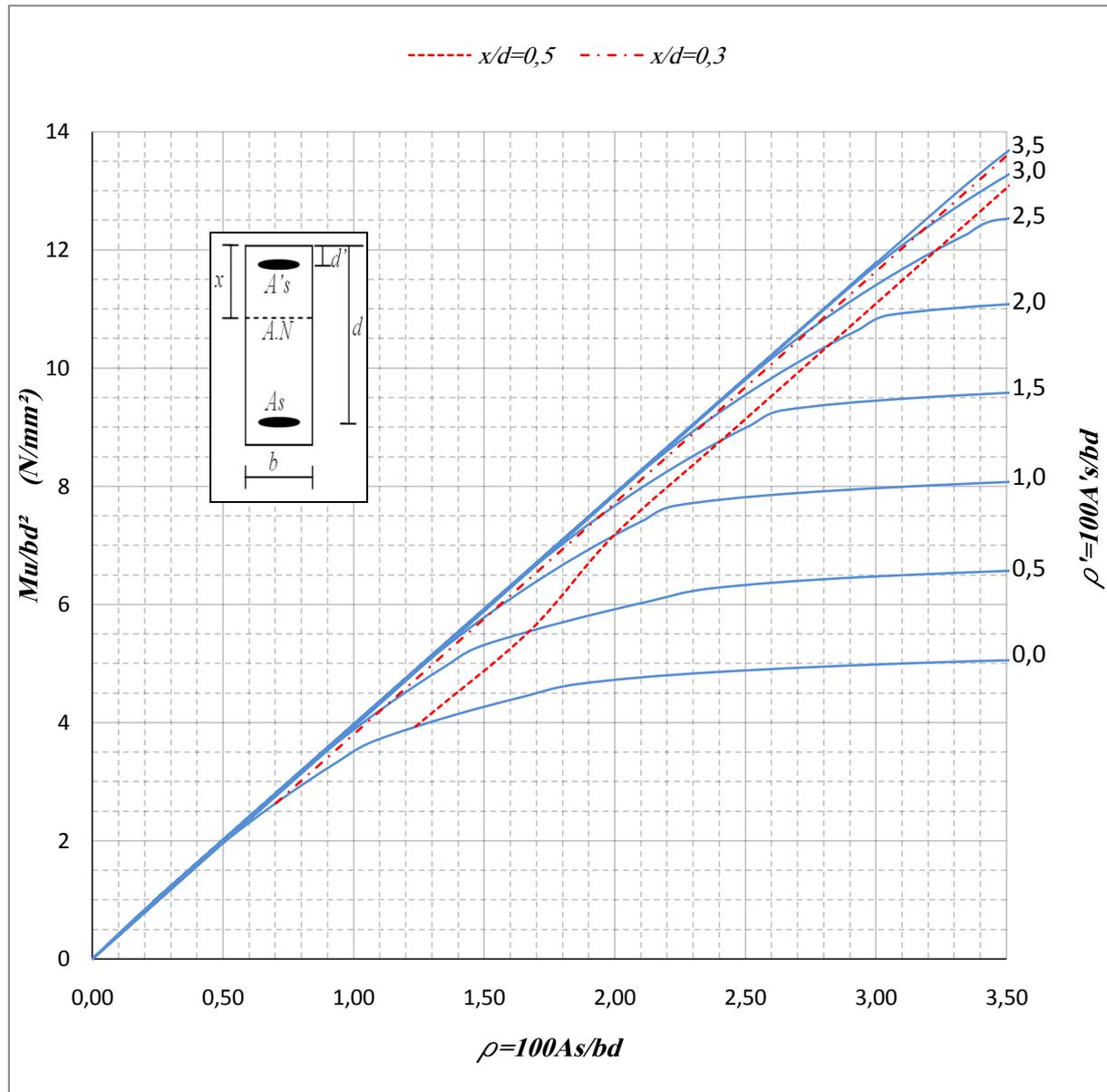


Figure (C.14). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (CP110), cas de $f_{yk} = 500MPa$,
 $f_{cu} = 25MPa$ et $d'/d = 0.10$

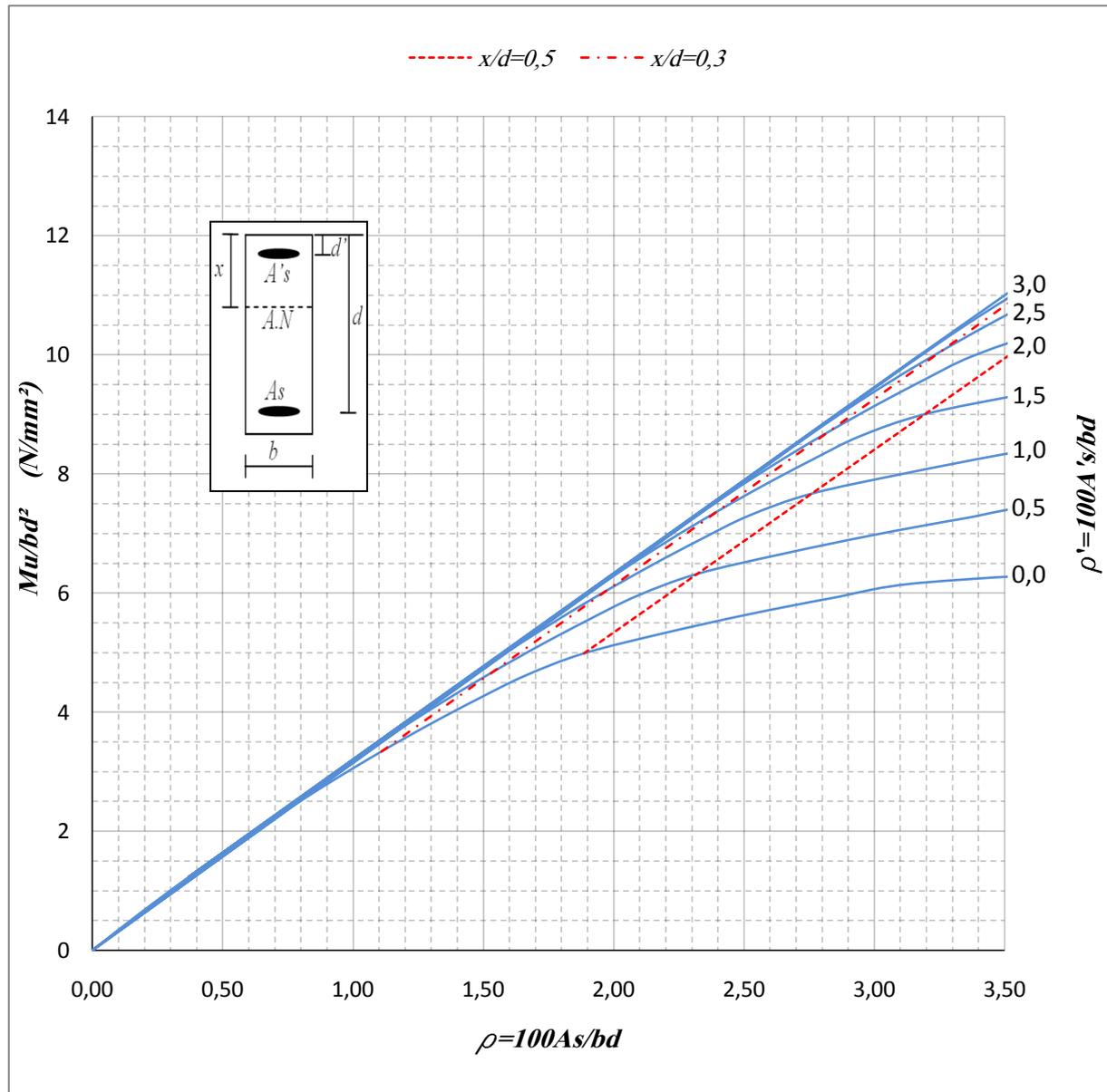


Figure (C.15). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (CP110), cas de $f_{yk} = 400MPa$,
 $f_{cu} = 32MPa$ et $d'/d = 0.10$

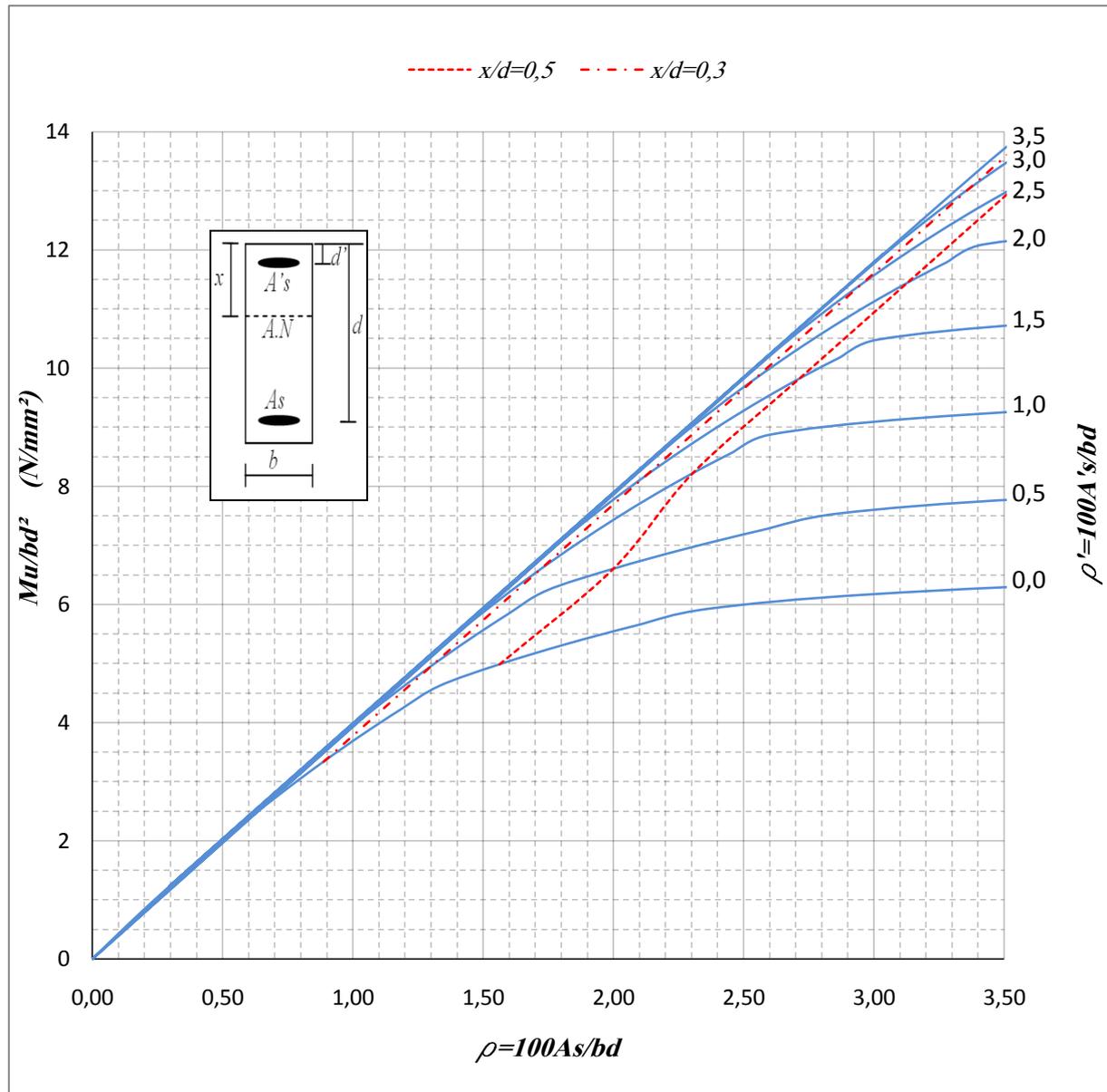


Figure (C.16). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (CP110), cas de $f_{yk} = 500MPa$,
 $f_{cu} = 32MPa$ et $d'/d = 0.10$

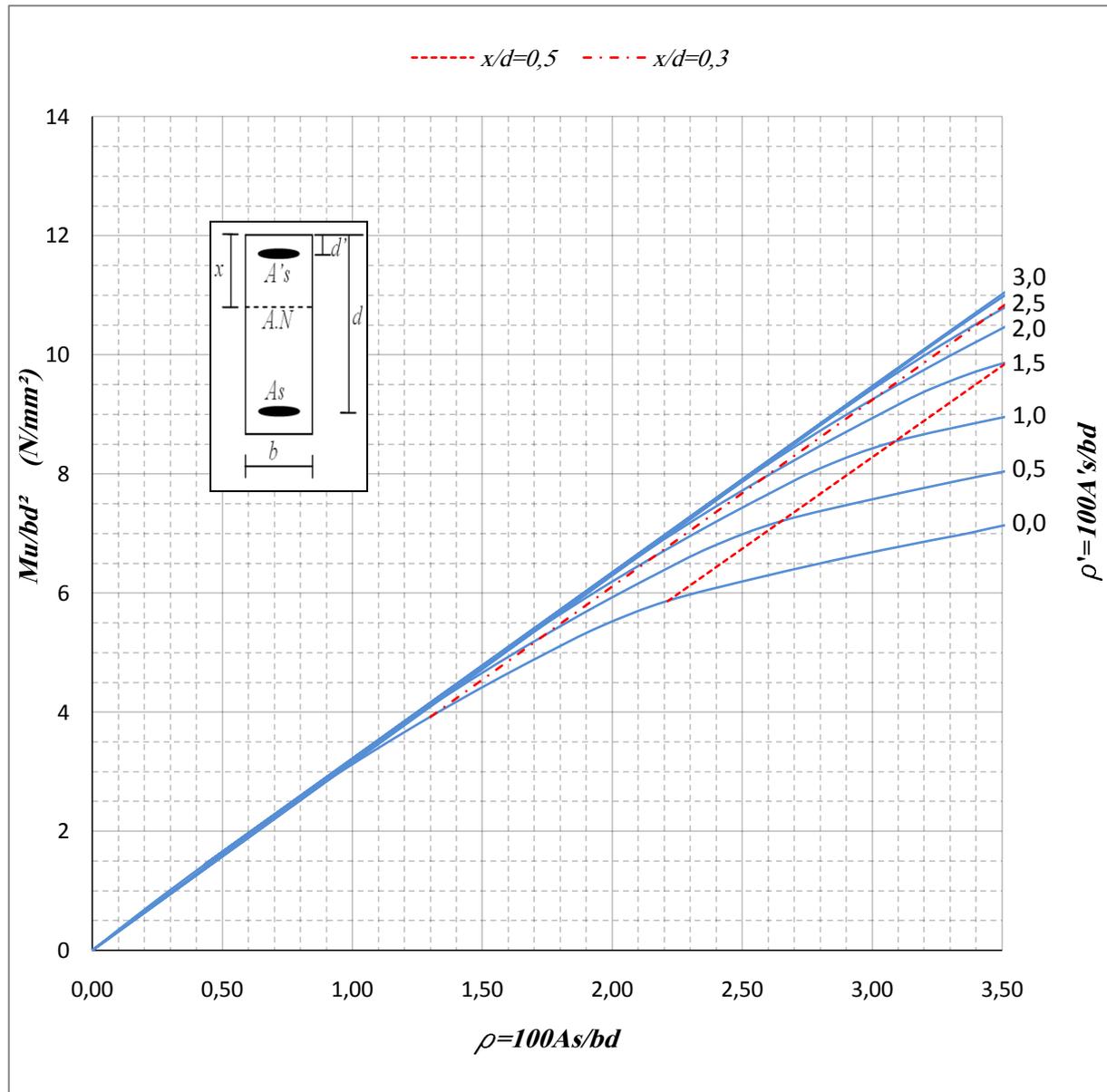


Figure (C.17). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (CP110), cas de $f_{yk} = 400MPa$,
 $f_{cu} = 38MPa$ et $d'/d = 0.10$

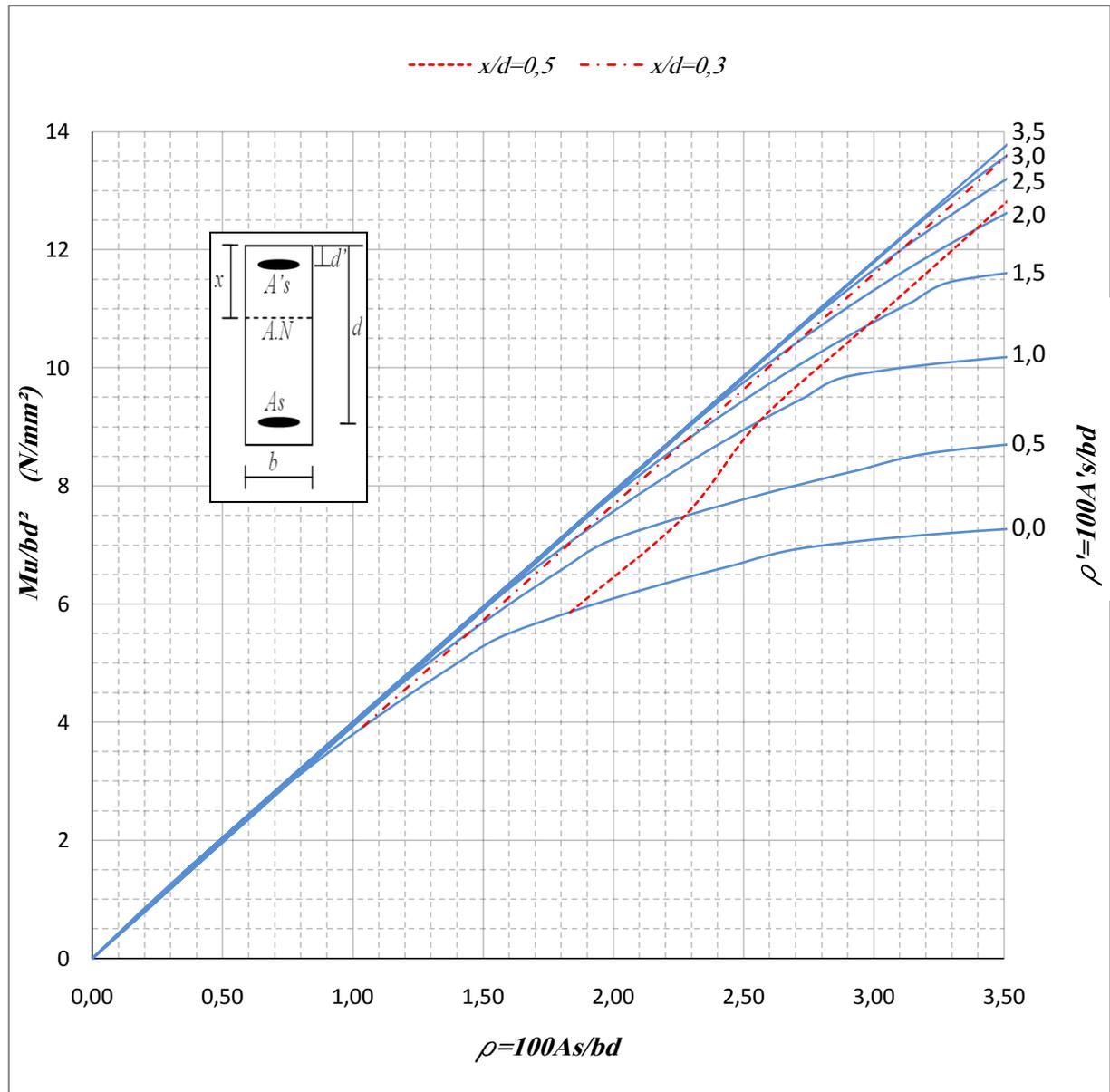


Figure (C.18). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BO (CP110), cas de $f_{yk} = 500MPa$,
 $f_{cu} = 38MPa$ et $d'/d = 0.10$

(ii) Béton de sable

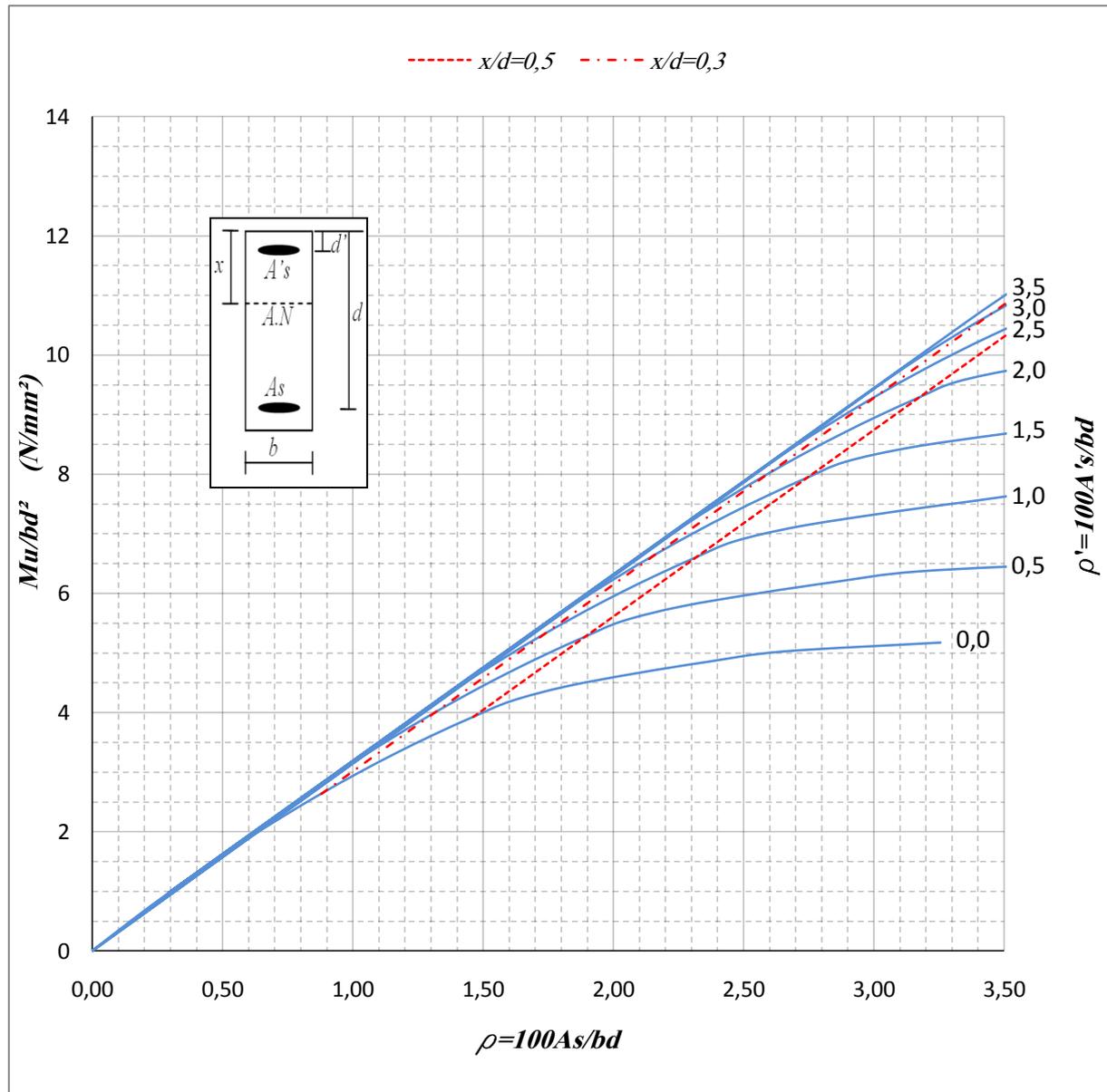


Figure (C.19). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (CP110), cas de $f_{yk} = 400\text{MPa}$, $f_{cu} = 25\text{MPa}$ et $d'/d = 0.10$

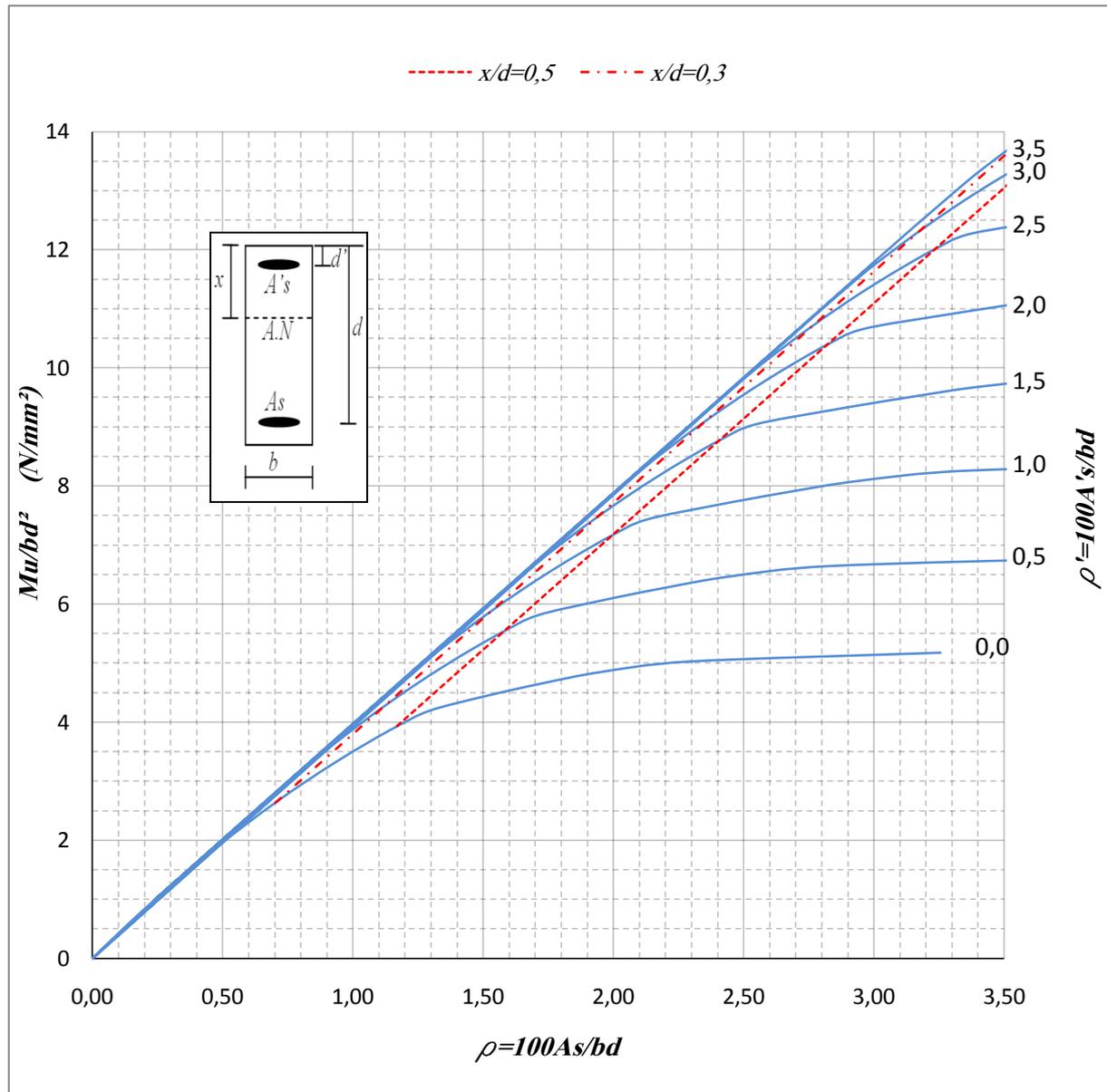


Figure (C.20). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (CP110), cas de $f_{yk} = 500MPa$,
 $f_{cu} = 25MPa$ et $d'/d = 0.10$

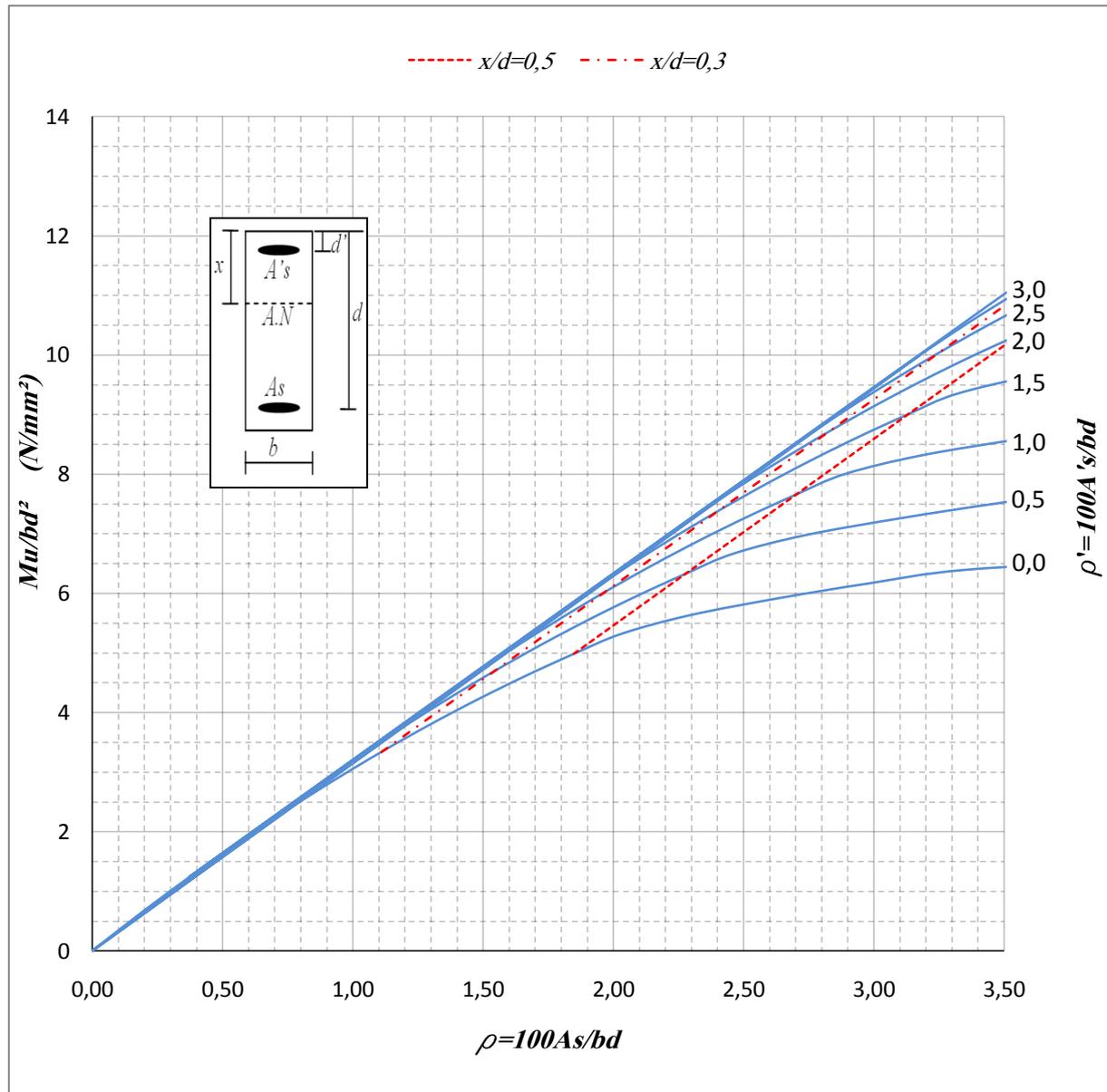


Figure (C.21). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (CP110), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{cu} = 32MPa$ et $d'/d = 0.10$

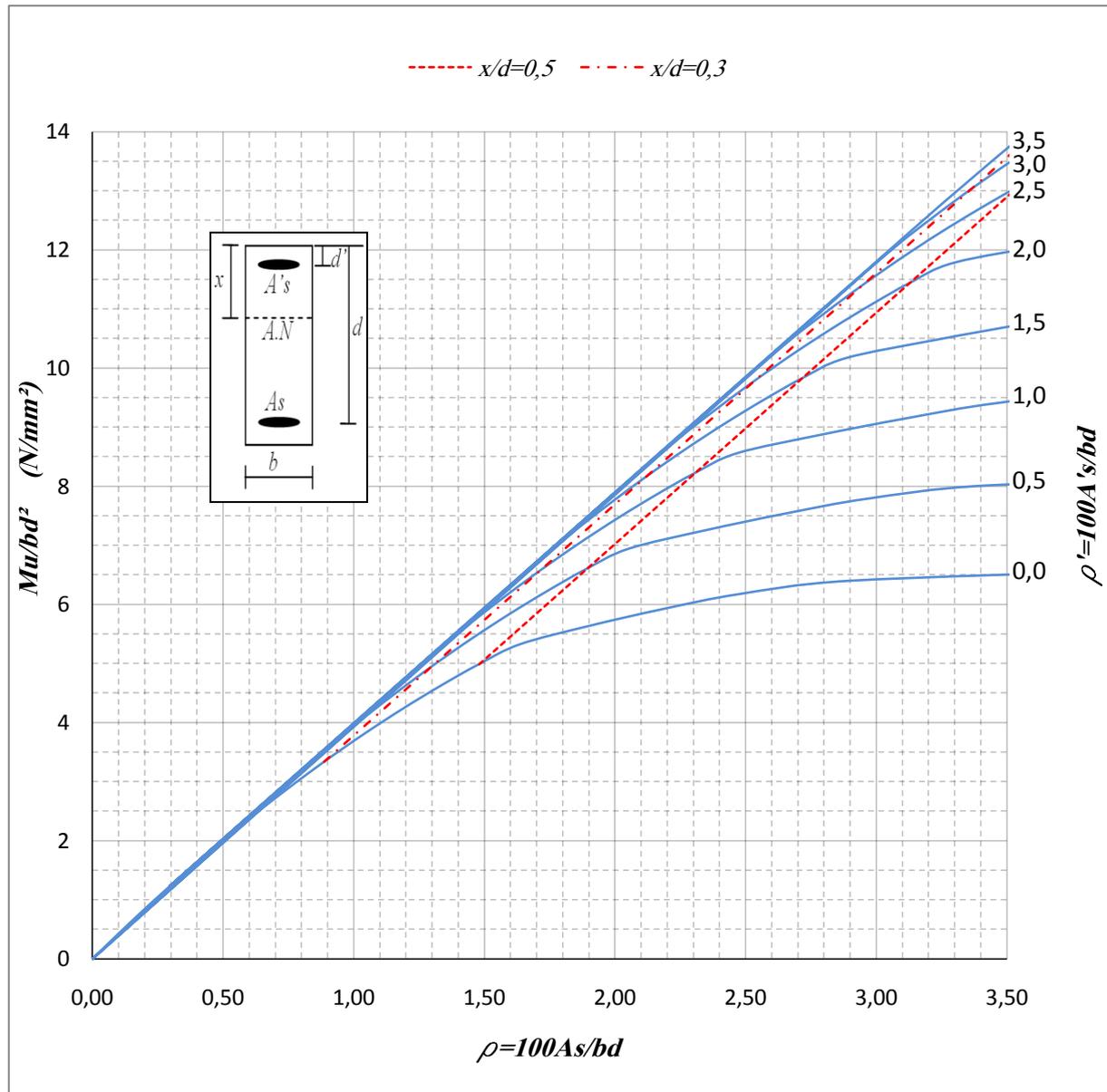


Figure (C.22). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (CP110), cas de $f_{yk} = 500MPa$, $f_{cu} = 32MPa$ et $d'/d = 0.10$

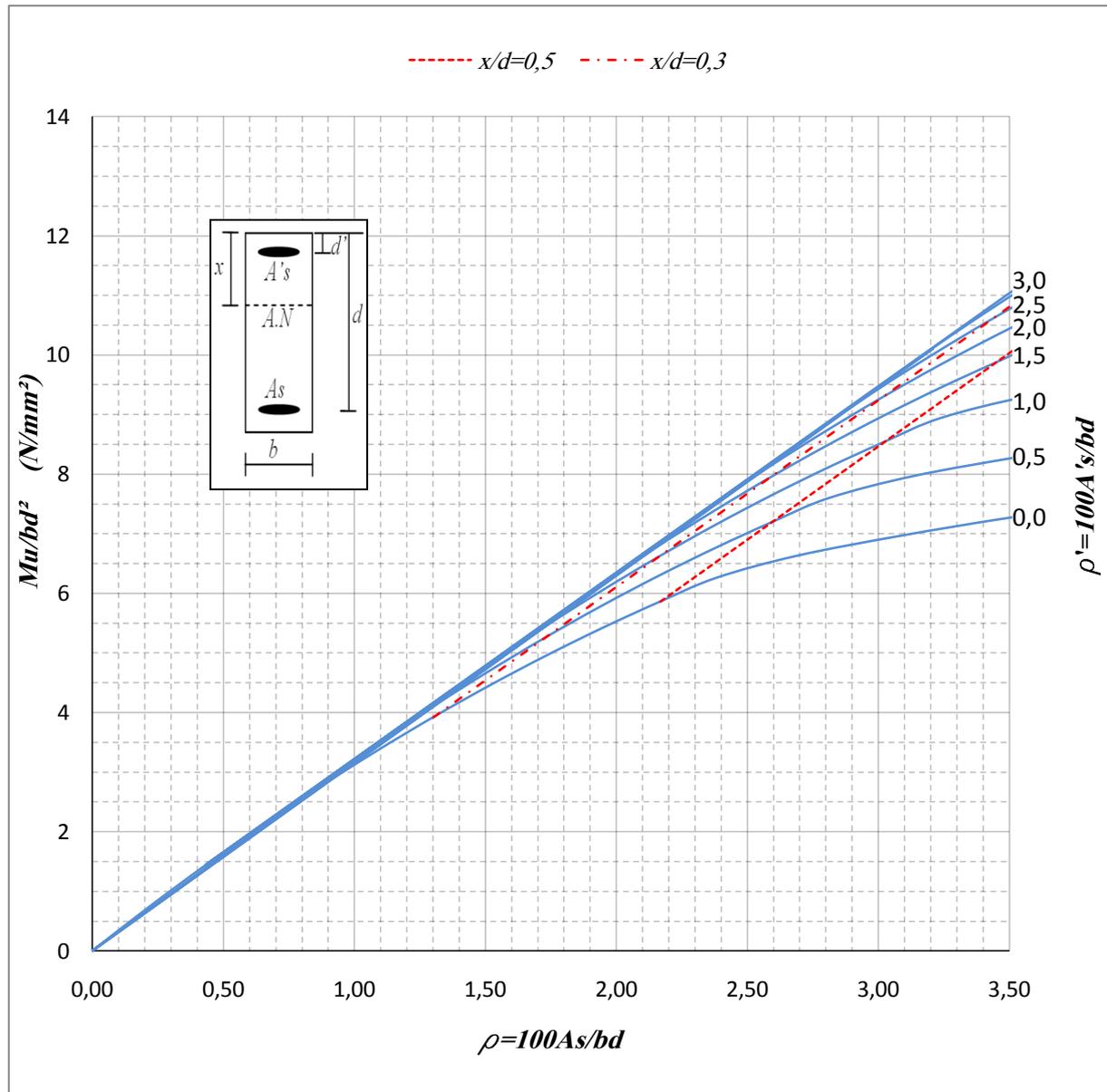


Figure (C.23). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (CP110), cas de $f_{yk} = 400MPa$, $f_{cu} = 38MPa$ et $d'/d = 0.10$

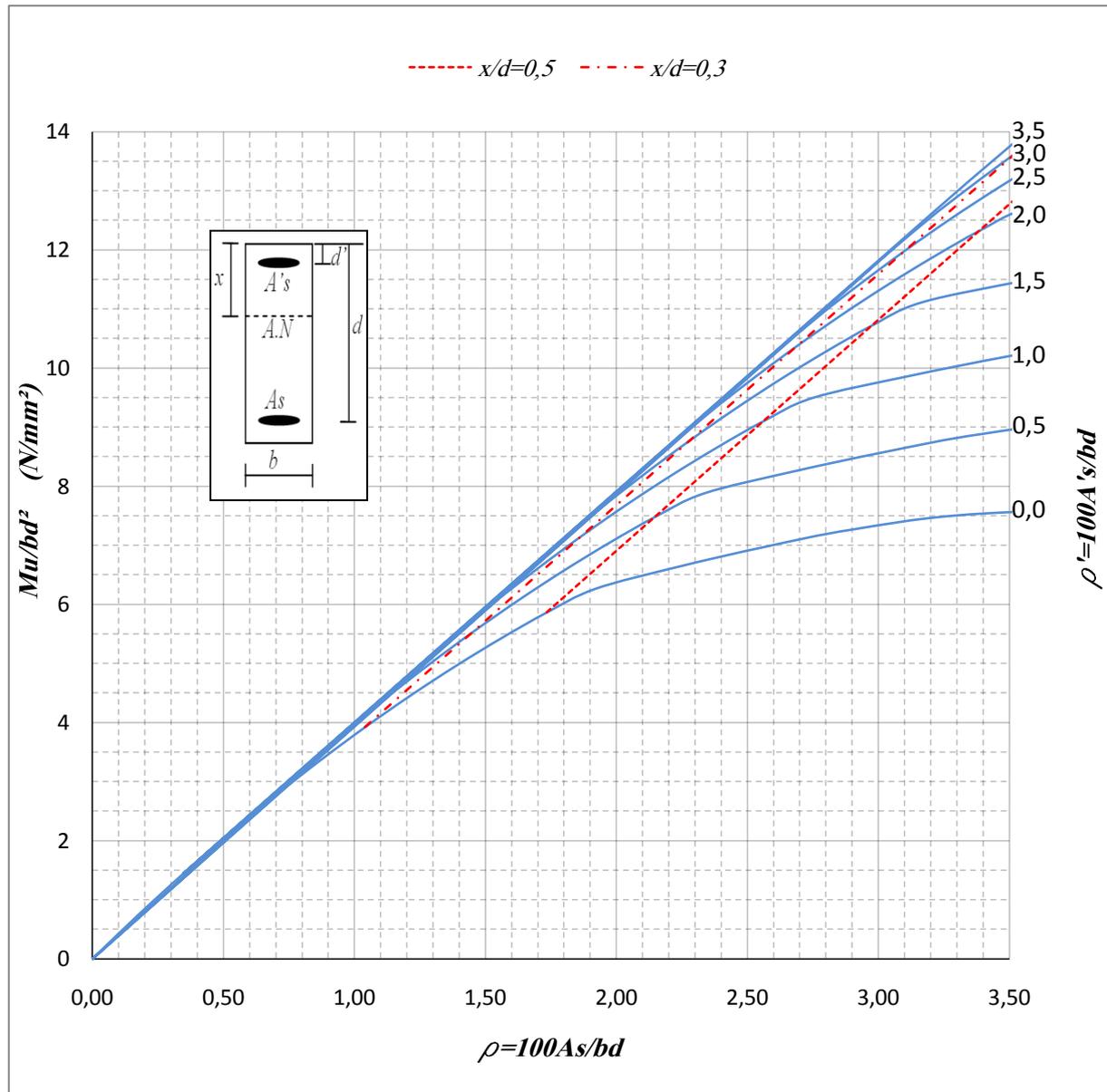


Figure (C.24). Moment réduit en fonction de ρ et ρ' , BDS (CP110), cas de $f_{yk} = 500MPa$, $f_{cu} = 38MPa$ et $d'/d = 0.10$

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **EUROCODE 2.** (1992). «Calcul des structures en béton». Document d'Application Nationale. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. EDITIONS AFNOR, Paris. France.
- [2] **MOSLEY W.H, HULSE R, BUNGEY J.H.** (1996). «Reinforced concrete design to Eurocode 2». Eurocode 2. EDITIONS ROWE LTD CHIPPENHAM, WILTS Londres. Grande-Bretagne.
- [3] **CP110.** (1972). «Code of practice for the structural use of concrete». Part 2. Design charts for singly reinforced beams, doubly reinforced beams and rectangular columns. EDITIONS BSI (British Standards Institution). Londres. Grande-Bretagne.
- [4] **BOUTLIKHT M.** (2005) «Comportement d'éléments structuraux rectilignes en béton armé et en charpente métallique en flexion pure». Thèse de Magister. Université Colonel Hadj Lakhdar de Batna, Algérie.
- [5] **SAMAI M. L.** (2011). «Analyse plastique des structures». Notes des cours de poste graduation. Université de Constantine. Algérie.
- [6] **TICHY M, RAKOSNIK J.** (1975). «Calcul plastique des ossatures en béton armé». EDITIONS EYROLES. Paris. France.
- [7] **MOREL jean.** (1997). «Calcul des structures métallique selon l'Eurocode3». TROISIEME TIRAGE. EDITIONS EYROLES. Paris. France.
- [8] **MOREL jean.** (1999). «Calcul des structures métallique selon l'Eurocode3». QUATRIEME TIRAGE. EDITIONS EYROLES. Paris. France.
- [9] **BEROUAL S.** (2008) «Caractérisation de sections en béton armé équivalentes à la gamme des profilés (IPE) en utilisant les caractéristiques de matériaux adoptées par les Eurocodes 2 et 3». Thèse de Magister. Université 20 Aout 1955 de Skikda, Algérie.
- [10] **GHERIB A.** (2003). «Etude d'un béton de sable de dunes pour pistes aéronautiques». Thèse de magistère, ENP, Alger, Algérie.
- [11] **GUENOUN R.** (2003). «Etude et formulation d'un béton de sable de dune». P.F.E, ENP, Alger, Algérie.

[12] PROJET NATIONAL DE RECHERCHE/ DEVELOPPEMENT Sablocrete. «Bétons de sable caractéristiques et pratiques d'utilisation». Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris – France.

[13] KONG F.K, EVANS R.H. (1980). «Reinforced and prestressed concrete». 2nd edition. EDITION VNR Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd. Londres. Grande- Bretagne.

[14] BOULAARES S. (2009). «Comportement d'éléments structuraux en béton de sable armé». Thèse de Magister. Université de Constantine, Algérie.

[15] DAVIDOVICI Victor (1996). «Formulaire du béton armé». ELEMENT DE CALCUL : INTERFACE BETON ARME/CHARPENTE METALLIQUE, Règles BAEL 91, Eurocode 2, Règles parasismiques 92. EDITIONS DU MONITEUR. Paris. France.