FEBE FAST
APPROVED QUALITY

FEBE

STANDARDISATION DES POUTRES PRÉFABRIQUÉES EN BÉTON PRÉCONTRAINT POUR OUVRAGES D'ART

4e édition – 2017

FEBEFAST est le groupement des fabricants belges d'éléments de structure en béton pour bâtiments et ouvrages d'art de la FEBE. Le groupement a pour objet le développement technique, en ce compris la normalisation, et la promotion des produits fabriqués par ses membres. Il publie une documentation technique afin d'informer les concepteurs, prescripteurs et entrepreneurs de l'application correcte des produits.

Les membres du groupement FEBEFAST préfabriquent des éléments de structure portants : colonnes, poutres, éléments de toiture, escaliers, voiles porteurs, éléments de fondation, poteaux, tours, éléments de pont, murs de soutènement, murs antibruit, tribunes, éléments de tunnel, etc. A travers cette diversité de produits, il y a une constante : la qualité.

DOCUMENTS A CONSULTER

Normes (source : www.NBN.be) :

- NBN A 24-301:1986 - Produits sidérurgiques - Aciers pour béton armé - Barres, fils et treillis soudés - Généralités et prescriptions communes
- NBN A 24-302:1986 - Produits sidérurgiques - Aciers pour béton armé - Barres lisses et barres à nervures - Fils machine lisses et fils machine à nervures
- NBN A 24-303:1986+A1:1990 - Produits sidérurgiques - Aciers pour béton armé - Fils écrouis à froid lisses et fils écrouis à froid à nervures
- NBN A 24-304:1986+A1:1988 - Produits sidérurgiques - Aciers pour béton armé - Treillis soudés
- NBN B 15-001:2012 - Béton - Spécification, performances, production et conformité - Complément national à la NBN EN 206-1:2001
- NBN B 15-215:1989 – Essais des bétons - Absorption d'eau par immersion
- NBN B 15-400:2015 - Exécution des structures en béton - Supplément national à la NBN EN 13670:2010
- NBN B 21-600:2009 - Règles communes pour les produits préfabriqués en béton - Complément national à la NBN EN 13369:2004+A1:2006+AC:2006
- NBN EN 206-1:2001+ A1:2004 - Béton - Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité
- NBN EN 446:2007 - Coulis pour câble de précontrainte - Procédures d'injection de coulis
- NBN EN 447:2007 - Coulis pour câble de précontrainte - Prescriptions pour les coulis courants
- NBN EN 523:2003 - Gaines en feuillard d'acier pour câbles de précontrainte - Terminologie, prescriptions, contrôle de qualité
- NBN EN 1337-2:2004 - Appareils d'appui structuraux - Partie 2 : Eléments de glissement
- NBN EN 1337-3:2005 - Appareils d'appui structuraux - Partie 3 : Appareils d'appui en élastomère
- NBN EN 1337-5:2005 - Appareils d'appui structuraux - Partie 5 : Appareils d'appui à pot
- NBN EN 1337-7:2004 - Appareils d'appui structuraux - Partie 7 : Appareils d'appui cylindriques sphériques comportant du PTFE
- NBN EN 1504-3:2006 - Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 3 : Réparation structurale et réparation non structurale
- NBN EN 1504-7 : 2007 - Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 7 : Protection contre la corrosion des armatures
- NBN EN 1990:2002+A1:2006+ANB:2013 – Eurocode 0 : Bases de calcul des structures
- NBN EN 1991-2:2004+ANB:2011 - Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 2 : Actions sur les ponts, dues au trafic (+ AC:2010)
- NBN EN 1992-2:2005+ANB:2014 - Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 2 : Ponts en béton - Calcul et dispositions constructives (+ AC:2008)
- NBN EN 1993-1-8:2005+ANB:2010 - Eurocode 3 : Calcul des structures en acier - Partie 1-8 : Calcul des assemblages (+AC:2009)
- NBN EN 12350-1:2009 - Essais pour béton frais - Partie 1 : Prélèvement
- NBN EN 12350-6:2009 - Essais pour béton frais - Partie 6 : Masse volumique
- NBN EN 12390-2:2009 - Essais pour béton durci - Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance
- NBN EN 12390-3:2009 - Essais pour béton durci - Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes (+ AC:2011)
- NBN EN 13369:2004+A1:2006+AC:2006 - Règles communes pour les produits préfabriqués en béton
- NBN EN 13369:2013 - Règles communes pour les produits préfabriqués en béton
- NBN EN 13670:2010 - Exécution des structures en béton
- NBN EN 15050+A1:2012 - Produits préfabriqués en béton - Eléments de ponts
- NBN EN ISO 15630-1:2010 - Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton - Méthodes d'essai - Partie 1 : Barres, fils machine et fils pour béton armé (ISO 15630-1:2010)
- NBN EN ISO 15630-2:2010 - Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton - Méthodes d'essai - Partie 2 : Treillis soudés (ISO 15630-2:2010)
- NBN EN ISO 15630-3:2010 - Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton - Méthodes d'essai - Partie 3 : Armatures de précontrainte (ISO 15630-3:2010)
- NBN I 10-001:1986 - Aciers de précontrainte - Fils, torons et barres - Généralités et prescriptions communes
- NBN I 10-003:1986 - Aciers de précontrainte – Torons
- ISO 15835-2:2009 – Steels for the reinforcement of concrete – reinforcement couplers for mechanical splices of bars – part 2 : Test methods
- PTV 302:2017 – Aciers pour béton armé – Barres à nervures ou à empreintes – fils à nervures ou à empreintes à haute ductilité
- PTV 303:2013 – Aciers pour béton armé – Fils écoruis à froid à nervures
- PTV 304:2016 – Aciers pour béton armé – Treillis soudés
- PTV 306:2017 – Acier pour béton armé – Façonnage (dresser, couper, plier, positionner et souder)
- PTV 311:2012 – Aciers de précontrainte – Torons
- PTV 563:2007 – Prescription techniques pour mortiers de réparation du béton

Directives :

- ETAG 013:2002 – Guideline for European Technical Approval of Post-Tensioning Systems

Sommaire

1 Objet 5

2 Profils 7
2.1 Profils standardisés 7
2.1.1 Poutres en I 7
2.1.3 Poutres dalles 8
2.1.4 Poutres en U 8
2.1.5 Poutres en U inversé 9
2.2 Poutres de rive 9
2.2.1 Poutres standard en I et en T inversé 9
2.2.2 Poutres en I et en T inversé adaptées 9
2.2.3 Poutres rectangulaires 9
2.3 Dimensions longitudinales 10
2.4 Dimensions transversales 10

3 Prescriptions relatives au calcul 12
3.2 Caractéristiques des matériaux 13
3.2.1 Béton 13
3.2.2 Acier 13

4 Données technologiques 14
4.1 Poids maximal des éléments 14
4.2 Effort maximal de précontrainte sur les bancs 14
4.3 Relevage des torons 14
4.4 Suppression locale de l'adhérence des torons 15
4.5 Disposition des torons 15
4.6 Armatures passives 16
4.6.1 Dispositions de principe des armatures transversales 16
4.6.2 Armatures longitudinales supérieures 16
4.6.3 Armatures longitudinales de l'âme 16
4.6.4 Armatures d'effort tranchant 16
4.6.5 Armature spéciale dans le bloc d'about 16
4.7 Liaisons entre les poutres et les entretoises 17
4.7.1 Parties de liaison 17
4.7.2 Liaisons aux blocs d'about 17
4.7.3 Liaisons en travée 18
4.7.4 Caractéristiques dimensionnelles et résistance 18
4.7.5 Observations générales 18
4.8 Blocs d'about 19
4.8.1 Blocs d'about avec découpe inférieure 19
4.8.2 Blocs d'about en biais 19
4.9 Pose des appareils d'appui 19

5 Tolérances de fabrication 23
5.1 Tolérances dimensionnelles 23
5.1.1 Dimensions transversales 23
5.1.2 Longueur 24
5.1.3 Inclinaison des faces terminales 24
5.1.4 Découpe des blocs d'about 24
5.1.5 Déversement 25
5.1.6 Position des pièces intégrées et des ouvertures 25
5.2 Tolérances de forme 25
5.2.1 Déformations verticales 25
5.2.2 Déformations transversales 26
5.3 Caractéristiques de surface 26

6 Prescriptions administratives 27
6.1 Terminologie 27
6.2 Plans d'étude 27
6.3 Plans d'exécution 28
6.4 Prescriptions particulières 28
6.5 Identification des poutres 28
6.6 Suivi de la fabrication 29

7 Prescriptions techniques 30
7.1 Armatures de précontrainte et armatures passives 30
7.2 Système de postcontrainte 30
7.3 Assemblages mécaniques d'armatures passives 30
7.3.1 Généralités 30
7.3.2 Essais d'homologation 30
7.4 Soudage d'armatures passives 31
7.4.1 Généralités 31
7.4.2 Modalités d'exécution des assemblages soudés 31
7.4.3 Dossier de soudage 32
7.4.4 Essais d'armature soudée 33
7.4.4.1 Essai de traction 33
7.4.4.2 Essai de cintrage 34
7.4.4.3 Examen visuel 35
7.5 Béton 36

8 Fabrication : équipement, exécution et contrôles 37
8.1 Armatures de précontrainte ancrés par adhérence 37
8.1.1 Équipement de mise en tension 37
8.1.2 Opération de mise en tension 37
8.1.3 Vérification de la force de précontrainte effective 38
8.1.3.1 Mise en tension individuelle des armatures 38
8.1.3.2 Mise en tension simultanée de plusieurs armatures 38
8.1.4 Observations concernant la mise en tension 39
8.1.5 Mise en précontrainte du béton 39
8.1.6 Protection des extrémités des torons 39
8.2 Armatures passives 40
8.3 Armatures de postcontrainte 40
8.3.1 Positionnement des gaines et armatures 40
8.3.2 Mise en tension des câbles 40
8.3.3 Injection des gaines 40
8.4 Bétonnage et décoffrage 41
8.5 Traitement thermique du béton 41

9 Manutention, entreposage et transport 42

ANNEXE A 43
Caractéristiques géométriques des profils standards 43

1 Objet

Généralement, les ponts préfabriqués se composent d'un certain nombre de poutres maîtresses préfabriquées disposées les unes à côté des autres, voir figure 1.

Si c'est nécessaire, des entretoises peuvent être coulées sur site aux extrémités et/ou à intervalles réguliers.

Après montage des poutres préfabriquées et bétonnage des entretoises, on procède au coulage de la dalle du tablier en recourant le plus souvent à l'utilisation de prédalles préfabriquées, qui contribuent ou non structurellement à la reprise des efforts par la dalle de platelage.

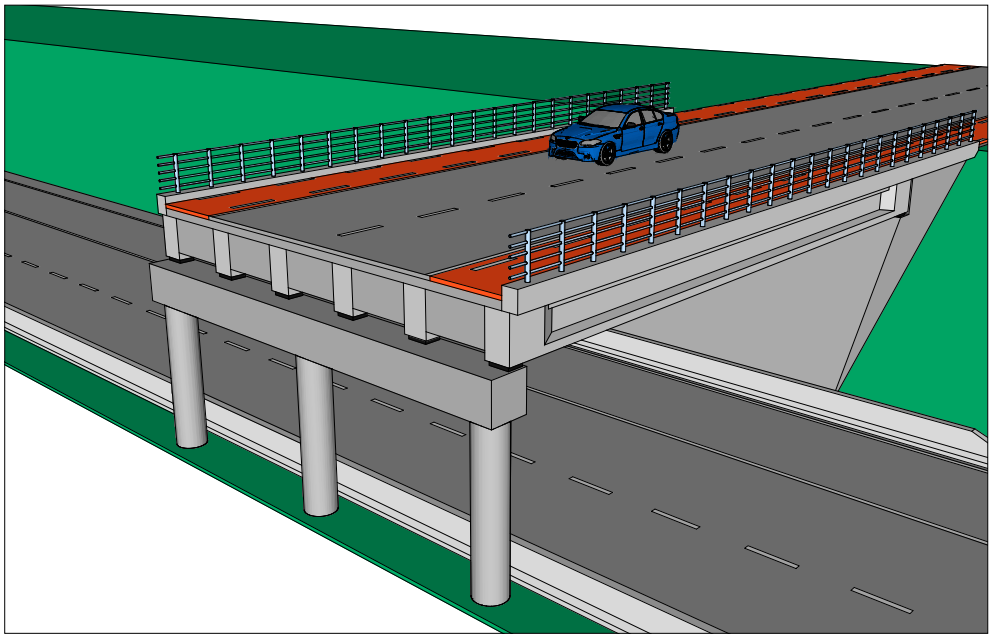


Figure 1 - Principe d'un pont préfabriqué

Cette publication traite spécifiquement des poutres de pont en béton précontraint préfabriquées en usine.

Par usine de préfabrication, on entend une unité technique à l'abri des intempéries, du soleil et du vent au sein de laquelle la température du béton mis en œuvre et des coffrages utilisés s'élève à 5 °C au moins et où les éléments en béton sont protégés du gel jusqu'au moment de leur mise en précontrainte. Cette unité se compose des éléments suivants :

- installations fixes de mise en tension et de relâchement mécanique progressif des torons;
- coffrages en bon état équipés de vibreurs latéraux, sauf si l'utilisation de béton autoplaçant est autorisée par le maître d'ouvrage;
- centrale à béton pourvue de dispositifs de dosage et d'équipements de transport d'une capacité suffisante;
- équipement de laboratoire conçu pour le contrôle de la consistance et de la qualité du béton;
- lieu de stockage adapté aux matières premières utilisées;
- un système d'autocontrôle attestant de la qualité et la régularité de la production.

Le fabricant doit être à même de démontrer la qualité des produits livrés.

La réalisation de la précontrainte repose essentiellement sur l'action de torons agissant par adhérence. On peut également envisager une postcontrainte additionnelle au moyen de câbles composés de torons.

Les dispositions qui suivent ne s'appliquent pas aux poutres en béton léger.

Les conditions générales de réalisation de la postcontrainte sortent du cadre de la présente standardisation. Toutefois certains points particuliers concernant la postcontrainte font l'objet de précisions.

© Structo

2 Profils

2.1 Profils standardisés

Cinq types de profils sont standardisés. Parmi ceux-ci, les poutres en I et en T renversé s'avèrent être les plus intéressantes d'un point de vue économique parce que la standardisation des caractéristiques géométriques est traduite par l'adoption d'un système de coffrage composé de segments de coffrage standardisés. Les poutres en U, en U renversé et les poutres dalles épousent une forme normalisée, mais leurs dimensions ne sont pas arrêtées.

Les recommandations émises dans cette brochure s'appliquent aussi aux éléments non standardisés tels que les poutres en Z, ponts bacs, etc.

2.1.1 Poutres en I

Ces poutres présentent une section transversale en forme de I majuscule à empattements ainsi qu'une semelle inférieure et une semelle supérieure reliées par l'âme de la poutre (voir figure 2).

Leurs dimensions et caractéristiques sont mentionnées à l'Annexe A.

Exceptionnellement, l'épaisseur de la semelle supérieure est susceptible d'atteindre la valeur maximale de 300 mm.

En principe, la largeur des blocs d'about est égale à celle de la semelle inférieure pour les poutres en I dont la largeur est comprise entre 620 et 640 mm. Pour les poutres en I plus larges, la largeur de ces blocs peut être égale à celle de la semelle supérieure.

Le tablier du pont est généralement exécuté en prédalles sur lesquelles on coule une dalle de compression, mais on peut également envisager la réalisation d'une dalle entièrement coulée sur site.

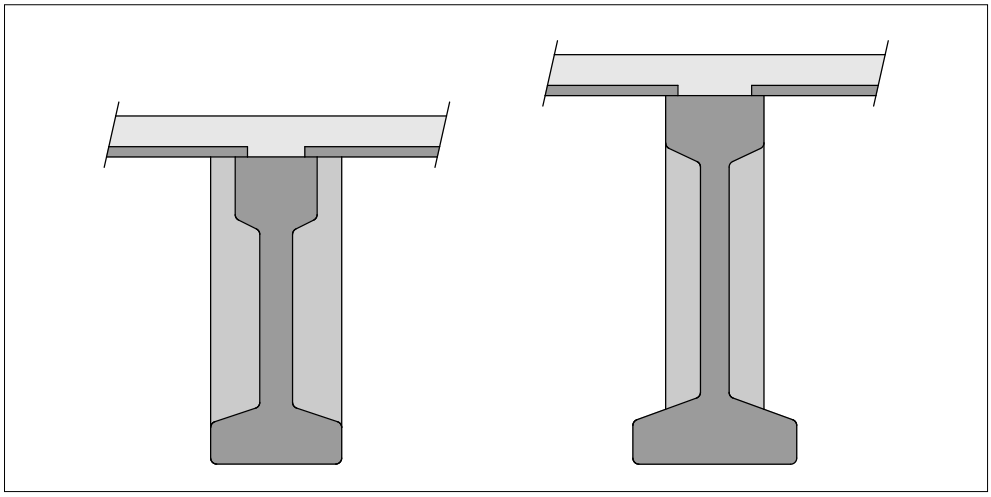


Figure 2 – Poutres en I

2.1.2 Poutres en T inversé

Il s'agit de poutres en I dépourvues de semelle supérieure (voir figure 3).

Leurs dimensions et caractéristiques sont mentionnées à l'Annexe A.

Exceptionnellement toutes les hauteurs intermédiaires peuvent être réalisées en modifiant la hauteur de l'âme.

En principe, la largeur des blocs d'about est égale à celle de la semelle inférieure pour les poutres en T renversé dont la largeur est égale à 600, 620 ou 640 mm.

Le tablier du pont est généralement coulé sur site en raison de la largeur restreinte de l'âme.

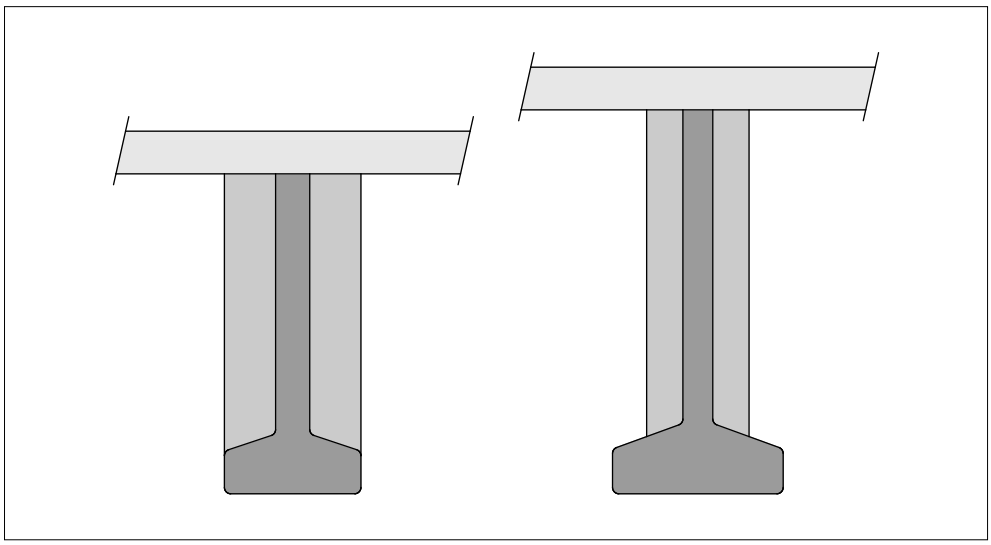


Figure 3 – Poutres en T inversé

2.1.3 Poutres dalles

Il s'agit de poutres en I pourvues d'une semelle supérieure élargie (voir figure 4).

En principe, la largeur des blocs d'about est égale à celle de la semelle inférieure.

La pose des poutres dalles les unes à côté des autres simplifie le coulage du tablier tout en rendant l'opération plus sûre. Pour les poutres jointives une attention particulière doit être portée lors de la conception du projet aux tolérances de fabrication en ce qui concerne la courbure latérale et la contre flèche différente éventuelle de poutre à poutre.

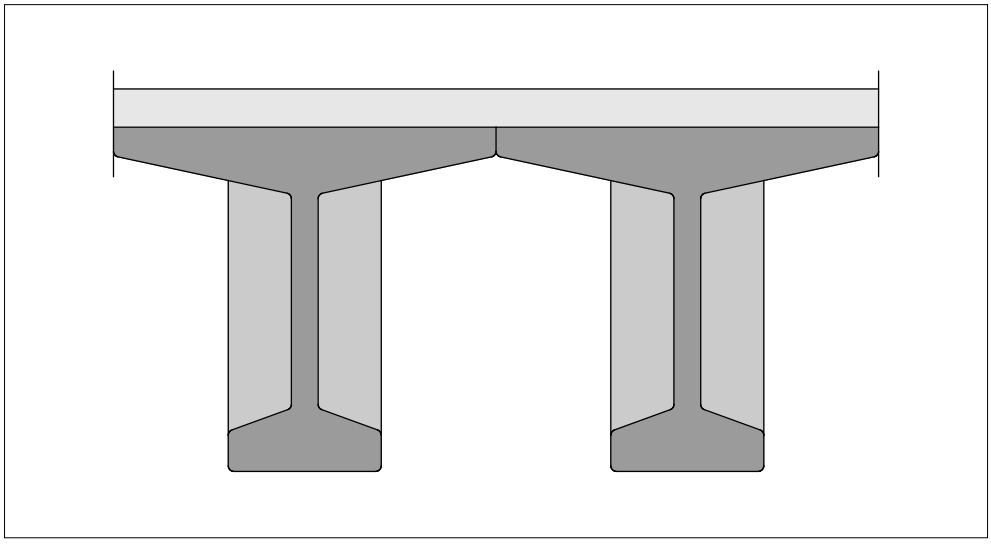


Figure 4 – Poutres-dalles

2.1.4 Poutres en U

Ces poutres se composent d'une semelle inférieure et de deux âmes formant un U (voir figure 5).

Les poutres en U sont dépourvues de blocs d'about.

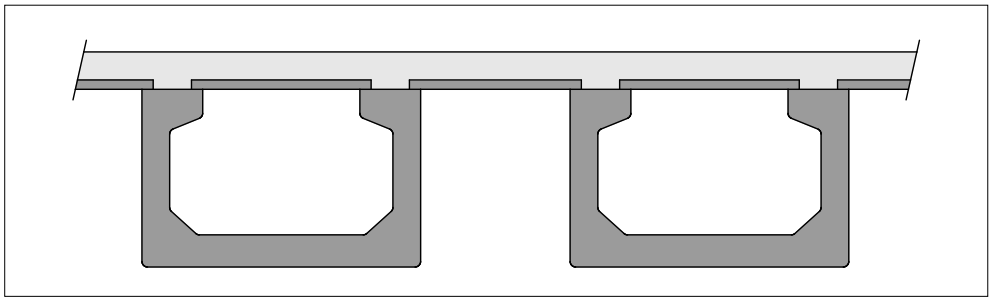


Figure 5 – Poutres en U

Ces poutres peuvent être exécutées avec deux semelles supérieures élargies (consoles). Cette conception permet de réaliser le tablier au moyen de prédalles.

Il arrive parfois que l'on se serve de poutres en U comme gaines techniques. En pareil cas, ces poutres sont le plus souvent posées en rive et recouvertes de dalles amovibles.

2.1.5 Poutres en U inversé

Ces poutres se composent de deux âmes et d'une semelle supérieure (voir figure 6).

Les poutres en U inversé sont dépourvues de blocs d'about.

Leur pose, les unes à côté des autres, présente les mêmes avantages que pour les poutres dalles. Tout comme pour ces dernières, une attention particulière doit être portée aux tolérances de fabrication lors de la conception du projet. Dans le cas d'ouvrages biais, il faut également faire attention aux appuis car ces poutres sont plus susceptibles à la torsion.

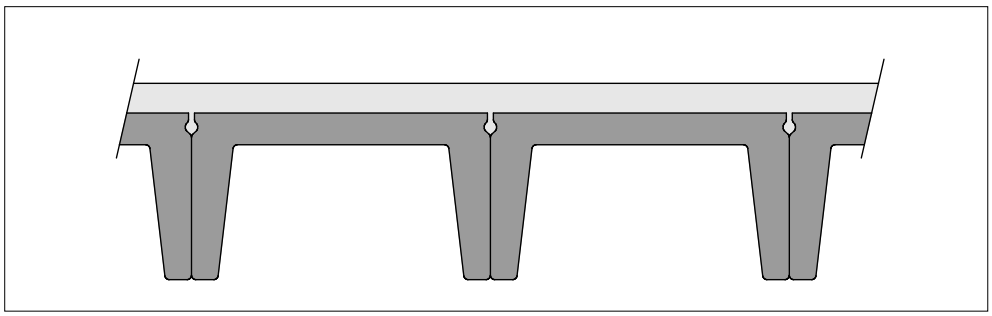


Figure 6 – Poutres en U inversé

2.2 Poutres de rive

S'agissant des poutres de rive, plusieurs options sont admises.

2.2.1 Poutres standard en I et en T inversé

Le recours à l'utilisation en rive de poutres standard en I ou en T inversé constitue l'option la plus économique.

2.2.2 Poutres en I et en T inversé adaptées

Il est possible d'adapter la section de poutres en I et en T inversé pour obtenir une face extérieure plane (voir figure 7).

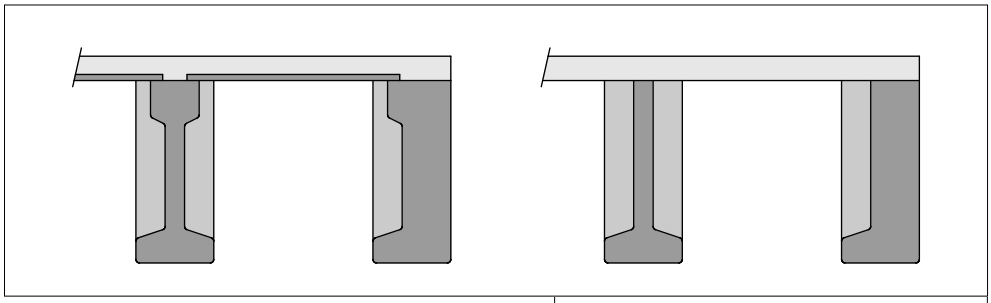


Figure 7 – Poutre de rive : poutre en I et en T inversé adaptée

2.2.3 Poutres rectangulaires

Dans certains cas rares, on a recours à l'utilisation de poutres rectangulaires comme poutres de rive (voir figure 8).

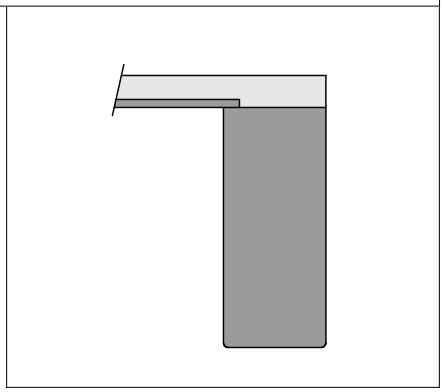


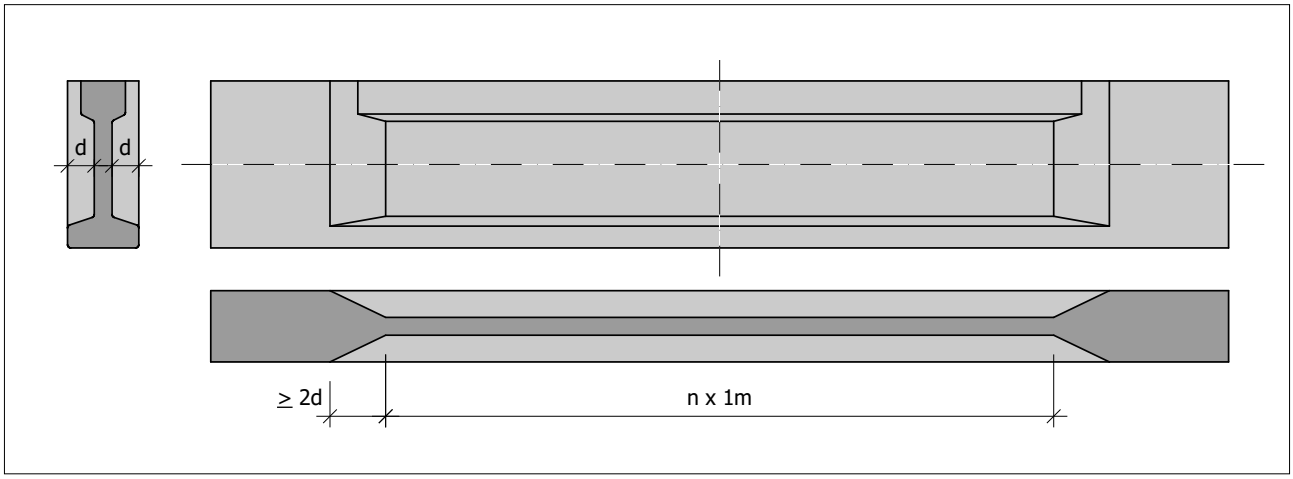
Figure 8 – Poutre rectangulaire

2.3 Dimensions longitudinales

La longueur des poutres de fabrication courante se situe généralement dans une plage comprise entre 10 et 50 m.

La longueur de la section profilée des poutres en I et en T inversé, sans la zone de transition, est un multiple de 1 m. Le profil est constant sur cette longueur. La longueur de la zone de transition entre la section profilée et le bloc d'about est au moins égale à la différence entre la largeur du bloc d'about et la largeur de l'âme (voir figure 9). Quiconque s'écarte de ces caractéristiques se doit de consulter préalablement le fabricant.

Figure 9 – Dimensions longitudinales



2.4 Dimensions transversales

Les dimensions transversales sont déterminées par la portée et la charge utile.

Elles sont influencées par l'enrobage des armatures et la distance ménagée entre celles-ci.

L'enrobage de béton est déterminé en fonction des exigences de durabilité et de l'adhérence du béton autour des armatures. Conformément aux normes NBN EN 13369, NBN B 21-600, NBN EN 15050 et NBN EN 1992-2 + ANB, l'enrobage minimal de béton (c_{min}) est égal à :

- 40 mm sur les armatures passives (aussi valable sur les accessoires en métaux non traités;
- 50 mm sur les armatures de précontrainte.

Les conditions suivantes s'appliquent :

- classe d'environnement EE4 (classes d'exposition XC4, XD3 et XF4);
- durée de vie 100 ans;
- qualité minimale du béton C50/60;
- contrôle de qualité des éléments;
- diamètre maximal des torons 15,2 mm;
- valeur moyenne de l'absorption d'eau (WAI) de trois éprouvettes est ≤ 5,0 % (≤ 5,5 % individuellement).

L'enrobage nominal de béton c_{nom} est au moins de cmin plus la déviation maximale sur l'enrobage en béton Δc_{dev} garantie par le fabricant. Conformément aux NBN EN 1992-2 + ANB, NBN EN 13369 et NBN B 21-600, pour des éléments préfabriqués, Δc_{dev} peut être égale à 0 mm, pour autant que les conditions suivantes soient simultanément remplies :

- le système de conformité de la qualité et l'autocontrôle industriel respectent l'alinéa 6 de la NBN EN 13369, sont évalués par une tierce partie et sont sous sa surveillance permanente;

- le système de conformité de la qualité et l'autocontrôle industriel prévoit des mesures de la couverture de béton et le rejet des éléments non conformes;
- pendant la production des mesures adaptées sont prises, approuvées par la tierce partie, pour s'assurer que la valeur de Δc_{dev} déclarée par le fabricant des éléments, n'est pas dépassée.

L'entraxe nominal entre les torons de précontrainte est au minimum de (conformément aux NBN EN 1992-2 + ANB):

- 40 mm pour un diamètre de 12,5 mm;
- 45 mm pour un diamètre de 15,2 mm.

Ces valeurs s'appliquent aussi bien aux entraxes horizontaux que verticaux.

La figure 10 illustre les valeurs minimales de l'entraxe nominal entre les torons de précontrainte, l'enrobage nominal de béton sur des torons de précontrainte ainsi que l'enrobage nominal de béton sur des armatures d'étrier. La détermination de l'enrobage de béton tient compte d'une Δc_{dev} de 0 mm.

Dans le cas de torons relevés, on doit tenir compte pour la largeur de l'âme des enrobages et les entraxes nominaux.

Pour des poutres destinées à des applications spéciales, comme les poutres de structures temporaires ou des poutres remplacées sur un pont existant, d'autres conditions de base peuvent s'appliquer, par exemple une durée de vie réduite.

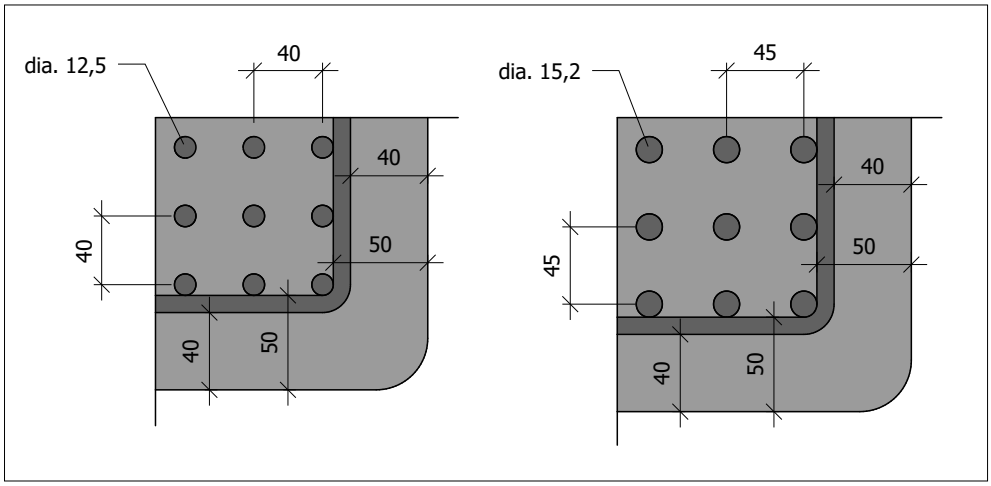


Figure 10 – Valeurs nominaux d'enrobage des armatures et entraxe entre les armatures (dimensions en mm)

Observations relatives à la réalisation de la postcontrainte:

- lors de la détermination des dimensions transversales de la poutre il faut tenir compte des cotes dimensionnelles des éléments de postcontrainte utilisés;
- pour ce qui est de l'enrobage des gaines et de la distance à ménager entre celles-ci, il convient de respecter les recommandations énoncées dans les NBN EN 1992-2 + ANB.

3 Prescriptions relatives au calcul

Les calculs sont effectués conformément aux normes NBN EN 1990 + ANB, NBN EN 1991-2 + ANB, NBN EN 1992-2 + ANB et NBN EN 15050.

La contrainte de traction dans la poutre est limitée à $f_{ctk0,05}$ pendant les phases temporaires. Cette contrainte de traction peut augmenter à $f_{ctm,fl}$ dans les blocs d'about. La résultante de la contrainte de traction est reprise par l'armature passive.

3.1 Valeur théorique de l'effort de précontrainte

Le calcul de la valeur maximale de l'effort de précontrainte appliqué à l'extrémité d'une armature lors de sa mise en tension s'effectue conformément à la NBN EN 1992-2 + ANB §5.10.2.

Le calcul de la valeur théorique de l'effort de précontrainte dans une section quelconque immédiatement après la mise en précontrainte du béton s'effectue conformément à la NBN EN 1992-2 + ANB §5.10.3.

Le calcul des pertes de précontrainte s'effectue conformément à la NBN EN 1992-2 + ANB §5.10.4, §5.10.5 en §5.10.6. Lors du calcul des pertes de précontrainte à long terme, on admet une température ambiante de 20°C et un taux d'humidité relative de 80%, sauf si d'autres exigences ont été énoncées dans un cahier des charges.

La figure 11 rend compte de l'évolution de l'effort de précontrainte dans une section arbitraire.

(1) des pertes initiales dues au recul d'ancrage
(2) de la partie des pertes de retrait et de relaxation se manifestant avant le relâchement des torons
(3) de la perte par le raccourcissement élastique instantané du béton lors de la précontrainte
(4) la somme de la perte par fluage, le reste de la perte par retrait et le reste de la perte par relaxation

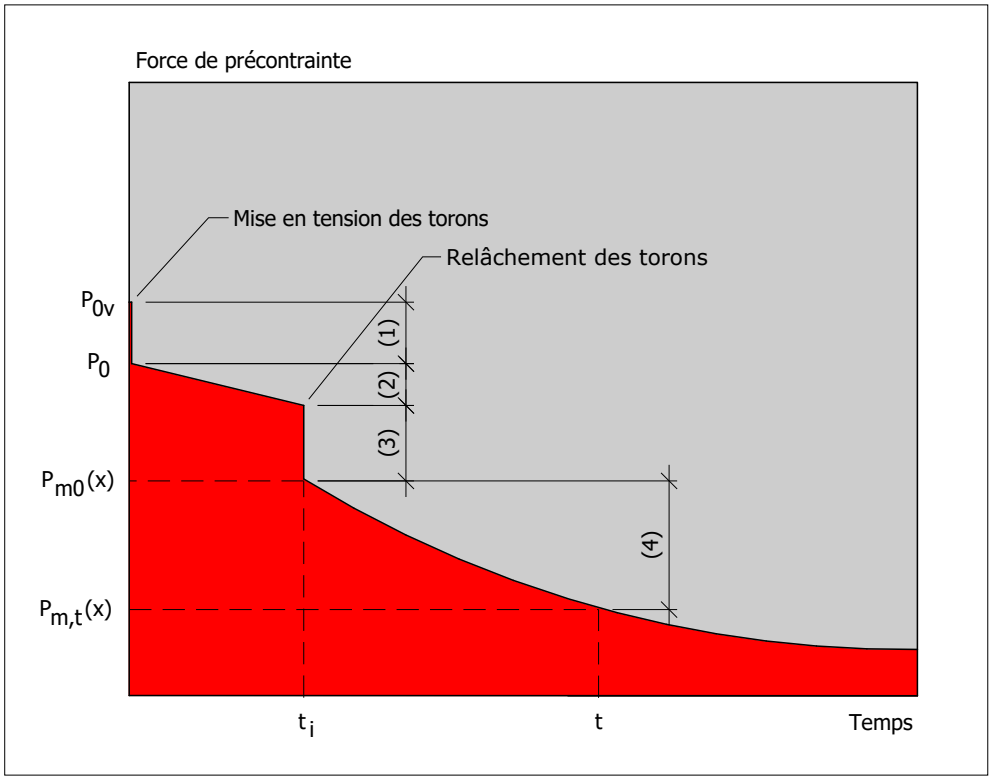


Figure 11 – Évolution de l'effort de précontrainte

En cas d'utilisation de câbles de postcontrainte, il faut tenir compte des pertes complémentaires dues aux déformations du béton provoquées par la mise en tension successive des câbles de postcontrainte, ainsi que des pertes par frottement.

3.2 Caractéristiques des matériaux

3.2.1 Béton

La classe de résistance du béton des poutres préfabriquées doit être égale ou supérieure à la qualité C50/60.

La résistance du béton à la compression (valeur minimale individuelle sur cube) doit atteindre 40,0 MPa au moins lors de la mise en précontrainte.

Pour ce qui concerne la composition du béton, le type de ciment, la teneur en chlorures, l'utilisation de granulats, d'additifs et d'adjuvants, les spécifications énoncées dans les normes NBN EN 206-1 et NBN B 15-001 s'appliquent.

La classe d'environnement requise est EE4 (classes d'exposition XC4, XD3 et XF4).

Pour prévenir toute réaction alcali-silice, il convient de prendre une ou plusieurs mesures de précaution conformes aux normes NBN EN 206-1 et NBN B 15-001.

Le béton doit répondre au moins aux exigences de la "classe d'absorption d'eau par immersion" WAI (0,45), conformément à l'annexe O de la NBN B 15-001. Si les enrobages minimaux de béton de §2.4 sont appliqués, l'absorption d'eau moyenne de trois éprouvettes soit ≤ 5,0 % et l'absorption individuelle soit ≤ 5,5 %.

3.2.2 Acier

Les armatures passives ordinairement utilisées sont de qualité BE 500 S, BE 500 TS, BE 500 ES ou BE 500 RS et satisfont aux prescriptions des normes NBN A 24-301, NBN A 24-302 et PTV 302. Ces aciers se caractérisent par une limite d'élasticité garantie R_e (f_{yk}) de 500 MPa et par un allongement total garanti sous charge maximum A_{gt} (ε_{uk}) de 5,0 %.

Remarque : d'après la nomenclature de l'annexe C de la NBN EN 1992-2 + ANB, ces aciers se rangent dans la classe B.

L'utilisation d'aciers de qualité DE 500 BS répondant aux normes NBN A 24-303 et PTV 303 et de treillis soudés répondant aux normes NBN A 24-304 et PTV 304 est envisageable moyennant l'accord préalable du maître d'ouvrage.

Les armatures de précontrainte satisfont aux normes NBN I 10-001 et -003 et PTV 311. Le tableau 1 répertorie les caractéristiques des armatures de précontrainte les plus utilisées.

Tableau 1 – Caractéristiques des aciers de précontrainte

Caractéristiques	Torons (7 brins)	
Diamètre nominal	12,5 mm	15,2 mm
Section nominale	93 mm²	139 mm²
Charge de rupture caractéristique spécifiée F_{pk}	173 kN	260 kN
Résistance caractéristique spécifiée à la traction f_{pk}	1860 N/mm²	1860 N/mm²
Classe de relaxation *	2	2
Résistance en contraintes multiaxiales (essai de traction déviée)	D20	D20

* conforme au §3.3.2 de la NBN EN 1992-2 + ANB (classe 2 = relaxation basse)

La valeur du module d'élasticité peut être prise égale à E=200000 N/mm² ± 10000 N/mm², sauf contre-indication du fournisseur.

4 Données technologiques

4.1 Poids maximal des éléments

Le poids sera limité autant que possible à 100 t pour les productions normales. Dans certains cas, il est possible d'augmenter le poids maximal d'éléments spéciaux après consultation de leur fabricant.

4.2 Effort maximal de précontrainte sur les bancs

Lors de la mise en tension des torons, l'effort maximal de précontrainte exercé sur les bancs est limité autant que possible à 8000 kN pour autant que la résultante de précontrainte reste dans le talon inférieur. Si l'effort de précontrainte envisagé est supérieur à cette valeur, il convient de consulter le fabricant.

4.3 Relevage des torons

Pour les poutres de grande longueur (> 12 m), les torons peuvent être relevés en extrémités.

L'effort maximal de relevage sera limité autant que possible à 100 kN. Exceptionnellement, on peut envisager d'augmenter cet effort jusqu'à 140 kN, après consultation du fabricant.

La pente maximale de relevage s'élève à 5 %. En cas de pentes supérieures à cette valeur, il faut consulter le fabricant.

La distance habituelle à respecter entre les points de relevage s'élève à :

- 2 m pour les poutres de 16 à 18 m;
- 4 m pour les poutres de 18 à 24 m;
- 6 m pour les poutres de 24 à 30 m;
- 8 m pour les poutres de 30 à 36 m;
- 8 m plus un multiple entier de 2 m pour les poutres dont la longueur est égale ou supérieure à 36 m.

Ces écartements doivent être respectés par le fabricant en admettant une tolérance de 0,50 m, à condition de s'assurer de l'absence de dépassement des contraintes maximales autorisées en phase temporaire.

La résistance garantie des torons relevés par rapport aux états de contrainte multiaxiaux, tels que déterminés par l'essai de traction déviée conformément à la norme NBN EN ISO 15630-3, doit être égale à D20 ($F_{\text{essai de traction déviée}} > 0{,}8 * F_{\text{essai de traction}}$).

Les ancrages et dispositifs de déviation ne peuvent causer aucune entaille dans les torons ni aucune interruption transversale importante de la section du béton.

Ces pièces de déviation doivent être ainsi conçues afin que leur effet sur les torons réponde aux exigences suivantes :

- la charge de rupture du toron relevé doit être supérieure ou égale à 95% de sa charge de rupture réelle
- l'allongement total du toron relevé et soumis à une charge maximale doit être supérieur ou égal à 2,0%.

Une série de trois essais de traction réalisés avec les torons et les dispositifs de relevage effectivement employés dans la poutre en appliquant la pente maximale de relevage permet de s'assurer du respect de ces exigences. Lors de l'exécution de ces essais de traction, il faut veiller à ce que les axes longitudinaux des deux extrémités du toron soient parallèles aux axes longitudinaux des ancrages (voir figure 12).
Une position géométrique insatisfaisante risque de livrer des résultats d'essai erronés.

S'agissant des autres dispositions, le §11 de la norme NBN EN ISO 15630-3 s'applique.

Lors de cet essai, le diagramme contrainte-déformation est enregistré jusqu'à la rupture.

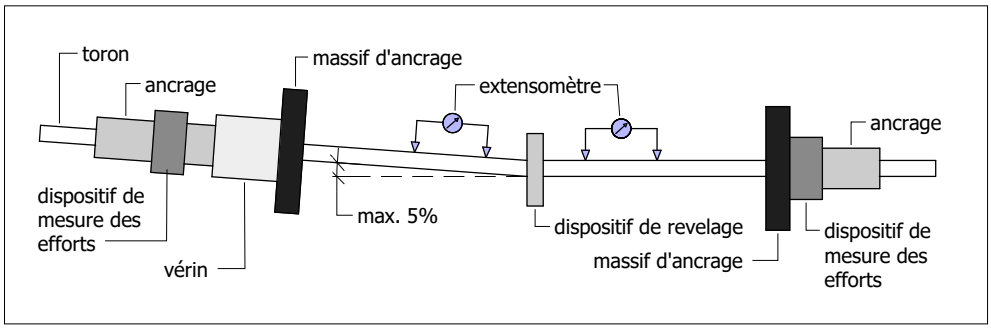


Figure 12 – Dispositif d'exécution de l'essai de traction déviée des torons

Chacun des trois essais doit être concluant.

Toute modification des caractéristiques dimensionnelles (telles que le rayon de courbure ou la pente de relevage) ou de la qualité de l'acier constitutif des pièces de relevage nécessite l'exécution d'un nouveau contrôle

L'exécution de nouveaux essais est également indispensable en cas de changement de fournisseur de torons. Il en va de même en cas de modification du mode de fabrication ou de l'une des caractéristiques de qualité des torons provenant d'un même fournisseur.

Après libération des pièces de relevage, il y a lieu de combler l'évidement pratiqué dans la face inférieure des poutres au moyen d'un mortier de réparation hydraulique ou modifié par l'ajout de polymères, à faible retrait certifié BENOR ou équivalent, de classe R4 et conforme à la norme NBN EN 1504-3 et PTV 563. L'équivalence doit être établie conformément aux dispositions du cahier des charges.

L'épaisseur minimale de l'enrobage de béton sur tous les accessoires métalliques s'élève à 15 mm. Le cas échéant, on protégera ces pièces contre la corrosion. Pour ce faire, on procédera à l'application d'un produit de protection contre la corrosion conforme à la norme NBN EN 1504-7, même si les pièces concernées sont appelées à être revêtues d'un mortier de réparation.

4.4 Suppression locale de l'adhérence des torons

L'adhérence des torons droits est susceptible d'être localement interrompue par un procédé préalablement approuvé par le maître d'ouvrage.

4.5 Disposition des torons

Pour les valeurs de l'enrobage de béton et l'espacement des torons, il convient de se référer au §2.4.

Il n'y a pas d'exigences de durabilité valables sur les évidements provisoires.

Observations relatives à la réalisation de la postcontrainte :

- la pose et la fixation des gaines dans le coffrage doivent s'opérer en veillant à ce que les déviations parasitaires soient réduites au minimum;
- il est plus économique de limiter, dans la mesure du possible, le nombre des câbles de postcontrainte afin d'éviter les interventions ultérieures de mise en tension et d'injection, tant en usine que sur chantier.

4.6 Armatures passives

4.6.1 Dispositions de principe des armatures transversales

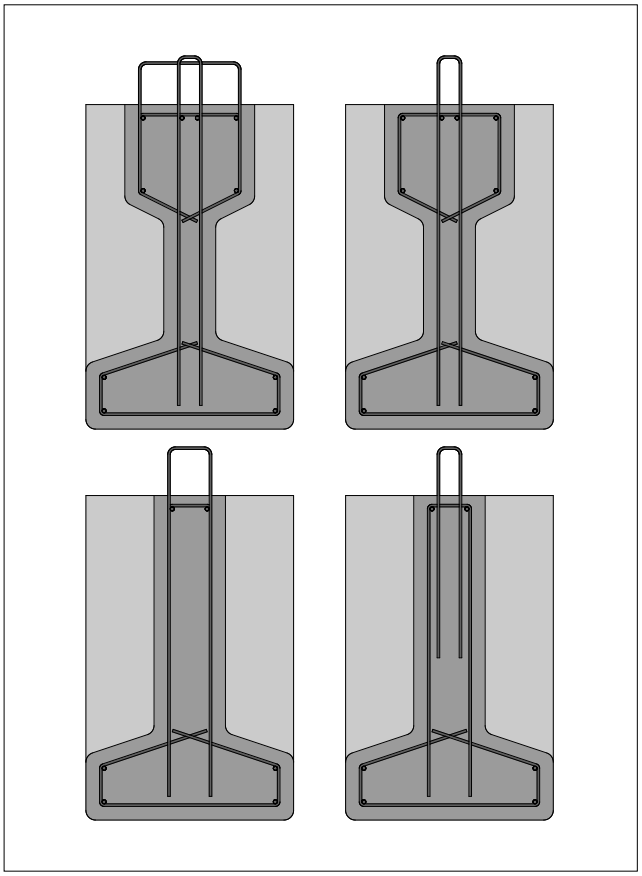


Figure 13 – Dispositions de principe des armatures transversales

La figure 13 illustre les dispositions de principe des armatures transversales correspondant aux sections les plus courantes. Les formes de pliages en une seule pièce sont autorisées.

Toutes ces armatures doivent être suffisamment ancrées.

4.6.2 Armatures longitudinales supérieures

Lors du calcul des armatures longitudinales supérieures, il faut de tenir compte des opérations de précontrainte et de manutention des poutres.

Si l'épaisseur de la semelle supérieure ('m' sur la figure 21, §5.1.1) est supérieure ou égale à deux fois la largeur de l'âme ('e' sur la figure 21, §5.1.1), la section minimale des armatures longitudinales supérieures doit être égale à la plus grande des valeurs suivantes :

- 0,2% de la section transversale de la poutre;
- 0,5% de la section tendue de la poutre.

La section minimale ne peut en aucun cas être inférieure à 200 mm².

4.6.3 Armatures longitudinales de l'âme

Outre les règles de NBN EN 1992-2 + ANB, la section minimale des armatures longitudinales de l'âme consiste en une série de barres technologiques de 8 mm de diamètre tous les 350 mm (ou équivalent) sur les deux côtés, et complétant l'armature mentionnée au §4.6.2.

4.6.4 Armatures d'effort tranchant

Outre les règles de NBN EN 1992-2 + ANB, la section minimale des armatures d'effort tranchant consiste en une série d'étriers technologiques de 8 mm de diamètre tous les 400 mm (ou équivalent).

4.6.5 Armature spéciale dans le bloc d'about

Pour la reprise des contraintes de traction et de fendage, causées par le transfert de la force de précontrainte au béton, des étriers horizontaux et verticaux doivent être prévus dans les blocs d'about. Les étriers horizontaux servent aussi pour le frettage de la réaction d'appui. Toutes ces armatures doivent être suffisamment ancrées.

4.7 Liaisons entre les poutres et les entretoises

4.7.1 Parties de liaison

Les différentes parties d'une liaison sont les suivantes (voir figures 14 et 16) :

- éléments de liaison;
- barres extérieures (2) aux poutres, à monter dans les éléments de liaison et vouées à reprendre les efforts des armatures des entretoises (1);
- barres intérieures (3), (4), (5) et (6) aux poutres vouées à assurer la jonction entre les éléments de liaison montés sur deux faces opposées des poutres, ou devant l'ancrage de ces éléments de liaison si ces derniers ne sont montés que sur une seule face latérale.

4.7.2 Liaisons aux blocs d'about

La figure 14 présente une description schématique des dispositions retenues. Les poutres principales sont, dans la région des entretoises, pourvues d'une surface rugueuse ou profilée (voir figure 15).

Les surfaces rugueuses ou profilées satisfont à la classification indiquée au §6.2.5 de la norme NBN EN 1992-2 + ANB. La distance horizontale entre les éléments de liaisons et l'extrémité de la poutre est d'au moins 15 cm, pour tenir compte de la disposition d'armature.

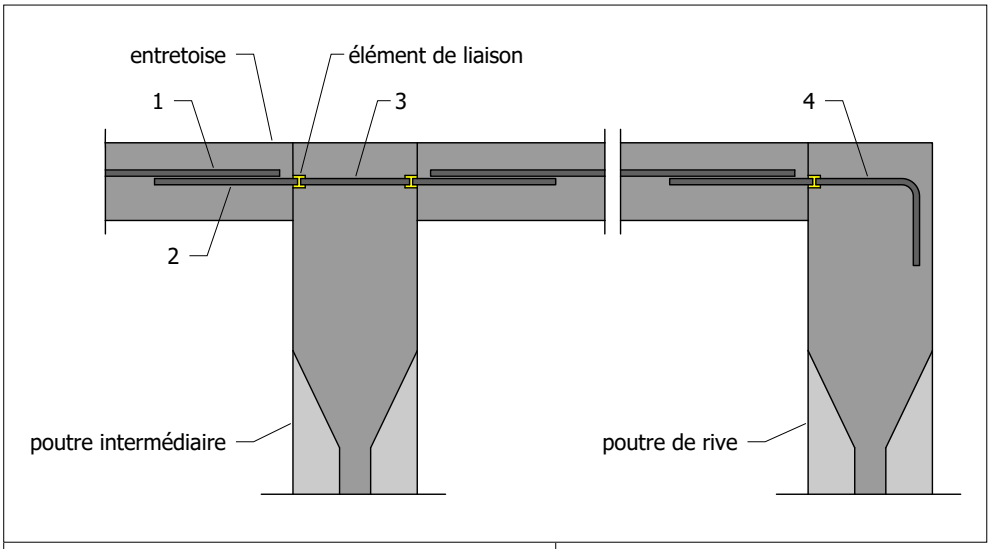


Figure 14 – Liaisons aux blocs d'about – Vue en plan

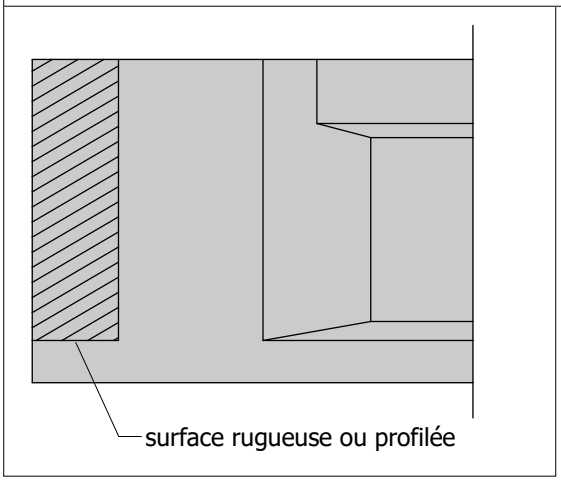
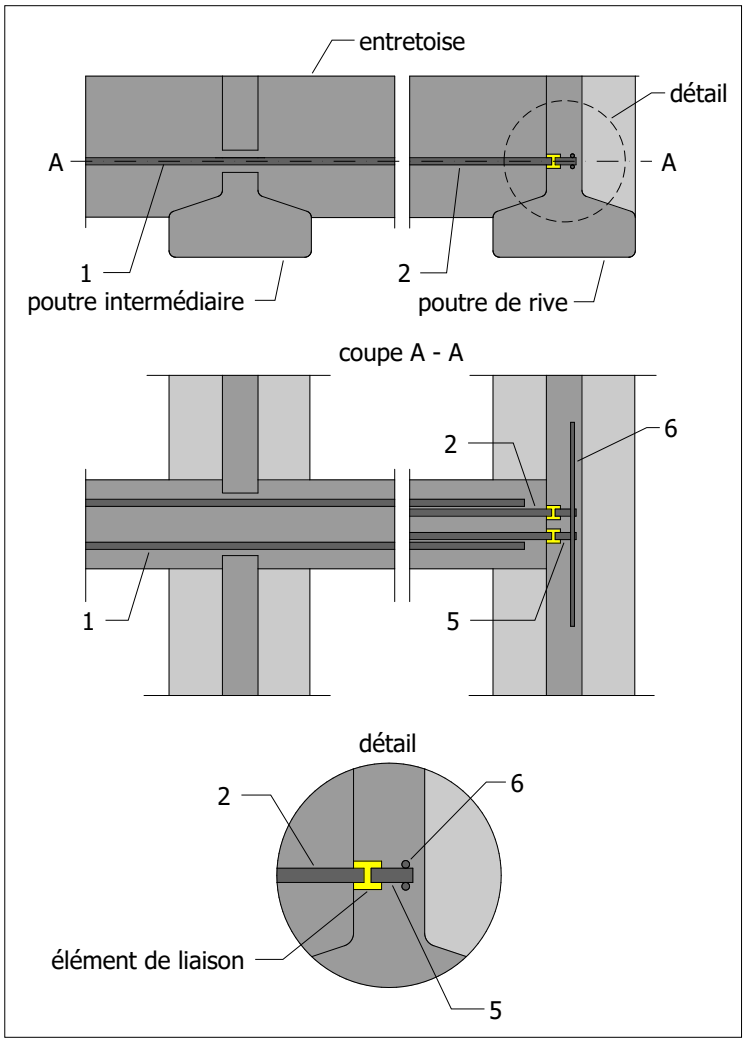


Figure 15 – Surface rugueuse ou profilée

4.7.3 Liaisons en travée



La figure 16 présente une description schématique des dispositions retenues.
Les poutres principales sont, dans la région des entretoises, pourvues d'une surface rugueuse ou profilée.

Figure 16 – Liaisons en travée

Les poutres intermédiaires présentent des ouvertures situées au-dessus du congé entre la semelle inférieure et l'âme.

Les poutres de rive sont pourvues d'éléments de liaison. Ces éléments sont ancrés au moyen de barres courtes (5) et soudées sur deux barres transversales (6) (voir détail de la figure 16) ou qui sont pourvus d'un ancrage d'extrémité mécanique. Les soudures qui connectent les barres courtes aux barres transversales sont des soudures de construction et doivent être calculées conformément à la NBN EN 1993-1-8 + ANB.

C'est au concepteur qu'il appartient de déterminer le renforcement éventuel des armatures de l'âme au voisinage des ouvertures et dispositifs d'ancrage.

4.7.4 Caractéristiques dimensionnelles et résistance

Les caractéristiques dimensionnelles et la résistance des éléments de liaison sont indiquées dans les fiches techniques des fournisseurs. Pour les prescriptions techniques, voir §7.3.

Les modalités concernant l'utilisation de l'ancrage d'extrémité mécanique sont convenues entre toutes les parties concernées.

Les barres extérieures et intérieures satisfont aux exigences des armatures passives, conformément au §3.2.2.

4.7.5 Observations générales

Dans certains cas particuliers ou exceptionnels, des solutions autres que celles décrites ci-avant sont susceptibles d'être adoptées sous réserve d'un accord entre toutes les parties concernées.

Aucun assemblage par soudage entre barre et élément de liaison n'est autorisé en remplacement des dispositifs schématisés aux figures 14 et 16.

4.8 Blocs d'about

4.8.1 Blocs d'about avec découpe inférieure

L'utilisation de blocs d'about présentant une découpe inférieure complique le contrôle et la maintenance des appareils d'appui.

Ces découpes possèdent les dimensions suivantes (voir figure 20) :

- la hauteur 'w' est de préférence un multiple de 100 mm;
- la longueur 'q' est un multiple de 100 mm ; elle s'élève à 500 mm au minimum.

4.8.2 Blocs d'about en biais

Les exigences géométriques sont indiquées sur les figures 19 et 20.

Des blocs d'about en biais sont utilisé lorsque le plus petit angle entre l'axe transversal du pont et l'axe longitudinal de la voie ou le cours d'eau à franchir (angle β) est supérieur à 20°.

L'angle oblique de la face frontale avec le plan horizontal (angle α) n'est pas supérieur à 45°. Si α est supérieur à 30 °, l'angle aigu étant tronconiques, où f est $\geq$ 100 mm.

4.9 Pose des appareils d'appui

Les appareils d'appui pour les poutres de pont sont habituellement en élastomères frettés avec de fines plaques d'acier, éventuellement pourvues d'une couche de glissement en polytétrafluoréthylène (PTFE) qui glisse sur un élément de glissement. Ces appareils d'appui satisfont à la norme NBN EN 1337-3. Les éléments de glissement respectent la NBN EN 1337-2 et doivent éventuellement être ancrés aux poutres de pont.

D'autres possibilités d'appareils d'appui sont les appareils d'appui à pot (NBN EN 1337-5) et les appareils d'appui sphériques ou cylindriques (NBN EN 1337-7).

Lors de la conception du pont, il est sage de faire en sorte que les appareils d'appui peuvent être remplacés. L'exécution et la pose des appareils d'appui doivent également permettre leur remplacement.

Les appareils d'appui doivent toujours être placés horizontalement. Ceci peut se faire directement sur la butée ou la construction du pilier, éventuellement sur des embases bétonnées prévues à cet effet. Les appareils d'appui peuvent également être posés sur un mortier de bourrage ou des plaques d'acier.

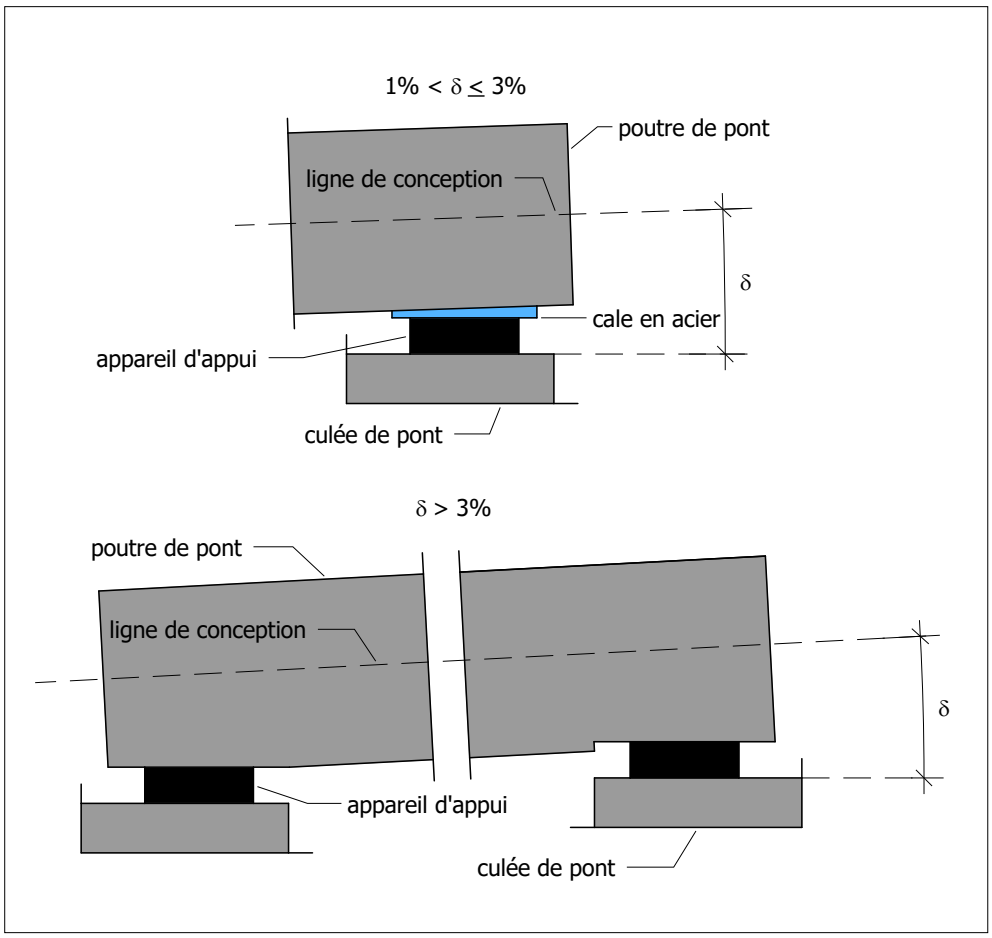
Lorsque les poutres sont placées avec une pente $\delta > 1\%$ il est nécessaire de prendre les mesures complémentaires suivantes (voir figure 17) :

- $1\% < \delta \leq 3\%$: ancrer des cales en acier dans les poutres ou utiliser des appareils d'appui avec des cales d'acier intégrées;
- $\delta > 3\%$: prévoir un évidement dans la face inférieure des poutres.

L'angle de pente δ est l'angle entre la ligne de conception des poutres et l'horizontale. Il ne tient pas compte de la contre-flèche éventuelle des poutres.

Si les poutres sont pourvues d'un évidement dans la face inférieure, il est indispensable de prendre les dispositions nécessaires pour garantir la durabilité. Une solution possible est représentée sur la figure 18.

D'éventuels dispositifs destinés à la fixation des appareils d'appui (ou des parties de ceux-ci) aux poutres sont de préférence intégrés en usine.



Figue 17 – Exécution des appuis sous pente

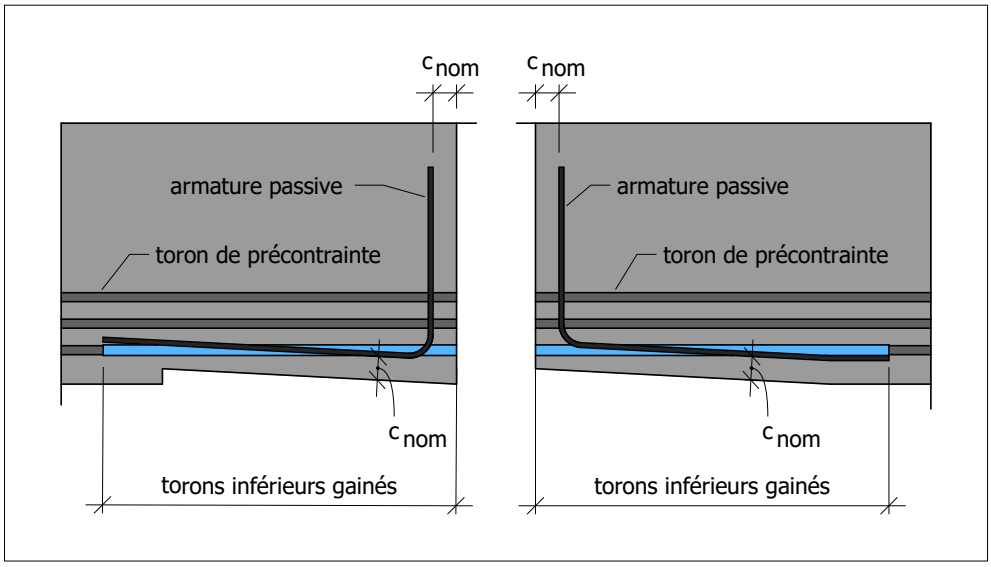


Figure 18 – Principe torons gainés dans la zone des évidements dans la face inférieure

Les appareils d'appui sont placés conformément aux indications des figures 19 et 20, avec o, p ≥ 100 mm et t, u ≥ 50 mm. Pour éviter la torsion des poutres, l'axe longitudinal des appareils d'appui doit toujours être posé d'équerre par rapport à l'axe longitudinal des poutres.

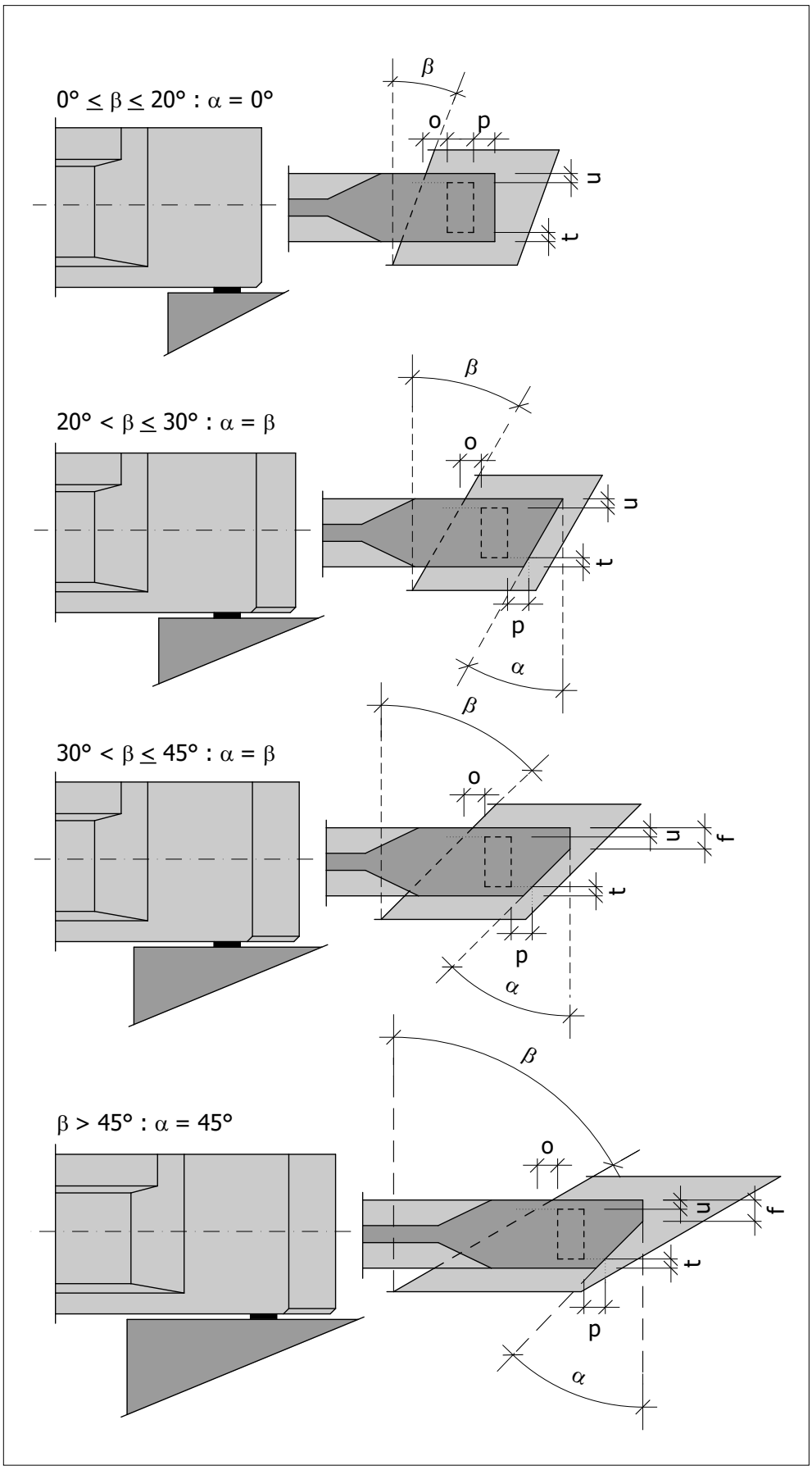


Figure 19 – Dimensionnement de l'appui des blocs d'about sans découpe (sans cantilever)

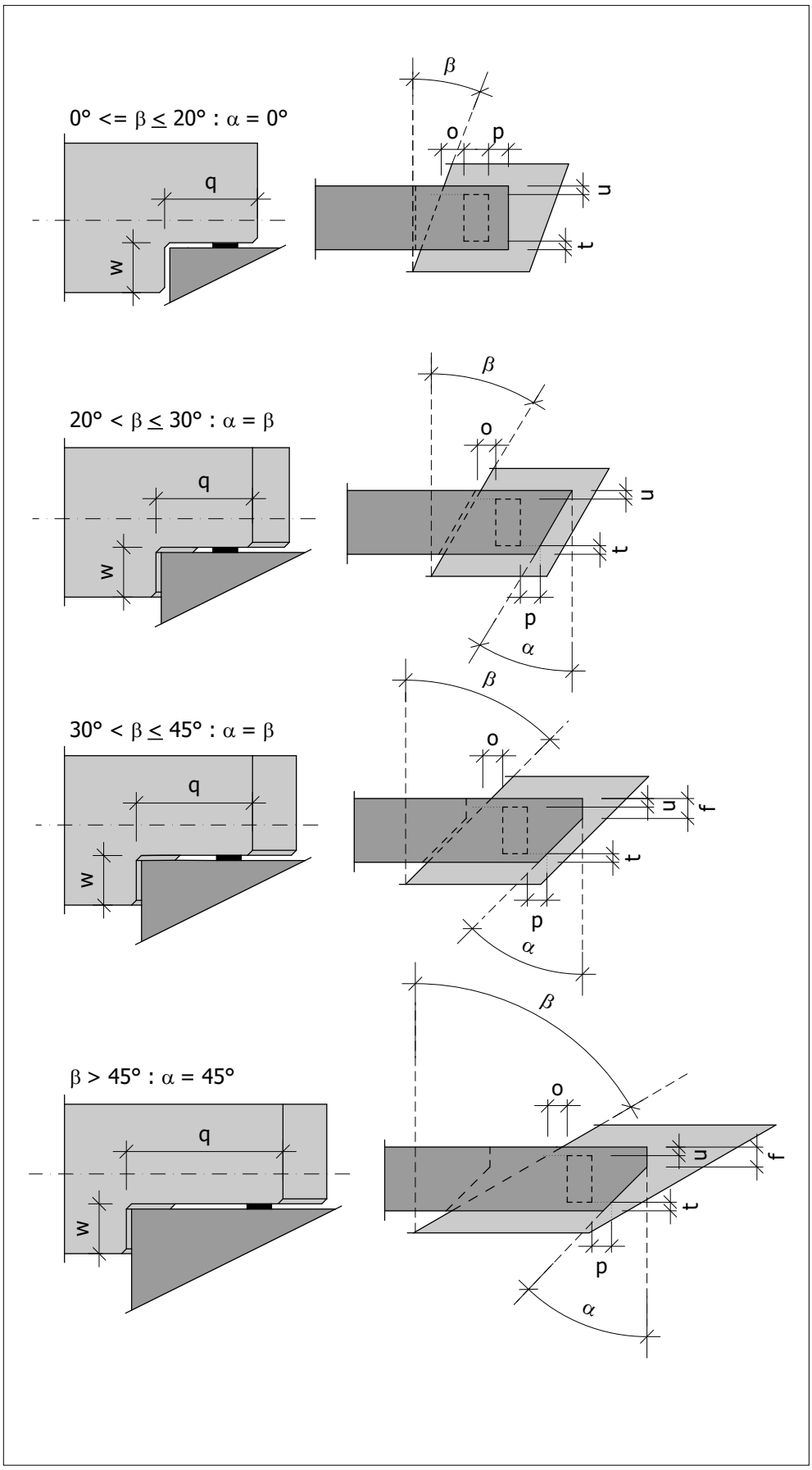


Figure 20 – Dimensionnement de la découpe et de l'appui des blocs d'about avec découpe (avec cantilever)

5 Tolérances de fabrication

5.1 Tolérances dimensionnelles

Les mesures sont effectuées conformément aux normes NBN EN 13369, NBN B 21-600 et NBN EN 15050.

Les dimensions doivent être mesurées avec une précision de 1/5e de la tolérance admissible, arrondie à 1 mm.

5.1.1 Dimensions transversales

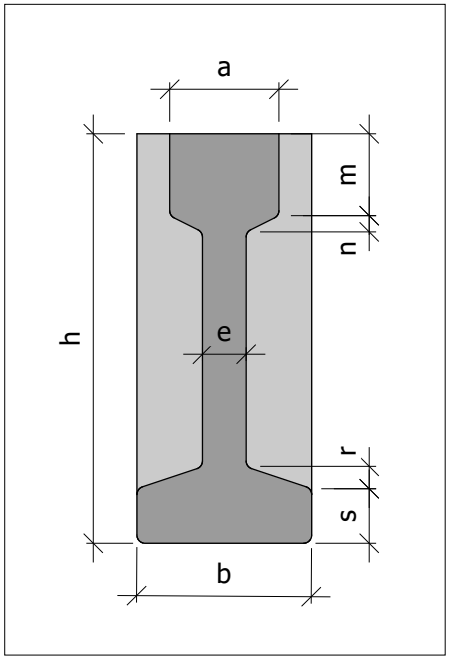


Figure 21 – Dimensions transversales

Par dimensions transversales, on entend les variables suivantes : largeur de la poutre (b), hauteur de la poutre (h), épaisseur des semelles (s et m), largeur de la semelle supérieure (a) et largeur de l'âme (e) (voir figure 21).

Le tableau 2 répertorie les tolérances admises pour les dimensions transversales.

Tableau 2 – Tolérances admises pour les dimensions transversales

Valeur nominale de la section transversale dans la direction à contrôler	Δ (mm)
≤ 150 mm	+ 10/- 5
= 400 mm	+ 15/- 10
≥ 2500 mm	+ 30/- 30

Interpolation linéaire pour les valeurs intermédiaires.

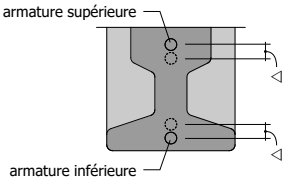
En ce qui concerne la position verticale de l'armature mesurée dans la direction défavorable pour la hauteur effective, les tolérances admises et répertoriées au tableau 3 s'appliquent. On peut assimiler l'écart moyen à celui que présentent les barres ou torons individuels dans la section transversale de la poutre considérée. En raison de ces tolérances admises, on n'observe jamais aucun dépassement des valeurs couvertes par les facteurs de sécurité pertinents tels que définis dans les Eurocodes.

Tableau 3 – Tolérances admises sur la position des armatures

Valeur nominale position des armatures	Δ (mm)*
≤ 150 mm	+ 5
= 400 mm	+ 15
≥ 2500 mm	+ 25

Interpolation linéaire pour les valeurs intermédiaires.

** Schéma explicatif :*



5.1.2 Longueur

Formule de calcul de l'écart maximal sur la longueur :

$\Delta L = \pm (10 + L / 1\,000) \leq \pm 40$ mm si L (longueur nominale) ≤ 40000 mm;

$\Delta L = \pm L / 1\,000)$ si L (longueur nominale) > 40000 mm.

5.1.3 Inclinaison des faces terminales

En élévation, la déviation 'v_1' par rapport à la face d'about théorique (voir figure 22) est au maximum de :

± 0,015 h, avec un minimum de 5 mm;

avec h = hauteur théorique de la poutre (voir figure 22).

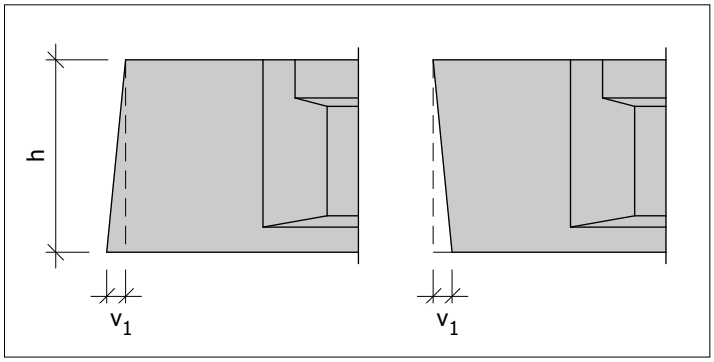


Figure 22 – Écart d'inclinaison des faces terminales en élévation

Sur le plan horizontal, la déviation 'v_2' (voir figure 23) est au maximum de :

± 0,02 b of ± 0,02 a (selon le cas) avec un minimum de 5 mm;

avec a, b = largeur théorique de la poutre (voir figure 21).

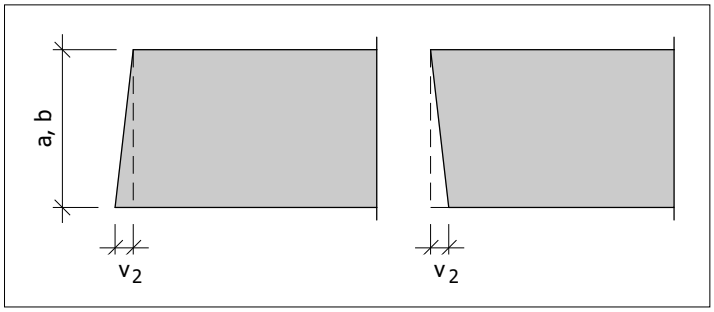


Figure 23 – Écart d'inclinaison des faces terminales dans le plan horizontal

5.1.4 Découpe des blocs d'about

La tolérance dimensionnelle 'z' du niveau moyen des découpes par rapport à la surface d'appui de la poutre est au maximum de 10 mm (voir figure 24).

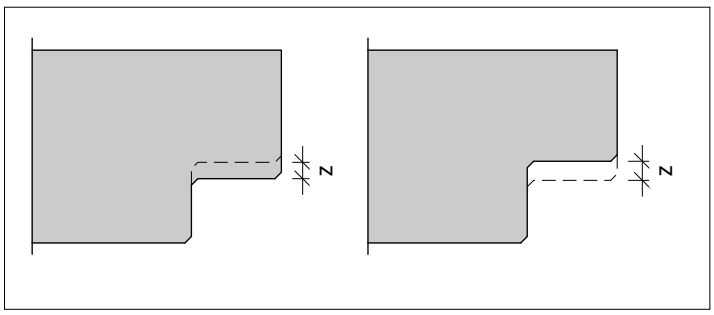


Figure 24 – Tolérance du niveau des découpes

5.1.5 Déversement

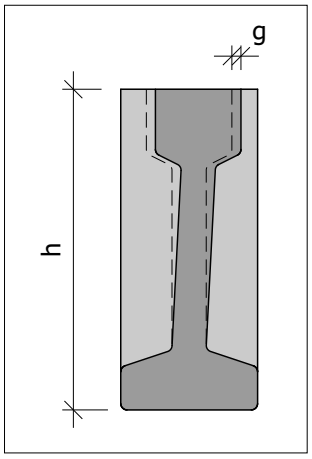


Figure 25 – Déversement

La déviation 'g' par rapport au plan de symétrie vertical, aussi appelée déversement (voir figure 25) est au maximum de :

± 0,015 h, avec un minimum de 5 mm;

avec h = hauteur théorique de la poutre (voir figure 25).

5.1.6 Position des pièces intégrées et des ouvertures

Les tolérances admises sur la position des ouvertures et pièces intégrées (ainsi que des petits détails sans influence sur le comportement structurel) doivent être communiquées par le fabricant.

Sous réserve d'autres spécifications, la tolérance admise pour un seul trou ou une seule pièce intégrée s'élève à ± 30 mm. En ce qui concerne la position relative des trous et pièces intégrées au sein d'un groupe donné, la tolérance admise s'élève à ± 5 mm. Tous les trous et pièces distantes les uns des autres de plus de 30 cm ne font pas partie d'un même groupe.

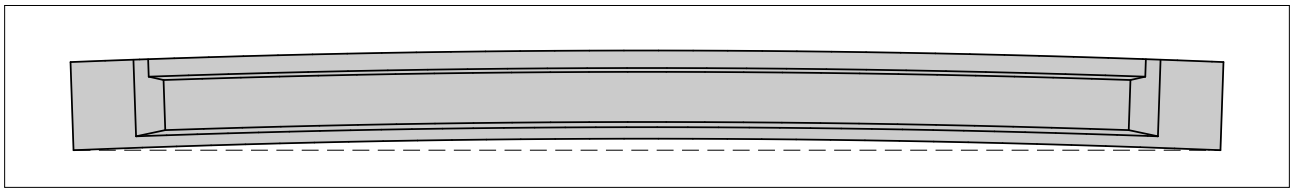
5.2 Tolérances de forme

Les mesures sont effectuées conformément à la NBN EN 15050.

5.2.1 Déformations verticales

En raison de la précontrainte subie, les poutres en béton précontraint présentent une certaine contre-flèche (voir figure 26). Il faut en tenir compte lors de la conception, de la pose et du montage (p. ex. appropriation du profilé en long des chaussées des ouvrages à travées multiples)

Figure 26 – Contre-flèche



À âge égal, la contre-flèche de poutres identiques est susceptible de différer d'une poutre à l'autre. Si ces écarts mutuels sont de nature à compromettre la bonne exécution de l'ouvrage ou sa tenue ultérieure, il convient de s'informer auprès du fabricant de l'importance des écarts probables.

La contre-flèche initiale (immédiatement après l'application de la précontrainte) peut être mesurée endéans les deux heures de la libération des torons et avant la manutention de la poutre. La poutre peut éventuellement être posée sur des blocs avant que la contre-flèche soit mesurée. Les blocs doivent dans ce cas être posés sous les extrémités de la poutre.

La déviation autorisée de la valeur mesurée de la contre-flèche initiale par rapport à la valeur calculée est L/800, avec L = la longueur de la poutre.

La contre-flèche augmente avec le temps et ceci d'autant plus que l'on attend longtemps avant le bétonnage des poutres transversales et de la dalle du tablier.

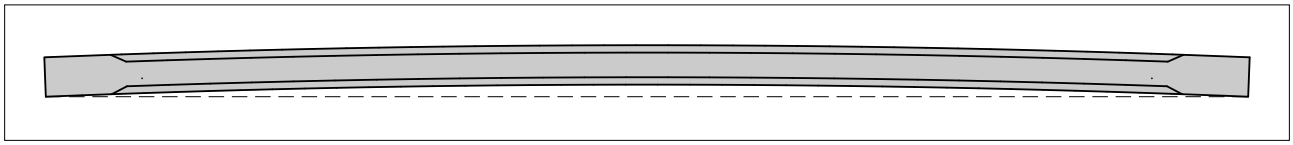
5.2.2 Déformations transversales

En raison de la précontrainte, les poutres en béton précontraint sont susceptibles de présenter une certaine cambrure dans le plan horizontal (voir figure 27).

La tolérance admise s'élève à L/500, avec un minimum de 5 mm et avec L étant la longueur de la poutre.

Lors de la pose des poutres, il peut s'avérer nécessaire d'en corriger la déformation transversale pour en améliorer l'aspect, le coffrage ou la charge.

Figure 27 – Déformation transversale



5.3 Caractéristiques de surface

Les éclats, épaufrures et autres coups provenant entre autres du décoffrage, de la mise en précontrainte, des manutentions et du transport sont ragréés à l'aide d'un mortier de réparation.

Les bulles sur les surfaces verticales de plus de 8mm de profondeur sont bouchées à l'aide d'un mortier de réparation.

La présence de nid de gravier, bulles ou cavités de plus de 15mm est de nature à mettre en doute la compacité du béton. La réparation ne peut dès lors être entamée avant d'avoir procédé à un examen complémentaire avec l'organisme de contrôle ou le maître d'ouvrage.

Dans le cas de surfaces coffrées horizontales supérieures, la présence de bulles (généralement peu profonde mais de grande surface) est inévitable. Ces bulles ne doivent pas être rebouchées par le préfabriquant mais la conception des revêtements (complexe d'étanchéité ...) doit tenir compte de la présence de ces bulles.

Sous les effets combinés de la précontrainte et du retrait du béton, des fissures peuvent apparaitre. Le préfabriquant prend les mesures (application d'un produit de cure, bâchage des surfaces libres lorsque cela est possible) pour limiter autant que possible le risque d'apparition de ces fissures. Des fissures de plus de 0,2 mm d'ouverture peuvent dans certains cas impacter la durabilité de l'élément. Le traitement éventuel de ces fissures (colmatage, injection) doit être apprécié et mis au point conjointement avec l'organisme de contrôle ou le maître d'ouvrage.

Sauf convention écrite particulière, aucune considération esthétique, par exemple liée à la teinte ou à la texture des béton, ne peut entrer en ligne de compte dans l'acceptation finale de l'élément.

6 Prescriptions administratives

6.1 Terminologie

Dans le présent document, on entend par :

- maître d'ouvrage : la personne pour le compte de laquelle l'ouvrage comportant l'utilisation d'éléments préfabriqués est réalisé;
- organisme de contrôle : organisme responsable du contrôle externe (pour vérifier si le produit satisfait aux exigences du maître d'ouvrage et pour vérifier la fiabilité de l'autocontrôle du fabricant);
- fabricant : entreprise dans les ateliers de laquelle sont réalisés les éléments en béton précontraint;
- entrepreneur/preneur d'ordre : personne désignée par le maître d'ouvrage pour l'exécution de l'ouvrage auquel les poutres sont destinées;
- producteur ou fournisseur : entreprise assurant la livraison au fabricant des matières premières, produits finis ou semi-finis en vue de la confection des éléments en béton précontraint;
- plans d'adjudication : plans annexés par le maître d'ouvrage aux documents d'adjudication et dressés par lui ou sous sa responsabilité;
- plans d'étude : plans dressés par des bureaux d'étude ou concepteurs indépendants et présentés au maître d'ouvrage lors de la soumission ou après l'adjudication;
- plans d'exécution : plans de coffrage, de ferraillage et de pose dressés par le fabricant sur base des plans d'étude et documents d'adjudication approuvés 'bons pour exécution' qui apportent les modifications rendues nécessaires par les sujétions de l'exécution. Dans tous les cas, ces documents d'adjudication et plans d'étude doivent décrire une solution réaliste technologiquement, tenant compte des matériaux disponibles couramment sur le marché. Dans le cas contraire, l'attention du fabricant devra être attirée. Toute solution alternative éventuelle, pour pallier le non-respect de ces dispositions, sera à la charge exclusive de maître d'ouvrage;
- systèmes de précontrainte : précontrainte avec des torons ancrés par adhérence, postcontrainte par câbles dans l'usine, postcontrainte par câbles sur chantier.

6.2 Plans d'étude

Toute information nécessaire à la fabrication doit figurer sur les plans d'étude, entre autres :

- classe d'environnement/classes d'exposition;
- l'effort théorique :
  a) dans les armatures de précontrainte ancrés par adhérence, immédiatement avant la mise en précontrainte des poutres;
  b) dans les armatures de postcontrainte tendues en usine, immédiatement après leur mise en tension et leur clavetage;
  c) dans les armatures de postcontrainte tendues sur chantier, immédiatement après leur mise en tension et leur clavetage.
  Dans les cas b) et c), le concepteur doit présenter un programme de mise en tension des câbles, mentionnant les efforts, allongements et pertes par frottement pour les différents câbles.
- la résistance désirée à la compression individuelle du béton :
  a) au moment de la mise en précontrainte par les armatures ancrés par adhérence;
  b) au moment de la mise en tension des câbles de postcontrainte en usine;
  c) au moment de la mise en tension des câbles de postcontrainte sur chantier;
  d) lors des phases transitoires de manutention, stockage et transport;
  e) lors de la mise en service.
- la position des points de levage et des points d'appui pour le stockage.

6.3 Plans d'exécution

Avant d'entreprendre l'exécution des travaux, il faut que les plans d'étude, les plans d'exécution du fabricant et les notes de calcul éventuelles, datés et signés par le concepteur et l'entrepreneur, aient reçu l'approbation du maître d'ouvrage.

Les plans d'exécution définissent clairement tous les éléments constitutifs des poutres telles qu'elles sont fournies par le fabricant.

Les plans d'exécution ne doivent pas nécessairement faire dans tous les cas, état de l'armature technologique indispensable (par exemple au positionnement d'accessoires). Ces armatures feront parties de bordereau d'acier porté en compte.

Sur les plans d'exécution, les différents types de poutre se distinguent par une lettre majuscule qui doit figurer sur la poutre à côté du numéro de fabrication dont il sera question par la suite.

En outre, il y a lieu de consigner les données suivantes sur les plans d'exécution :

- enrobage des armatures;
- classe d'environnement ou classes d'exposition;
- type de ciment ou référence permettant d'en garantir la traçabilité;
- qualité des aciers;
- valeur minimale individuelle sur cube de la résistance du béton mesurée lors du relâchement des torons;
- classe de résistance du béton;
- efforts de précontraints aux vérins.

L'apport de modifications éventuelles aux plans d'exécution doit être approuvé par toutes les parties concernées.

6.4 Prescriptions particulières

Les modalités relatives à la réception des marchandises sont convenues entre toutes les parties concernées en prenant le cahier des charges en compte.

Si le maître d'ouvrage souhaite un contrôle externe, les modalités doivent en être décrites dans le cahier des charges. Dans tous les cas, les personnes habilitées au contrôle de la production, doivent se conformer au planning, aux règles d'organisation et de sécurité de l'usine.

Dans un délai de 5 jours ouvrables avant le début de la fabrication, le fabricant informe l'entrepreneur et le cas échéant l'organisme de contrôle de la date de lancement de la production et de la cadence envisagée.

6.5 Identification des poutres

Toute poutre doit être pourvue d'un code d'identification individuel qui ne soit pas visible sur une face extérieure de l'ouvrage. Ce code d'identification comporte une lettre de référence et un numéro d'ordre. Les lettres de référence correspondent aux types de poutre sur le plan de pose. Les numéros d'ordre seront déterminés par le fabricant.

Si ces numéros d'identification cessent d'être visibles après la pose et le montage ou s'ils ne sont pas indélébiles, il faut que l'entrepreneur les copie clairement sur le plan de pose lors de la pose afin de garantir la traçabilité requise. L'entrepreneur remet ce plan au maître d'ouvrage.

6.6 Suivi de la fabrication

Le suivi de la fabrication s'effectue à l'aide d'une série de formulaires (numériques ou sur papier).

Ces documents comprennent :

- une fiche de fabrication des poutres;
- une fiche générale de contrôle pour chaque banc;
- une fiche de contrôle du béton, de la mise en tension des torons et de la résistance du béton à la compression;
- le cas échéant, une ou plusieurs fiches de contrôle de la mise en tension des câbles de postcontrainte;
- les fiches de non-conformité éventuelles.

En cas de sollicitation d'un organisme de contrôle, les données à mentionner sur ces fiches font l'objet d'un accord préalable entre le fabricant et l'organisme de contrôle.

Les formulaires sont tenus et conservés par le fabricant. Le cas échéant, l'organisme de contrôle procède à leur vérification.

7 Prescriptions techniques

7.1 Armatures de précontrainte et armatures passives

Seule l'utilisation d'armatures certifiées BENOR ou équivalentes est autorisée. L'équivalence doit être établie conformément aux dispositions du cahier des charges. Les aciers certifiés BENOR sont dispensés d'essais de réception technique préalable.

Lors de la livraison de l'armature, le fabricant doit veiller à ce que les aciers soient entreposés en un lieu clairement séparé de l'aire d'entreposage des aciers non certifiés.

Il convient d'entreposer hors sol les aciers à béton ordinaires. Il y a lieu de prévenir l'apparition de toute trace de rouille en vrac et autres impuretés susceptibles d'en compromettre l'adhérence au béton.

Les aciers de précontrainte doivent être entreposés hors sol et à l'abri des intempéries. Il convient de les préserver de toute autre atteinte corrosive. Il faut prévenir l'apparition de toute forme de dégradation superficielle.

Les produits présentant des dégradations susceptibles d'en altérer considérablement les propriétés originelles sont refusés. Tout refus sera consigné.

7.2 Système de postcontrainte

Le système de postcontrainte doit être assorti d'un agrément technique européen en conformité avec la directive ETAG 013.

Le système de postcontrainte doit être préalablement accepté par le maître d'ouvrage.

Les gaines en feuillard d'acier doivent satisfaire aux exigences de la norme NBN EN 523. Les gaines pour câbles exécutées dans un autre matériau que l'acier doivent répondre aux recommandations de la directive ETAG 013.

Les gaines pour câbles ne leur offrent aucune protection efficace avant leur placement dans le coffrage. Tant que l'injection des gaines n'a pas eu lieu, il faut impérativement protéger convenablement les câbles afin de prévenir tout encrassement.

Les pièces d'ancrage et accessoires doivent être spécifiés dans l'agrément technique européen.

Tous les éléments du système de postcontrainte doivent être convenablement protégés pendant la durée de leur entreposage. Les éléments dont la corrosion est susceptible d'influer les performances doivent être remplacés.

7.3 Assemblages mécaniques d'armatures passives

7.3.1 Généralités

Il s'agit de liaisons conçues pour rétablir la continuité de barres interrompues.

Les éléments de liaison sont proposés par le préfabriquant et soumis à l'approbation du maître d'ouvrage avant exécution.

Le fournisseur des éléments de liaison teste chaque type de liaison proposée une fois avec un résultat positif en les soumettant aux essais décrit au §7.3.2.

7.3.2 Essais d'homologation

Chaque essai comporte un essai de traction sur la liaison, constituée de l'élément de liaison et des deux barres assemblées.

L'exécution d'essais de traction est conforme à la norme ISO 15835-2.

Les caractéristiques suivantes sont testées :

- Résistance. La résistance à la traction de l'élément de liaison doit être au minimum égale à la valeur R_m d'armature passive utilisée, spécifiée dans les PTV 302 ou 303.
  - Le résultat est satisfaisant si la rupture se produit à l'extérieur de la longueur de liaison L_{ec}, définie comme étant la longueur de l'élément de liaison plus deux fois le diamètre nominal de l'armature de chaque côté de l'élément de liaison.
  - Si la rupture intervient dans la longueur de liaison L_{ec}, le résultat peut être cependant considéré comme satisfaisant si les caractéristiques déclarées aux PTV 302 ou PTV 303 (R_m, R'_m/R'_e et A_{gt}) pour les qualités d'acier utilisées sont atteintes.
- Ductilité. La valeur de A_{gt} minimal mesuré, sur une base de 100 mm minimum, dans la barre d'armature en dehors de la longueur du liaison L_{ec}, ne doit pas être inférieure aux valeurs caractéristiques spécifiées de la barre d'armature utilisée selon PTV 302 ou PTV 303.
- Glissement sous forces statiques. La déformation permanente est déterminée au retour à une charge nulle après trois cycles de charge de traction. La contrainte de traction est $0{,}6.R_e$. La déformation permanente est la médiane des valeurs individuelles. Cette valeur ne peut pas être supérieure à 0,1 mm. Aucune valeur individuelle ne peut dépasser 0,20 mm.

Toutes les exigences supplémentaires concernant la fatigue doivent prendre en compte les spécifications des éléments de liaison disponibles sur le marché.

7.4 Soudage d'armatures passives

7.4.1 Généralités

Par soudage, on entend dans ce paragraphe le soudage par points en croix des barres ou fils d'armature, en remplacement des ligatures par fils ou clips, en abrégé soudures technologiques ou soudures en croix.

On ne peut en aucun cas tenir compte de la résistance des soudures technologiques pour modifier la longueur d'ancrage. Le soudage par points en croix ne peut être effectué qu'en accord avec le maître d'ouvrage.

L'armature soudée répond aux spécifications techniques du PTV 306.

Le soudage s'effectue de préférence sous certification BENOR ou équivalente. Ce façonnage peut s'effectuer aussi bien sous le certificat du fabricant de poutres de pont que sous le certificat d'une centrale de ferraillage dans le secteur des produits en acier. L'équivalence doit être établie conformément aux dispositions du cahier des charges.

7.4.2 Modalités d'exécution des assemblages soudés

Le soudage bout à bout ou par recouvrement ne peut être envisagé qu'à titre exceptionnel. Il doit faire l'objet d'une convention particulière entre le fabricant et le maître d'ouvrage.

L'assemblage soudé décrit au §4.7.3 est une soudure de construction. Cet assemblage soudé peut uniquement être réalisé par un soudeur disposant d'un certificat de qualification EN ISO 9606-1.

Les assemblages sont réalisés par soudage manuel à l'arc, soudage semi-automatique sous gaz protecteur ou soudage automatique par résistance. En cas de soudage manuel, l'utilisation d'électrodes basiques est obligatoire pour les armatures du type BE 500 S.

Les travaux de soudure sont exécutés à une température ambiante supérieure à 5°C dans un lieu à l'abri des intempéries, du vent et des courants d'air.

Les aciers à béton doivent être secs et propres aux points d'assemblage.

Les fils de soudage doivent être propres et exempts de rouille, dépôt, graisse et humidité.

Tous travaux de soudage et de sciage près de l'armature de précontrainte sont interdits.

Lors de l'exécution d'assemblages soudés, le fabricant doit respecter les paramètres de soudage qui figurent dans la demande d'agréation en se conformant aux tolérances admises.

L'installation de soudage doit être en bon état. Le fabricant doit vérifier une fois par semaine les réglages de chaque machine.

7.4.3 Dossier de soudage

Si le soudage ne s'opère pas sous certification BENOR ou équivalente, le fabricant doit établir un dossier de soudage et le soumettre à l'approbation du maître d'ouvrage.
Si le soudage s'opère sous certification BENOR ou équivalente, ce dossier fait déjà partie intégrante du dossier technique de certification.

Le dossier de soudage identifie les paramètres de soudage suivants :

- concernant la méthode de soudage :
  - nom, catégorie et numéro d'identification du ou des soudeurs en cas de soudage semi-automatique sous gaz protecteur ou soudage manuel à la flamme. Les soudeurs appartenant aux catégories 1 et 2 sont respectivement habilités à souder des armatures d'un diamètre égal ou supérieur à 8 mm et à 5 mm;
  - type, marque, modèle, numéro d'identification et réglages de la ou des machines à souder en cas de soudage automatique par résistance;
- concernant les produits de soudage :
  - fil (type, marque et diamètre) et gaz employés en cas de soudage semi automatique sous gaz protecteur;
  - électrodes (type, marque et diamètre) en cas de soudage manuel à la flamme;
- concernant les assemblages :
  - qualité, diamètre et producteur d'acier pour béton.

Le dossier de façonnage se complète le cas échéant d'une description de la machine de traction et les équipements de mesure pour l'exécution de l'essai de traction.

7.4.4 Essais d'armature soudée

Si le soudage de l'acier à béton ne s'effectue pas sous la certification BENOR ou équivalente, le fabricant doit réaliser les essais de traction selon §7.4.4.1 et les soumettre au maître d'ouvrage.

Le maître d'ouvrage peut, à ses frais, charger un organisme de contrôle d'effectuer des essais de contrôle. L'échantillonnage est dans ce cas effectué par l'organisme de contrôle, qui assiste également au soudage des pièces d'essai. Les essais sont effectués dans un laboratoire externe accrédité en accord avec le maître d'ouvrage.

Après approbation des essais d'agréation, leurs résultats demeurent valables six mois durant à condition que le fabricant procède lui même au contrôle de sa production sur la base d'essais de cintrage (voir §7.4.4.2) et d'un examen visuel (voir §7.4.4.3).

Les produits de soudage utilisés pour la réalisation des éprouvettes soudées sont de la même qualité et du même diamètre que ceux retenus pour les travaux.

L'acier d'exécution des éprouvettes sera choisi parmi les fournitures entreposées.

7.4.4.1 Essai de traction

Le tableau 4 présente un aperçu des prélèvements d'échantillons et des séries d'essais à effectuer.

L'exécution des essais de traction sera conforme à la norme NBN EN ISO 15630-1.

Tableau 4 – Prélèvements d'échantillons et séries d'essais – essai de traction

Acier soudé par un soudeur			
Nombre d'échantillons	**1/soudeur**		
Composition par échantillon		Catégorie de soudeur 1[1]	Catégorie de soudeur 2[1]
	Série 1	3 ($Ø_{MIN}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$	3 ($Ø_{MIN+1}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$
	Série 2	3 ($Ø_{MIN+1}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$	3 ($ØMIN_{+2}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$
	Série 3	3 ($Ø_{max}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$	3 ($Ø_{max}$ op $Ø_{MIN+1}$) + 1 $Ø_{MIN+1,r}$

[1] Catégorie de soudeur 1 : $Ø_{MIN} \leq 8$ mm, Catégorie de soudeur 2 : 5 mm $\leq Ø_{MIN} < 8$ mm

Acier soudé par une machine de soudage		
Nombre d'échantillons	**1/soudeur**	
Composition par échantillon	Série 1	3 ($Ø_{MIN}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$
	Série 2	3 ($Ø_{MIN+1}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$
	Série 3	3 ($Ø_{max}$ op $Ø_{MIN}$) + 1 $Ø_{MIN,r}$
	Série 4	3 ($Ø_{MAX}$ op $Ø_{min}$) + 1 $Ø_{min,r}$

Symboles :
- $Ø_{MIN}$ en $Ø_{MAX}$: plus petit et plus grand diamètre soudé
- $Ø_{MIN,r}$ en $Ø_{MAX,r}$: diamètre minimum et maximum de l'éprouvette de référence non soudée
- $Ø_{MIN+1}$ en $Ø_{MIN+2}$: plus petite diamètre soudé à un, respectivement deux, près
- $Ø_{min}$ en $Ø_{min,r}$: plus petit diamètre soudé sur l'autre diamètre de la soudure et diamètre correspondant de l'éprouvette témoin non soudée
- $Ø_{max}$: plus grand diamètre soudé sur l'autre diamètre de la soudure.

L'éprouvette témoin d'une série est uniquement essayée si nécessaire pour l'évaluation des résultats de contrôle des éprouvettes soudées de cette série.

La longueur des éprouvettes s'élève à 24 d + 200 mm en admettant une longueur minimale de 500 mm, la variable 'd' correspondant au diamètre nominal de l'armature longitudinale exprimé en mm. L'armature longitudinale est celle qui sera soumise à l'essai de traction. La figure 28 rend compte des caractéristiques dimensionnelles d'une éprouvette, où l'armature transversale est soudée d'équerre sur l'armature longitudinale.

L'armature longitudinale correspond toujours à la barre de plus petit diamètre.

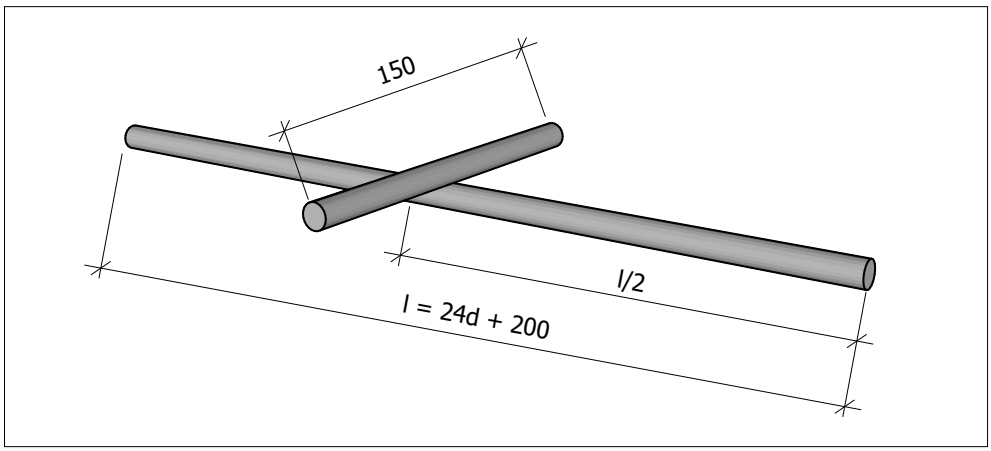


Figure 28 – Éprouvette pour essai de traction (dimensions en mm)

Il convient d'enregistrer/déterminer les valeurs suivantes : limite d'élasticité R'_e, résistance à la traction R'_m, rapport R'_m/R'_e, allongement total sous charge maximale A_{gt} et distance entre la surface de rupture et le bord le plus proche de la soudure.

Les caractéristiques mécaniques d'une éprouvette sont satisfaisantes :

a) si les résultats de chaque essai de traction individuel satisfont aux valeurs R_e, R_m, R'_m/R'_e et A_{gt}, spécifiés dans les NBN A 24-302, NBN A24-303, PTV 302 et en PTV 303;

b) si la rupture ne se produit pas dans la zone influencée par la soudure (deux fois le diamètre de l'autre barre, d'une part et d'autre de la soudure)

c) si la rupture se produit dans la zone influencée par la soudure et si les résultats d'un ou plusieurs essais de traction individuels ne satisfont pas au a) mais :
   - valeur moyenne $A_{gt} \geq 90\%\ A_{gt,\ éprouvette\ témoin}$ et
   - valeur moyenne $R'_e \geq 90\%\ R'_{e,\ éprouvette\ témoin}$ et
   - valeur moyenne $R'_m \geq 95\%\ R'_{m,\ éprouvette\ témoin}$.

L'évaluation sous c) requière un essai positif de l'éprouvette témoin.

Dans les cas c), la série d'essai ne donne satisfaction qu'à condition que le fabricant prenne des mesures pour augmenter la qualité afin de satisfaire aux critères du a) lors d'un prochain contrôle.

7.4.4.2 Essai de cintrage

Il convient de tester quotidiennement une éprouvette par soudeur. Les résultats seront documentés.

La figure 29 présente les caractéristiques dimensionnelles de l'éprouvette considérée. Le diamètre nominal 'd' de l'armature longitudinale et le diamètre de l'armature transversale s'élèvent à 8 mm.

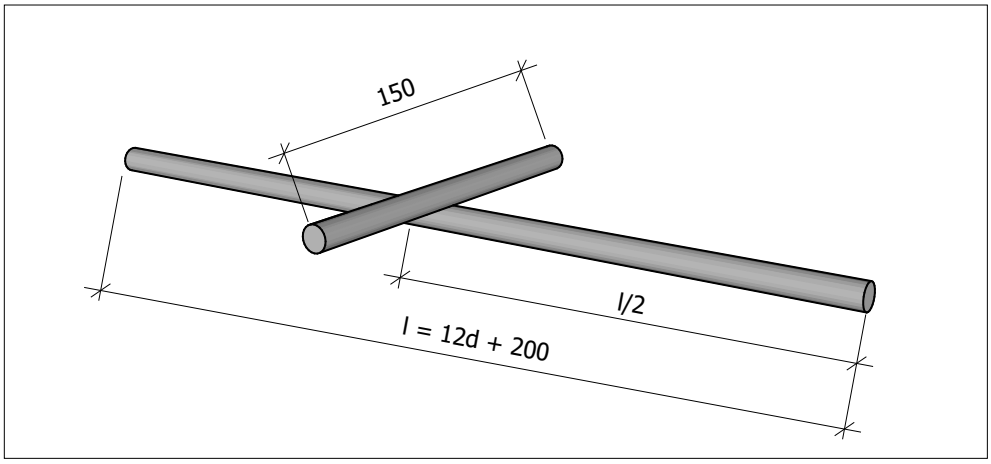


Figure 29 – Éprouvette pour essai de cintrage (dimensions en mm)

L'exécution des essais de cintrage doit être conforme à la norme NBN EN ISO 15630-2. Le diamètre du mandrin de cintrage doit être égal à 20 mm. Le cintrage à 180° de l'armature longitudinale s'effectue à la hauteur de la soudure.

L'essai est concluant si l'on n'observe aucune fissuration visible au niveau de la soudure ou au voisinage immédiat de celle ci.

En cas de constat d'une absence de conformité, il convient de procéder à une nouvelle vérification. Si cette nouvelle vérification confirme l'absence de conformité observée, il faut suspendre le bétonnage des armatures déjà traitées (après le dernier contrôle de conformité). Le fabricant doit en identifier la cause et documenter les résultats de ses investigations. En outre, il doit prélever un échantillon des armatures traitées et procéder à un essai de traction afin de vérifier si ces assemblages sont conformes aux prescriptions. Le prélèvement d'échantillons doit s'effectuer de telle sorte que les armatures traitées puissent être réparées sans difficulté à l'aide d'armatures additionnelles qui recouvrent les armatures sectionnées. Ces recouvrements doivent satisfaire aux prescriptions de la norme NBN EN 1992-2 + ANB.

7.4.4.3 Examen visuel

L'aspect visuel des nœuds de soudure est contrôlé chaque jour pour une soudure par méthode de soudage. Il ne peut y avoir de marques de brûlé et la géométrie doit être acceptable.

Les résultats de ces examens visuels seront documentés.

7.5 Béton

Le béton est soumis à un contrôle statistique permanent de la résistance à la compression à 28 jours, conformément aux NBN EN 206-1 et NBN 15-001, ou à une procédure équivalente. Le contrôle est effectué par composition de béton. L'échantillonnage est effectué conformément à la NBN EN 12350-1. La fabrication et la conservation des cubes est effectuée selon la NBN EN 12390-2. L'essai est réalisé selon la NBN EN 12390-3.

Par 150 m³ de béton frais transformé de la même composition un échantillon est prélevé, avec cette précision qu'au moins 1 et au plus 3 échantillonnages sont effectués par jour de production. Pour chaque échantillon 1 ou 2 cubes de contrôle sont fabriqués, le cas échéant complétés par un ou plusieurs cubes de réserve, selon le choix du fabricant. La résistance à la compression d'un échantillon est le résultat d'un cube ou la moyenne des résultats de deux cubes de cet échantillon. Par jour de production les échantillonnages sont soigneusement répartis sur la production totale.

Le contrôle de la résistance à la compression au moment de la précontrainte est effectué au moyen de cubes de chantier, ou selon une autre bonne méthode étayée. Les cubes de chantier ont 150mm de côté et sont conservés dans les mêmes conditions que les poutres. Les cubes sont fabriqués conformément à la NBN EN 12390-2, l'essai de compression selon NBN EN 12390-3. L'évaluation est effectuée sur base de valeurs individuelles. Le contrôle a lieu à chaque production d'une poutre.

L'absorption d'eau par immersion est déterminée selon la NBN B 15-215. Par semaine de production un échantillonnage est effectué par composition de béton, réparti sur la production, avec un minimum de 3 pour la totalité du projet. Des projets divers avec des compositions de béton et des méthodes de compactage identiques peuvent être combinés. Un échantillonnage se compose de 3 cubes. L'utilisation de cubes de 150 x 150 x 150 mm est autorisée. Dans ce cas, les valeurs prescrites sont réduites de 0,3 %. Chaque série de 3 résultats (un échantillonnage) doit satisfaire aux exigences prescrites.

8 Fabrication : équipement, exécution et contrôles

8.1 Armatures de précontrainte ancrés par adhérence

8.1.1 Équipement de mise en tension

Tout équipement de mise en tension se compose des éléments suivants : pompe, vérin, manomètre de base, manomètre de réserve (le cas échéant), dynamomètre de contrôle et équipements de raccordement et de sécurité.

Les éléments d'un équipement de mise en tension forment un ensemble indivisible et sont identifiés comme tels dans la documentation d'usine.

La précision de l'équipement de mise en tension doit être telle qu'en tenant compte de tous les autres facteurs d'imprécision qui influent sur l'opération de mise en tension, les efforts effectivement appliqués ne s'écartent pas de plus de 5% des efforts théoriques (classe 1 conformément aux normes NBN EN 13369 :2013).

L'étalonnage de l'équipement de mise en tension doit être effectué lors de l'installation, après réglage, adaptation ou réparation et minimum deux fois par an. L'étalonnage doit être effectué dans des conditions réelles d'utilisation à l'aide d'un dynamomètre de contrôle étalonné. Le vérin doit être opérationnel et exercer l'effort requis sur une armature identique à celle effectivement utilisée en usine. De plus, la longueur de l'armature doit être suffisante pour permettre un déplacement d'au moins 10 mm du piston du vérin. Ce déplacement est en fonction de la longueur utilisée des torons et de l'effort de précontrainte appliqué et est mesuré entre 10 et 100 % de l'effort maximal.

Le diagramme d'étalonnage comprend dix étapes par régression linéaire pour des efforts compris entre 10 et 100 % de l'effort maximal. On procède à trois mises en charge successives pour que chaque point fasse l'objet de trois mesures. Si des diminutions d'effort sont prévues au cours des opérations de mise en tension, il convient de procéder à un étalonnage séparé au moyen d'un vérin actif exerçant un effort décroissant.

Les valeurs individuelles obtenues lors des trois mises en charge ne s'écartent pas de plus de 2% de la valeur déduite du diagramme d'étalonnage.

Il convient de procéder tous les douze mois à l'étalonnage du manomètre de base, du manomètre de réserve et du dynamomètre de contrôle. La tolérance admise s'élève à ± 1%.

Les calibrations sont effectuées par un organisme accrédité selon les normes en vigueur.

Le fabricant conserve les rapports de calibration et les met à disposition sur simple demande.

8.1.2 Opération de mise en tension

La mise en tension des armatures s'effectue obligatoirement en deux phases :

- mise en tension individuelle de chaque armature soumise à un effort compris entre 20 et 30% de l'effort prévu. À ce stade, chaque armature doit occuper son emplacement définitif. Elle ne peut subir aucune déviation parasitaire de la part des autres armatures non tendues ou des armatures passives;
- au cours de la deuxième phase, la mise en tension des armatures se poursuit individuellement ou par groupes jusqu'à l'obtention de l'effort de précontrainte prévu.

À chaque phase, il est tenu compte de la perte d'effort due au blocage du dispositif d'ancrage (rentrée des clavettes). Par conséquent, on peut prévoir une légère surtension de manière à compenser ces pertes et à obtenir l'effort prévu après blocage. Une autre possibilité consiste à intégrer ces pertes dans le calcul des pertes de précontrainte.

8.1.3 Vérification de la force de précontrainte effective

Le contrôle de la mise en tension permet de constater tout fonctionnement anormal de l'équipement de mise en tension, le non-respect des consignes de travail par l'opérateur ou le frottement anormal d'une ou plusieurs armatures sur le banc de préfabrication.

La vérification de la force de précontrainte effective dans les armatures a lieu après l'ancrage aux unités de précontrainte individuelles. La vérification s'effectue par la mesure de l'allongement de l'unité de précontrainte et éventuellement par la mesure de la force de précontrainte à l'aide du dynamomètre de contrôle.

La mesure de l'allongement A_i s'effectue comme suit :

- après application de l'effort prévu pour la première phase, on place sur l'armature un repère dont on relève la position par rapport au banc de préfabrication;
- après application de l'effort total, on relève à nouveau la position de ce repère;
- l'écart mesuré donne la valeur de l'allongement correspondant à l'augmentation de l'effort entre les deux phases.

Cette valeur mesurée est comparée à la valeur théorique de l'allongement A_t. Cette dernière est calculée sur base du module d'élasticité moyen des armatures, déterminée sur la base des indications mentionnées sur les bobines susceptibles d'être utilisées, leur section et la longueur précise.

Si la mise en tension poursuivie lors de la seconde phase s'effectue par groupes de quelques armatures, toutes les armatures d'un même groupe doivent présenter un même allongement A_{gi} mesuré.

Le fabricant procède à cette vérification avant de poursuivre les opérations de fabrication. Si les conditions imposées ne sont pas respectées, le fabricant recherche la cause et il trouve une solution adaptée.

8.1.3.1 Mise en tension individuelle des armatures

Pour chaque ensemble d'armatures identiques, on procède selon une des méthodes suivantes :

MÉTHODE 1 :

- l'allongement A_i de chaque armature est mesuré;
- la mise en tension est satisfaisante si, pour chaque armature, la condition suivante est respectée :
  - $0{,}950\ A_t \leq A_i \leq 1{,}050\ A_t$, avec A_t l'allongement théorique.

MÉTHODE 2 :

- les allongements A_i se mesurent sur trois armatures. Ces armatures sont choisies respectivement au début, au milieu et à la fin de l'opération de mise en tension ;
- immédiatement après la mise en tension, on mesure l'effort de précontrainte P_i sur deux armatures au moins ;
- la mise en tension est satisfaisante si, pour chaque ensemble, les conditions suivantes sont respectées :
  - allongements : $0{,}950\ A_t \leq A_i \leq 1{,}050\ A_t$, avec A_t l'allongement théorique;
  - efforts : $0{,}950\ P \leq P_i \leq 1{,}050\ P$, avec P l'effort de précontrainte théorique.

8.1.3.2 Mise en tension simultanée de plusieurs armatures

Dans ce cas l'utilisation de deux vérins est obligatoire :

- le premier pour la mise en tension individuelle des torons (première phase);
- le second pour la mise en tension des torons par groupes (deuxième phase).

Pour chaque ensemble d'armatures identiques, on procède selon une des méthodes suivantes :

MÉTHODE 1 :

- l'allongement A_{gi} de chaque groupe est mesuré;
- la mise en tension est satisfaisante si, pour chaque groupe, la condition suivante est respectée :
  - $0{,}950\ A_t \leq A_{gi} \leq 1{,}050\ A_t$, avec A_t l'allongement théorique.

MÉTHODE 2 :

- la mesure des allongements A_{gi} peut être limitée à trois groupes. Ces mesures s'effectuent au début, au milieu et à la fin des opérations de mise en tension ;
- immédiatement après la mise en tension, on mesure l'effort de précontrainte P_i sur deux armatures au moins appartenant à deux groupes différents ;
- la mise en tension est satisfaisante si, pour chaque groupe, les conditions suivantes sont respectées :
  - allongements : $0{,}950\ A_t \leq A_{gi} \leq 1{,}050\ A_t$, avec A_t l'allongement théorique;
  - efforts : $0{,}950\ P \leq Pi \leq 1{,}050\ P$, avec P l'effort de précontrainte théorique.

8.1.4 Observations concernant la mise en tension

Afin de réduire la dispersion des mesures des allongements et/ou des efforts appliqués, la mise en œuvre de torons de même diamètre, mais provenant de fournisseurs distincts, sur une même ligne de fabrication n'est pas conseillée.

Lorsque l'effort de précontrainte d'une armature entre les différents caissons du coffrage peut varier par suite de la déviation verticale de l'armature, un programme spécial de mise en tension doit être établi. L'effort de précontrainte de l'armature doit être égale à l'effort imposé, en tenant compte des tolérances.

8.1.5 Mise en précontrainte du béton

La mise en précontrainte n'est entamée que lorsque le béton a acquis la résistance requise (voir §3.2.1).

Elle s'effectue obligatoirement de manière progressive et sans choc, afin de prévenir toute rupture d'adhérence entre les torons et le béton dans les blocs d'about des poutres. Conformément à la norme NBN EN 15050, le glissement des torons ne doit pas être contrôlée.

La méthode adoptée ne peut entraîner aucune augmentation excessive de la tension dans les armatures de précontrainte non encore relâchées.

8.1.6 Protection des extrémités des torons

Afin de prévenir la corrosion des extrémités de torons ainsi que la formation de tâches de rouille sur le béton, les extrémités des torons sont protégées par l'application d'un revêtement lié au ciment ou d'un revêtement à base d'époxy et de ciment modifié, conformément à la norme NBN EN 1504-7. La couche de protection couvre au moins un cercle concentrique autour du toron, dont le rayon est au moins de 35 mm plus grand que le rayon nominal du toron.

La protection peut également être effectuée par un mortier de réparation hydraulique à faible retrait ou modifié aux polymères, certifié BENOR ou équivalent de classe R3 conforme à la norme NBN EN 1504-3 et PTV 563. L'équivalence doit être démontrée conformément aux prescriptions du cahier des charges. L'épaisseur minimale de la couche est de 20 mm.

Une autre solution consiste à prévoir des dispositions dans le coffrage de sorte que les torons puissent être coupés plus profondément dans la poutre. L'espace obtenu doit ensuite être rempli avec un mortier de réparation, tel que décrit ci-dessus, afin de répondre à l'enrobage de béton minimum par rapport à la durabilité.

Le mode de protection est à convenir dans chaque cas particulier avec le maître d'ouvrage.

8.2 Armatures passives

Les prescriptions relatives à l'entrelacement et à la pose des armatures sont énoncées dans les normes NBN EN 13670 et NBN B 15-400.

Pour les barres d'attente à grand encombrement, l'opération de dépliage, après pliage, est interdite, sauf pour les barres de qualité BE 500 S, BE 500 TS, BE 500 ES et BE 500 RS (conformes à la classe B définie dans NBN EN 1992-2 + ANB) avec un diamètre ≤ 12 mm. Dans ce cas, le diamètre du mandrin de cintrage doit être supérieur ou égal au quadruple du diamètre de la barre, conformément à la NBN EN 1992-2 + ANB, et les précautions requises doivent être prises pour que le béton n'empêche pas la barre de devenir rectiligne après dépliage.

Il est recommandé de remplacer ces barres par des barres à visser dans des douilles solidaires de la poutre.

8.3 Armatures de postcontrainte

Les prescriptions des normes NBN EN 13670 et NBN B 15-400 s'appliquent.

8.3.1 Positionnement des gaines et armatures

Il convient de prendre les précautions qui suivent :

- les gaines et accessoires doivent être fixés de manière à résister aux efforts résultant du coulage et du compactage du béton;
- il convient de rendre étanche tous les joints ménagés à la hauteur des gaines, ancrages et jonctions;
- lors de ces opérations, il faut veiller à ce que les armatures de précontrainte restent propres;
- lors de l'introduction d'armatures de précontraintes dans les gaines, il faut progresser avec soin afin d'en prévenir tout encrassement par le sable, la poussière ou la boue.

8.3.2 Mise en tension des câbles

Il est recommandé de procéder, lors de la première mise en tension, à un essai de frottement par tracé de câble, conformément à l'annexe I de la norme NBN B 15-400 pour confirmer les hypothèses retenues.

Les essais de frottement ne peuvent être exécutés que sur des câbles pourvus de deux ancrages actifs. Il faut en tenir compte lors de la conception des poutres.

Pour pouvoir se prononcer sur les valeurs mesurées, il faut que les données complémentaires requises soient consignées par le fabricant des poutres dans un document séparé.

Les résultats des essais de frottement permettent d'adapter les directives de mise en tension.

8.3.3 Injection des gaines

Les gaines doivent être injectés 48 heures au moins avant le transport des poutres.

Le mortier d'injection doit satisfaire aux exigences de la norme NBN EN 447. Le ciment utilisé doit être du type CEM I et posséder la propriété LA (faible teneur en alcalis). L'injection en tant que telle doit s'effectuer conformément à la norme NBN EN 446. L'injection n'est pas envisageable si la température de la poutre est inférieure à 5°C ou supérieure à 35°C à la hauteur des gaines.

Les graisses et cires non corrosives destinées au comblement des gaines et dispositifs d'ancrage des armatures non adhérentes doivent satisfaire aux exigences de la directive ETAG 013.

Les gaines doivent être injectées le plus rapidement possible après la mise en tension des câbles. Les câbles doivent être convenablement protégés contre la corrosion et l'encrassement jusqu'à l'injection des gaines. L'application d'huiles solubles sur les armatures ou le soufflage à intervalles réguliers d'un air sec à travers les gaines sont autant de moyens de protection adéquats contre la corrosion. Il faut s'assurer que l'utilisation d'huiles solubles ne risque pas d'avoir un effet défavorable sur les armatures, le produit à injecter ou sur l'adhérence d'armatures de postcontrainte conçues à cette fin.

Les dispositifs d'ancrage doivent être protégés par des embouts en acier ou plastique.

8.4 Bétonnage et décoffrage

Pour le coulage, le compactage et le post-traitement du béton, il convient de se reporter aux normes NBN EN 13369:2013.

Des directives complémentaires relatives au bétonnage et au décoffrage sont énoncées dans les normes NBN EN 13670 et NBN B 15-400.

Sauf autorisation préalable du maître d'ouvrage, un arrêt supérieur à 8 heures entre deux phases de bétonnage successives n'est pas admis.

La surface supérieure de la poutre doit être rendue rugueuse, conformément à la classification énoncée au §6.2.5 de la norme NBN EN 1992-2 + ANB. En cas d'utilisation des prédalles pour la réalisation du tablier, il y a lieu de lisser les bords de la face supérieure des poutres sur une largeur égale à l'appui des prédalles.

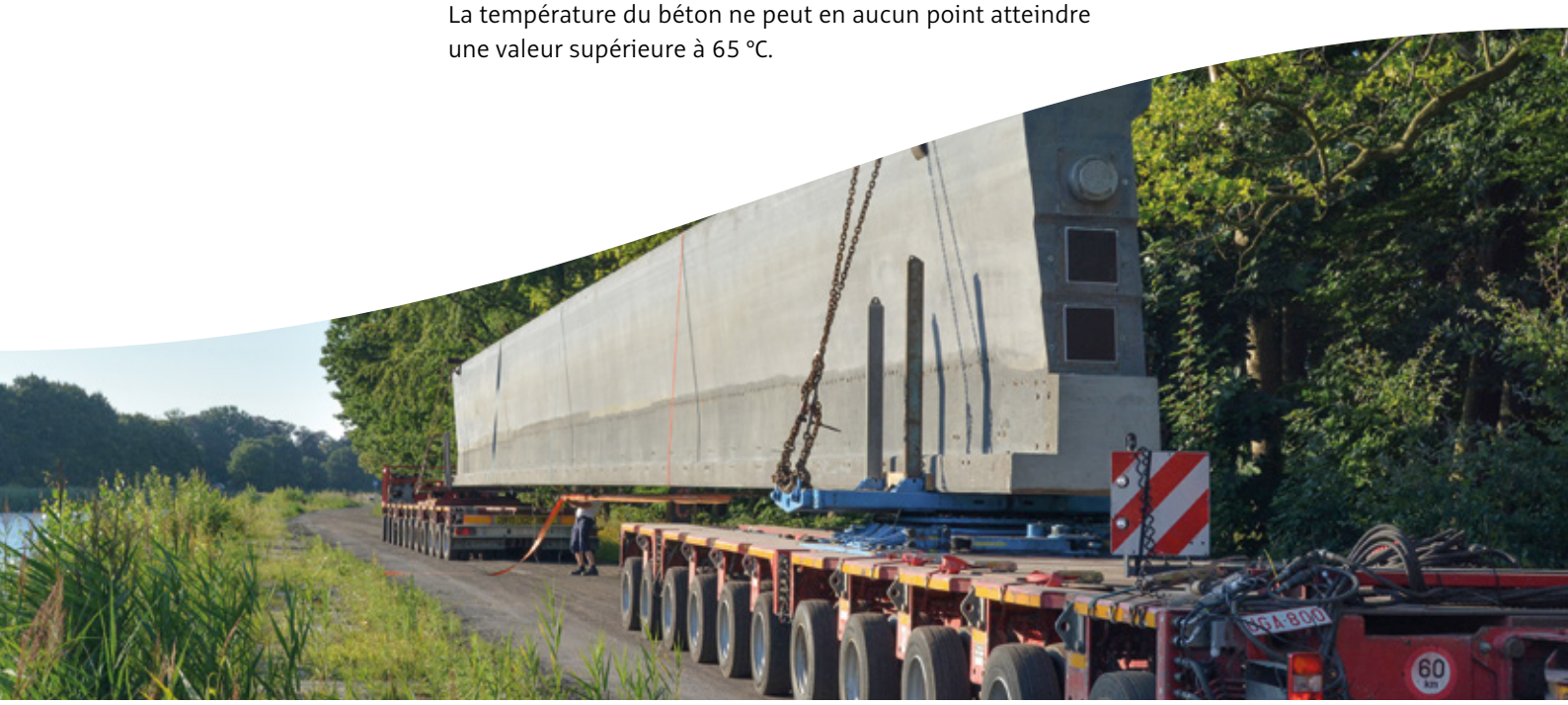
Le produit de cure, mentionné dans §5.3, ne peut pas influer l'adhérence ultérieure du béton de deuxième phase.

8.5 Traitement thermique du béton

Le traitement thermique du béton vise à lui conférer, en quelques heures, une fraction notable de sa résistance finale.

Ce traitement doit faire l'objet d'une convention préalable entre le fabricant et le maître d'ouvrage. Tout autre procédé est susceptible d'être retenu, à l'exception du traitement à l'air chaud.

La température du béton ne peut en aucun point atteindre une valeur supérieure à 65 °C.



9 Manutention, entreposage et transport

Lors de la manutention, de l'entreposage ou du transport des poutres, il convient de prendre les mesures requises pour prévenir toute déformation ou sollicitation excessive de ces dernières.

Les poutres ne peuvent être levées qu'aux points de levage prévus au moyen d'engins de levage adaptés. Le choix des engins de levage est effectué en accord avec le maître d'ouvrage.

Les poutres ne peuvent être stockées que sur les points d'appui prévus. Pour ce faire, il faut veiller à ce que le plancher de l'aire d'entreposage soit suffisamment stable. Les supports d'appui doivent être prévus de manière à prévenir toute torsion ou déformation horizontale.

En outre, il faut tenir compte des prescriptions énoncées au §8.3.3 concernant les mesures de protection des accessoires et câbles de postcontrainte.

ANNEXE A

Caractéristiques géométriques des profils standards

Les caractéristiques mentionnées ne tiennent aucun compte de la présence d'armatures passives et actives (voir figure 30).

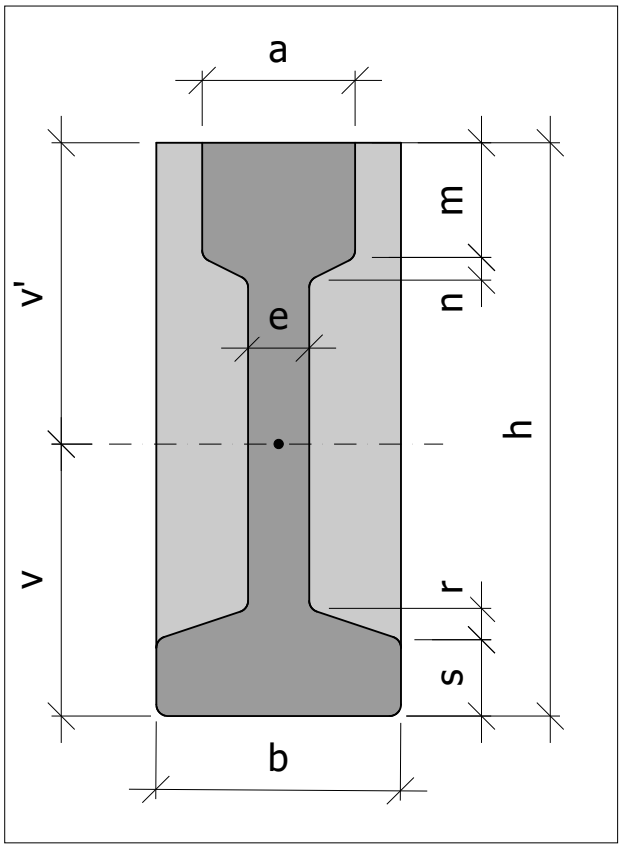


Figure 30 - Caractéristiques géométriques

G	*Poids de la poutre par mètre courant*
A	*Surface de la section de béton*
I	*Moment d'inertie autour de l'axe horizontal passant par le centre de gravité*
v	*Distance entre le centre de gravité et la semelle inférieure*
v'	*Distance entre le centre de gravité et la semelle supérieure*
W_{inf}	*Moment de résistance à la flexion par rapport à la semelle inférieure*
W_{sup}	*Moment de résistance à la flexion par rapport à la semelle inférieure*

Profilé en I	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
900/620	900	620	140	380	150	60	80	200	7,11	284400	254,81	371	529	68,62	48,20
900/640	900	640	160	400	150	60	80	200	7,56	302400	268,01	376	524	71,28	51,15
950/620	950	620	140	380	200	60	80	200	7,59	303400	309,45	406	544	76,22	56,88
950/640	950	640	160	400	200	60	80	200	8,06	322400	324,59	410	540	79,15	60,12
1000/620	1000	620	140	380	250	60	80	200	8,06	322400	367,38	440	560	83,58	65,55
1000/640	1000	640	160	400	250	60	80	200	8,56	342400	384,73	443	557	86,83	69,08
1050/620	1050	620	140	380	300	60	80	200	8,54	341400	428,92	472	578	90,85	74,22
1050/640	1050	640	160	400	300	60	80	200	9,06	362400	448,76	475	575	94,44	78,07
1100/620	1100	620	140	380	150	60	80	200	7,81	312400	437,30	455	645	96,04	67,83
1100/640	1100	640	160	400	150	60	80	200	8,36	334400	461,33	462	638	99,95	72,26
1150/620	1150	620	140	380	200	60	80	200	8,29	331400	517,66	494	656	104,85	78,88
1150/640	1150	640	160	400	200	60	80	200	8,86	354400	544,43	499	651	109,10	83,63
1200/620	1200	620	140	380	250	60	80	200	8,76	350400	601,10	531	669	113,27	89,81
1200/640	1200	640	160	400	250	60	80	200	9,36	374400	630,98	535	665	117,91	94,90
1250/620	1250	620	140	380	300	60	80	200	9,24	369400	688,03	566	684	121,48	100,65
1250/640	1250	640	160	400	300	60	80	200	9,86	394400	721,38	570	680	126,54	106,10
1300/620	1300	620	140	380	150	60	80	200	8,51	340400	680,93	542	758	125,64	89,83
1300/640	1300	640	160	400	150	60	80	200	9,16	366400	720,37	550	750	131,06	96,00
1350/620	1350	620	140	380	200	60	80	200	8,99	359400	791,31	583	767	135,64	103,22
1350/640	1350	640	160	400	200	60	80	200	9,66	386400	834,42	590	760	141,48	109,76
1400/620	1400	620	140	380	250	60	80	200	9,46	378400	904,44	623	777	145,15	116,42
1400/640	1400	640	160	400	250	60	80	200	10,16	406400	951,71	628	772	151,45	123,35
1450/620	1450	620	140	380	300	60	80	200	9,94	397400	1020,81	661	789	154,33	129,46
1450/640	1450	640	160	400	300	60	80	200	10,66	426400	1072,71	666	784	161,12	136,79
1500/620	1500	620	140	380	150	60	80	200	9,21	368400	991,61	631	869	157,24	114,06
1500/640	1500	640	160	400	150	60	80	200	9,96	398400	1051,81	640	860	164,44	122,25
1550/620	1550	620	140	380	200	60	80	200	9,69	387400	1136,17	675	875	168,45	129,78
1550/640	1550	640	160	400	200	60	80	200	10,46	418400	1201,14	682	868	176,13	138,37
1600/620	1600	620	140	380	250	60	80	200	10,16	406400	1283,08	717	883	179,05	145,24
1600/640	1600	640	160	400	250	60	80	200	10,96	438400	1353,41	723	877	187,27	154,27
1650/620	1650	620	140	380	300	60	80	200	10,64	425400	1432,90	757	893	189,24	160,49
1650/640	1650	640	160	400	300	60	80	200	11,46	458400	1509,18	762	888	198,04	169,96
1700/800	1700	800	140	480	150	80	120	210	12,02	480800	1731,59	687	1013	170,95	252,02
1700/820	1700	820	160	500	150	80	120	210	12,87	514800	1821,90	698	1002	181,80	261,08
1700/840	1700	840	180	520	150	80	120	210	13,72	548800	1911,17	707	993	192,52	270,22
1700/860	1700	860	200	540	150	80	120	210	14,57	582800	1999,58	716	984	203,12	279,43
1700/880	1700	880	220	560	150	80	120	210	15,42	616800	2087,27	723	977	213,64	288,70

Profilé en I	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
1750/800	1750	800	140	480	200	80	120	210	12,62	504800	1977,90	736	1014	195,14	268,58
1750/820	1750	820	160	500	200	80	120	210	13,50	539800	2073,51	745	1005	206,40	278,17
1750/840	1750	840	180	520	200	80	120	210	14,37	574800	2168,35	753	997	217,55	287,85
1750/860	1750	860	200	540	200	80	120	210	15,25	609800	2262,56	760	990	228,61	297,59
1750/880	1750	880	220	560	200	80	120	210	16,12	644800	2356,24	767	983	239,58	307,40
1800/800	1800	800	140	480	250	80	120	210	13,22	528800	2225,07	784	1016	218,91	283,97
1800/820	1800	820	160	500	250	80	120	210	14,12	564800	2326,84	791	1009	230,60	294,17
1800/840	1800	840	180	520	250	80	120	210	15,02	600800	2428,07	798	1002	242,20	304,46
1800/860	1800	860	200	540	250	80	120	210	15,92	636800	2528,83	803	997	253,72	314,80
1800/880	1800	880	220	560	250	80	120	210	16,82	672800	2629,22	808	992	265,17	325,21
1850/800	1850	800	140	480	300	80	120	210	13,82	552800	2474,13	829	1021	242,27	298,53
1850/820	1850	820	160	500	300	80	120	210	14,75	589800	2582,87	835	1015	254,42	309,40
1850/840	1850	840	180	520	300	80	120	210	15,67	626800	2691,22	840	1010	266,49	320,33
1850/860	1850	860	200	540	300	80	120	210	16,60	663800	2799,27	845	1005	278,50	331,33
1850/880	1850	880	220	560	300	80	120	210	17,52	700800	2907,05	849	1001	290,44	342,37
1900/800	1900	800	140	480	150	80	120	210	12,72	508800	2303,81	774	1126	204,55	297,76
1900/820	1900	820	160	500	150	80	120	210	13,67	546800	2429,12	786	1114	218,05	309,06
1900/840	1900	840	180	520	150	80	120	210	14,62	584800	2552,99	797	1103	231,38	320,48
1900/860	1900	860	200	540	150	80	120	210	15,57	622800	2675,70	806	1094	244,58	331,98
1900/880	1900	880	220	560	150	80	120	210	16,52	660800	2797,45	814	1086	257,65	343,56
1950/800	1950	800	140	480	200	80	120	210	13,32	532800	2607,64	826	1124	231,91	315,86
1950/820	1950	820	160	500	200	80	120	210	14,30	571800	2739,34	836	1114	245,85	327,76
1950/840	1950	840	180	520	200	80	120	210	15,27	610800	2870,00	845	1105	259,65	339,78
1950/860	1950	860	200	540	200	80	120	210	16,25	649800	2999,81	852	1098	273,33	351,89
1950/880	1950	880	220	560	200	80	120	210	17,22	688800	3128,91	859	1091	286,90	364,07
2000/800	2000	800	140	480	250	80	120	210	13,92	556800	2911,11	875	1125	258,79	332,65
2000/820	2000	820	160	500	250	80	120	210	14,92	596800	3050,26	883	1117	273,20	345,25
2000/840	2000	840	180	520	250	80	120	210	15,92	636800	3188,68	891	1109	287,48	357,95
2000/860	2000	860	200	540	250	80	120	210	16,92	676800	3326,50	897	1103	301,66	370,74
2000/880	2000	880	220	560	250	80	120	210	17,92	716800	3463,82	903	1097	315,75	383,59
2050/800	2050	800	140	480	300	80	120	210	14,52	580800	3215,38	923	1127	285,21	348,50
2050/820	2050	820	160	500	300	80	120	210	15,55	621800	3362,98	929	1121	300,10	361,85
2050/840	2050	840	180	520	300	80	120	210	16,57	662800	3510,08	935	1115	314,89	375,29
2050/860	2050	860	200	540	300	80	120	210	17,60	703800	3656,77	941	1109	329,59	388,80
2050/880	2050	880	220	560	300	80	120	210	18,62	744800	3803,12	945	1105	344,23	402,37

Profilé en T renversé	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
500/620	500	620	140	140	0	0	80	200	4,63	185200	27,62	170	330	16,26	8,36
500/640	500	640	160	160	0	0	80	200	4,88	195200	30,31	174	326	17,43	9,30
550/620	550	620	140	140	0	0	80	200	4,81	192200	36,14	183	367	19,77	9,84
550/640	550	640	160	160	0	0	80	200	5,08	203200	39,80	188	362	21,20	10,99
600/620	600	620	140	140	0	0	80	200	4,98	199200	46,55	197	403	23,68	11,54
600/640	600	640	160	160	0	0	80	200	5,28	211200	51,36	202	398	25,37	12,92
650/620	650	620	140	140	0	0	80	200	5,16	206200	58,98	211	439	27,94	13,44
650/640	650	640	160	160	0	0	80	200	5,48	219200	65,14	218	432	29,90	15,07
700/620	700	620	140	140	0	0	80	200	5,33	213200	73,56	226	474	32,50	15,53
700/640	700	640	160	160	0	0	80	200	5,68	227200	81,29	234	466	34,75	17,44
750/620	750	620	140	140	0	0	80	200	5,51	220200	90,43	242	508	37,34	17,81
750/640	750	640	160	160	0	0	80	200	5,88	235200	99,94	251	499	39,87	20,01
800/620	800	620	140	140	0	0	80	200	5,68	227200	109,70	259	541	42,42	20,26
800/640	800	640	160	160	0	0	80	200	6,08	243200	121,23	268	532	45,25	22,78
850/620	850	620	140	140	0	0	80	200	5,86	234200	131,50	276	574	47,73	22,89
850/640	850	640	160	160	0	0	80	200	6,28	251200	145,28	286	564	50,86	25,74
900/620	900	620	140	140	0	0	80	200	6,03	241200	155,95	293	607	53,24	25,69
900/640	900	640	160	160	0	0	80	200	6,48	259200	172,23	304	596	56,69	28,89
950/620	950	620	140	140	0	0	80	200	6,21	248200	183,14	311	639	58,94	28,65
950/640	950	640	160	160	0	0	80	200	6,68	267200	202,19	322	628	62,71	32,22
1000/620	1000	620	140	140	0	0	80	200	6,38	255200	213,19	329	671	64,81	31,77
1000/640	1000	640	160	160	0	0	80	200	6,88	275200	235,28	341	659	68,92	35,72
1050/620	1050	620	140	140	0	0	80	200	6,56	262200	246,21	348	702	70,84	35,05
1050/640	1050	640	160	160	0	0	80	200	7,08	283200	271,63	361	689	75,31	39,41
1100/620	1100	620	140	140	0	0	80	200	6,73	269200	282,31	366	734	77,04	38,49
1100/640	1100	640	160	160	0	0	80	200	7,28	291200	311,34	380	720	81,86	43,26
1150/620	1150	620	140	140	0	0	80	200	6,91	276200	321,58	386	764	83,38	42,07
1150/640	1150	640	160	160	0	0	80	200	7,48	299200	354,54	400	750	88,58	47,29
1200/620	1200	620	140	140	0	0	80	200	7,08	283200	364,13	405	795	89,86	45,81
1200/640	1200	640	160	160	0	0	80	200	7,68	307200	401,32	420	780	95,46	51,48
1250/620	1250	620	140	140	0	0	80	200	7,26	290200	410,05	425	825	96,49	49,70
1250/640	1250	640	160	160	0	0	80	200	7,88	315200	451,81	441	809	102,49	55,84
1300/620	1300	620	140	140	0	0	80	200	7,43	297200	459,45	445	855	103,25	53,74
1300/640	1300	640	160	160	0	0	80	200	8,08	323200	506,12	461	839	109,67	60,36
1350/620	1350	620	140	140	0	0	80	200	7,61	304200	512,43	465	885	110,14	57,92
1350/640	1350	640	160	160	0	0	80	200	8,28	331200	564,35	482	868	117,00	65,04
1400/620	1400	620	140	140	0	0	80	200	7,78	311200	569,08	486	914	117,16	62,24

Profilé en T renversé	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
1400/640	1400	640	160	160	0	0	80	200	8,48	339200	626,61	503	897	124,48	69,89
1450/620	1450	620	140	140	0	0	80	200	7,96	318200	629,49	506	944	124,31	66,71
1450/640	1450	640	160	160	0	0	80	200	8,68	347200	693,01	525	925	132,09	74,89
1500/620	1500	620	140	140	0	0	80	200	8,13	325200	693,77	527	973	131,59	71,32
1500/640	1500	640	160	160	0	0	80	200	8,88	355200	763,65	546	954	139,85	80,05
1550/620	1550	620	140	140	0	0	80	200	8,31	332200	762,00	548	1002	138,99	76,07
1550/640	1550	640	160	160	0	0	80	200	9,08	363200	838,65	568	982	147,75	85,37
1600/620	1600	620	140	140	0	0	80	200	8,48	339200	834,29	569	1031	146,51	80,95
1600/640	1600	640	160	160	0	0	80	200	9,28	371200	918,10	589	1011	155,79	90,84
1650/620	1650	620	140	140	0	0	80	200	8,66	346200	910,73	591	1059	154,16	85,98
1650/640	1650	640	160	160	0	0	80	200	9,48	379200	1002,12	611	1039	163,97	96,47
550/800	550	800	140	140	0	0	120	210	6,38	255200	41,34	179	371	23,12	11,14
550/820	550	820	160	160	0	0	120	210	6,66	266200	45,09	183	367	24,67	12,28
550/840	550	840	180	180	0	0	120	210	6,93	277200	48,77	186	364	26,16	13,41
550/860	550	860	200	200	0	0	120	210	7,21	288200	52,37	190	360	27,59	14,54
550/880	550	880	220	220	0	0	120	210	7,48	299200	55,91	193	357	28,98	15,66
600/800	600	800	140	140	0	0	120	210	6,56	262200	52,05	189	411	27,49	12,68
600/820	600	820	160	160	0	0	120	210	6,86	274200	57,06	194	406	29,38	14,06
600/840	600	840	180	180	0	0	120	210	7,16	286200	61,95	199	401	31,18	15,43
600/860	600	860	200	200	0	0	120	210	7,46	298200	66,73	203	397	32,92	16,80
600/880	600	880	220	220	0	0	120	210	7,76	310200	71,42	206	394	34,59	18,15
650/800	650	800	140	140	0	0	120	210	6,73	269200	65,01	201	449	32,39	14,47
650/820	650	820	160	160	0	0	120	210	7,06	282200	71,50	206	444	34,64	16,12
650/840	650	840	180	180	0	0	120	210	7,38	295200	77,83	212	438	36,77	17,75
650/860	650	860	200	200	0	0	120	210	7,71	308200	84,00	216	434	38,81	19,37
650/880	650	880	220	220	0	0	120	210	8,03	321200	90,05	221	429	40,78	20,98
700/800	700	800	140	140	0	0	120	210	6,91	276200	80,37	213	487	37,78	16,49
700/820	700	820	160	160	0	0	120	210	7,26	290200	88,60	219	481	40,39	18,43
700/840	700	840	180	180	0	0	120	210	7,61	304200	96,59	225	475	42,86	20,35
700/860	700	860	200	200	0	0	120	210	7,96	318200	104,39	231	469	45,22	22,25
700/880	700	880	220	220	0	0	120	210	8,31	332200	112,01	236	464	47,49	24,13
750/800	750	800	140	140	0	0	120	210	7,08	283200	98,30	225	525	43,62	18,74
750/820	750	820	160	160	0	0	120	210	7,46	298200	108,52	233	517	46,59	20,99
750/840	750	840	180	180	0	0	120	210	7,83	313200	118,44	240	510	49,41	23,21
750/860	750	860	200	200	0	0	120	210	8,21	328200	128,09	246	504	52,09	25,41
750/880	750	880	220	220	0	0	120	210	8,58	343200	137,51	252	498	54,67	27,59
800/800	800	800	140	140	0	0	120	210	7,26	290200	118,95	239	561	49,85	21,19

Profilé en T renversé	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
800/820	800	820	160	160	0	0	120	210	7,66	306200	131,43	247	553	53,20	23,77
800/840	800	840	180	180	0	0	120	210	8,06	322200	143,52	255	545	56,36	26,32
800/860	800	860	200	200	0	0	120	210	8,46	338200	155,28	262	538	59,37	28,84
800/880	800	880	220	220	0	0	120	210	8,86	354200	166,74	268	532	62,26	31,33
850/800	850	800	140	140	0	0	120	210	7,43	297200	142,47	252	598	56,43	23,84
850/820	850	820	160	160	0	0	120	210	7,86	314200	157,49	262	588	60,16	26,77
850/840	850	840	180	180	0	0	120	210	8,28	331200	172,02	270	580	63,67	29,67
850/860	850	860	200	200	0	0	120	210	8,71	348200	186,13	278	572	67,02	32,52
850/880	850	880	220	220	0	0	120	210	9,13	365200	199,88	285	565	70,24	35,35
900/800	900	800	140	140	0	0	120	210	7,61	304200	168,99	267	633	63,34	26,69
900/820	900	820	160	160	0	0	120	210	8,06	322200	186,84	277	623	67,45	29,99
900/840	900	840	180	180	0	0	120	210	8,51	340200	204,09	286	614	71,32	33,25
900/860	900	860	200	200	0	0	120	210	8,96	358200	220,83	294	606	75,01	36,46
900/880	900	880	220	220	0	0	120	210	9,41	376200	237,13	302	598	78,56	39,64
950/800	950	800	140	140	0	0	120	210	7,78	311200	198,65	282	668	70,55	29,72
950/820	950	820	160	160	0	0	120	210	8,26	330200	219,64	293	657	75,04	33,42
950/840	950	840	180	180	0	0	120	210	8,73	349200	239,90	303	647	79,27	37,06
950/860	950	860	200	200	0	0	120	210	9,21	368200	259,54	312	638	83,31	40,65
950/880	950	880	220	220	0	0	120	210	9,68	387200	278,66	320	630	87,20	44,20
1000/800	1000	800	140	140	0	0	120	210	7,96	318200	231,58	297	703	78,02	32,93
1000/820	1000	820	160	160	0	0	120	210	8,46	338200	256,01	309	691	82,89	37,04
1000/840	1000	840	180	180	0	0	120	210	8,96	358200	279,58	320	680	87,50	41,09
1000/860	1000	860	200	200	0	0	120	210	9,46	378200	302,42	329	671	91,90	45,07
1000/880	1000	880	220	220	0	0	120	210	9,96	398200	324,63	338	662	96,14	49,01
1050/800	1050	800	140	140	0	0	120	210	8,13	325200	267,91	313	737	85,73	36,33
1050/820	1050	820	160	160	0	0	120	210	8,66	346200	296,11	325	725	91,00	40,87
1050/840	1050	840	180	180	0	0	120	210	9,18	367200	323,29	337	713	95,99	45,33
1050/860	1050	860	200	200	0	0	120	210	9,71	388200	349,62	347	703	100,76	49,73
1050/880	1050	880	220	220	0	0	120	210	10,23	409200	375,23	356	694	105,36	54,08
1100/800	1100	800	140	140	0	0	120	210	8,31	332200	307,77	329	771	93,67	39,90
1100/820	1100	820	160	160	0	0	120	210	8,86	354200	340,06	342	758	99,34	44,88
1100/840	1100	840	180	180	0	0	120	210	9,41	376200	371,18	354	746	104,71	49,79
1100/860	1100	860	200	200	0	0	120	210	9,96	398200	401,31	365	735	109,86	54,62
1100/880	1100	880	220	220	0	0	120	210	10,51	420200	430,61	375	725	114,84	59,39
1150/800	1150	800	140	140	0	0	120	210	8,48	339200	351,26	345	805	101,81	43,64
1150/820	1150	820	160	160	0	0	120	210	9,06	362200	388,00	360	790	107,89	49,09
1150/840	1150	840	180	180	0	0	120	210	9,63	385200	423,39	372	778	113,67	54,45

Profilé en T renversé	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
1150/860	1150	860	200	200	0	0	120	210	10,21	408200	457,64	384	766	119,21	59,73
1150/880	1150	880	220	220	0	0	120	210	10,78	431200	490,94	394	756	124,58	64,95
1200/800	1200	800	140	140	0	0	120	210	8,66	346200	398,53	362	838	110,15	47,54
1200/820	1200	820	160	160	0	0	120	210	9,26	370200	440,06	377	823	116,65	53,49
1200/840	1200	840	180	180	0	0	120	210	9,86	394200	480,04	391	809	122,84	59,32
1200/860	1200	860	200	200	0	0	120	210	10,46	418200	518,75	403	797	128,78	65,07
1200/880	1200	880	220	220	0	0	120	210	11,06	442200	556,37	414	786	134,55	70,74
1250/800	1250	800	140	140	0	0	120	210	8,83	353200	449,66	379	871	118,68	51,62
1250/820	1250	820	160	160	0	0	120	210	9,46	378200	496,36	395	855	125,61	58,06
1250/840	1250	840	180	180	0	0	120	210	10,08	403200	541,30	409	841	132,21	64,40
1250/860	1250	860	200	200	0	0	120	210	10,71	428200	584,79	422	828	138,57	70,63
1250/880	1250	880	220	220	0	0	120	210	11,33	453200	627,07	433	817	144,75	76,77
1300/800	1300	800	140	140	0	0	120	210	9,01	360200	504,80	396	904	127,37	55,86
1300/820	1300	820	160	160	0	0	120	210	9,66	386200	557,02	413	887	134,74	62,83
1300/840	1300	840	180	180	0	0	120	210	10,31	412200	607,27	428	872	141,78	69,67
1300/860	1300	860	200	200	0	0	120	210	10,96	438200	655,91	441	859	148,57	76,40
1300/880	1300	880	220	220	0	0	120	210	11,61	464200	703,20	453	847	155,18	83,04
1350/800	1350	800	140	140	0	0	120	210	9,18	367200	564,03	414	936	136,23	60,26
1350/820	1350	820	160	160	0	0	120	210	9,86	394200	622,17	432	918	144,06	67,77
1350/840	1350	840	180	180	0	0	120	210	10,53	421200	678,11	447	903	151,54	75,13
1350/860	1350	860	200	200	0	0	120	210	11,21	448200	732,25	461	889	158,78	82,38
1350/880	1350	880	220	220	0	0	120	210	11,88	475200	784,90	473	877	165,82	89,53
1400/800	1400	800	140	140	0	0	120	210	9,36	374200	627,48	432	968	145,25	64,82
1400/820	1400	820	160	160	0	0	120	210	10,06	402200	691,93	451	949	153,54	72,88
1400/840	1400	840	180	180	0	0	120	210	10,76	430200	753,93	467	933	161,48	80,80
1400/860	1400	860	200	200	0	0	120	210	11,46	458200	813,95	481	919	169,18	88,58
1400/880	1400	880	220	220	0	0	120	210	12,16	486200	872,33	494	906	176,68	96,26
1450/800	1450	800	140	140	0	0	120	210	9,53	381200	695,25	450	1000	154,42	69,54
1450/820	1450	820	160	160	0	0	120	210	10,26	410200	766,41	470	980	163,19	78,18
1450/840	1450	840	180	180	0	0	120	210	10,98	439200	834,88	487	963	171,60	86,65
1450/860	1450	860	200	200	0	0	120	210	11,71	468200	901,16	501	949	179,77	94,99
1450/880	1450	880	220	220	0	0	120	210	12,43	497200	965,64	514	936	187,74	103,20
1500/800	1500	800	140	140	0	0	120	210	9,71	388200	767,45	469	1031	163,74	74,42
1500/820	1500	820	160	160	0	0	120	210	10,46	418200	845,74	489	1011	172,99	83,64
1500/840	1500	840	180	180	0	0	120	210	11,21	448200	921,07	506	994	181,90	92,70
1500/860	1500	860	200	200	0	0	120	210	11,96	478200	994,01	522	978	190,55	101,60
1500/880	1500	880	220	220	0	0	120	210	12,71	508200	1064,98	535	965	199,01	110,38

Profilé en T renversé	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
1550/800	1550	800	140	140	0	0	120	210	9,88	395200	844,19	487	1063	173,20	79,45
1550/820	1550	820	160	160	0	0	120	210	10,66	426200	930,02	508	1042	182,95	89,28
1550/840	1550	840	180	180	0	0	120	210	11,43	457200	1012,64	526	1024	192,36	98,93
1550/860	1550	860	200	200	0	0	120	210	12,21	488200	1092,64	542	1008	201,52	108,42
1550/880	1550	880	220	220	0	0	120	210	12,98	519200	1170,50	556	994	210,48	117,77
1600/800	1600	800	140	140	0	0	120	210	10,06	402200	925,56	506	1094	182,79	84,63
1600/820	1600	820	160	160	0	0	120	210	10,86	434200	1019,38	528	1072	193,07	95,09
1600/840	1600	840	180	180	0	0	120	210	11,66	466200	1109,70	547	1053	203,00	105,35
1600/860	1600	860	200	200	0	0	120	210	12,46	498200	1197,19	563	1037	212,67	115,44
1600/880	1600	880	220	220	0	0	120	210	13,26	530200	1282,35	577	1023	222,15	125,38
1650/800	1650	800	140	140	0	0	120	210	10,23	409200	1011,67	525	1125	192,52	89,96
1650/820	1650	820	160	160	0	0	120	210	11,06	442200	1113,93	548	1102	203,33	101,07
1650/840	1650	840	180	180	0	0	120	210	11,88	475200	1212,39	567	1083	213,79	111,96
1650/860	1650	860	200	200	0	0	120	210	12,71	508200	1307,79	584	1066	224,00	122,66
1650/880	1650	880	220	220	0	0	120	210	13,53	541200	1400,68	599	1051	234,02	133,21
1700/800	1700	800	140	140	0	0	120	210	10,41	416200	1102,63	545	1155	202,38	95,45
1700/820	1700	820	160	160	0	0	120	210	11,26	450200	1213,78	568	1132	213,75	107,21
1700/840	1700	840	180	180	0	0	120	210	12,11	484200	1320,83	588	1112	224,75	118,75
1700/860	1700	860	200	200	0	0	120	210	12,96	518200	1424,58	605	1095	235,51	130,08
1700/880	1700	880	220	220	0	0	120	210	13,81	552200	1525,63	620	1080	246,08	141,26
1750/800	1750	800	140	140	0	0	120	210	10,58	423200	1198,53	564	1186	212,38	101,09
1750/820	1750	820	160	160	0	0	120	210	11,46	458200	1319,05	588	1162	224,30	113,52
1750/840	1750	840	180	180	0	0	120	210	12,33	493200	1435,14	608	1142	235,88	125,72
1750/860	1750	860	200	200	0	0	120	210	13,21	528200	1547,69	626	1124	247,20	137,71
1750/880	1750	880	220	220	0	0	120	210	14,08	563200	1657,35	642	1108	258,33	149,52
1800/800	1800	800	140	140	0	0	120	210	10,76	430200	1299,47	584	1216	222,50	106,87
1800/820	1800	820	160	160	0	0	120	210	11,66	466200	1429,83	608	1192	235,00	120,00
1800/840	1800	840	180	180	0	0	120	210	12,56	502200	1555,44	629	1171	247,16	132,87
1800/860	1800	860	200	200	0	0	120	210	13,46	538200	1677,25	647	1153	259,06	145,52
1800/880	1800	880	220	220	0	0	120	210	14,36	574200	1795,98	663	1137	270,77	158,00
1850/800	1850	800	140	140	0	0	120	210	10,93	437200	1405,56	604	1246	232,74	112,80
1850/820	1850	820	160	160	0	0	120	210	11,86	474200	1546,26	629	1221	245,84	126,63
1850/840	1850	840	180	180	0	0	120	210	12,78	511200	1681,86	650	1200	258,59	140,20
1850/860	1850	860	200	200	0	0	120	210	13,71	548200	1813,41	669	1181	271,09	153,54
1850/880	1850	880	220	220	0	0	120	210	14,63	585200	1941,67	685	1165	283,41	166,68
1900/800	1900	800	140	140	0	0	120	210	11,11	444200	1516,89	624	1276	243,12	118,87
1900/820	1900	820	160	160	0	0	120	210	12,06	482200	1668,42	650	1250	256,83	133,43

Profilé en T renversé	h	b	e	a	m	n	r	s	G	A	I	v	v′	W_{inf}	W_{sup}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/m	mm^2	$mm^4 \times 10^8$	mm	mm	$mm^3 \times 10^6$	$mm^3 \times 10^6$
1900/840	1900	840	180	180	0	0	120	210	13,01	520200	1814,52	672	1228	270,19	147,71
1900/860	1900	860	200	200	0	0	120	210	13,96	558200	1956,29	691	1209	283,30	161,75
1900/880	1900	880	220	220	0	0	120	210	14,91	596200	2094,56	707	1193	296,23	175,58
1950/800	1950	800	140	140	0	0	120	210	11,28	451200	1633,56	644	1306	253,61	125,09
1950/820	1950	820	160	160	0	0	120	210	12,26	490200	1796,44	670	1280	267,95	140,40
1950/840	1950	840	180	180	0	0	120	210	13,23	529200	1953,53	693	1257	281,94	155,40
1950/860	1950	860	200	200	0	0	120	210	14,21	568200	2106,02	712	1238	295,68	170,15
1950/880	1950	880	220	220	0	0	120	210	15,18	607200	2254,79	729	1221	309,24	184,69
2000/800	2000	800	140	140	0	0	120	210	11,46	458200	1755,66	664	1336	264,23	131,46
2000/820	2000	820	160	160	0	0	120	210	12,46	498200	1930,42	691	1309	279,21	147,52
2000/840	2000	840	180	180	0	0	120	210	13,46	538200	2099,02	714	1286	293,84	163,26
2000/860	2000	860	200	200	0	0	120	210	14,46	578200	2262,73	734	1266	308,23	178,74
2000/880	2000	880	220	220	0	0	120	210	15,46	618200	2422,52	751	1249	322,44	194,00

La FEBE est l'union professionnelle reconnue des fabricants de produits préfabriqués en béton. L'industrie belge du béton fabrique un large éventail d'éléments préfabriqués pour la construction et les travaux d'infrastructure, depuis les plus simples produits non armés comme les blocs de maçonnerie ou les pavés aux plus grands éléments de structure comme les poutres de pont.

Cette publication est uniquement destinée à l'information des utilisateurs potentiels. Elle a été rédigée avec le plus grand soin. La FEBE ne peut toutefois garantir que son contenu est à jour, complet et correct. L'éditeur ne pourra en aucun cas être tenu responsable des litiges causés par une stricte application de l'information dispensée. L'utilisation correcte des produits requiert la prise en compte du cadre légal, des normes de produits, des prescriptions du fabricant, de la situation locale et des plans détaillés du concepteur.

FEBE FEBEFAST APPROVED QUALITY

FEBEFAST p/a FEBE

Boulevard du Souverain 68 bte 5
1170 Bruxelles

www.febefast.be - www.febe.be

mail@febe.be

DESIGN WWW.COMITH.BE