

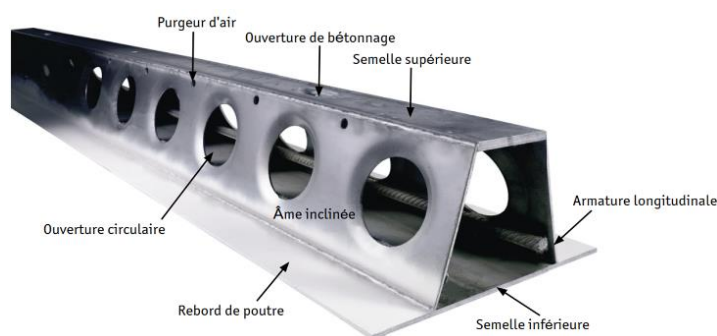
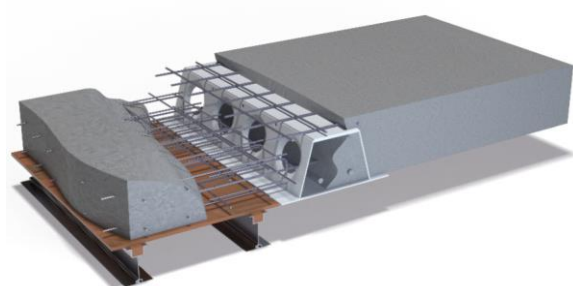
APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 2858_V2

(annule et remplace la version 2858_V1)

ATEx de cas a

Validité du 02/12/2022 au 02/06/2024



Copyright : Société PEIKKO

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. *(extrait de l'art. 24)*

A LA DEMANDE DE :

PEIKKO GROUP Oy SARL
Voimakatu 3
PL 104
15101 LAHTI - FINLANDE

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – Siret 775 688 229 00027 – www.cstb.fr
Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775 688 229 – TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2858_V2

Note Liminaire : Cette Appréciation porte sur le procédé de poutres mixtes acier-béton Deltabeam.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 02/12/2020, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- demandeur : Société PEIKKO
- technique objet de l'expérimentation : Deltabeam
 - Deltabeam est une poutre métallique soudée en forme de trapèze, basée sur un système mixte assemblant l'acier et le béton ;
 - Elle est utilisée principalement pour les planchers minces, en s'intégrant dans la hauteur de différents types de dalles bétons (dalles pleines coulées en place, dalles pleines confectionnées à partir de prédalles et dalles de planchers à dalles alvéolées). La poutre métallique est recouverte d'une dalle de compression béton d'au moins 5 cm d'épaisseur ;
 - Le système s'adapte à des épaisseurs totales de plancher comprises entre 16 cm et 60 cm.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 2858_V2 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation, qui constitue une prolongation de l'ATEX 2858_V1, ne vaut que pour une durée limitée au **02/06/2024** et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulées au §4.

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Le plancher est constitué de dalles en béton armé (coulées en place, prédalles, dalles alvéolées) liaisonnées aux poutres métalliques Deltabeam. La poutre métallique est recouverte d'une dalle de compression béton d'au moins 5 cm d'épaisseur.

Les poutres ont un comportement en deux phases distinctes : phase de montage et phase finale.

En phase de montage, Deltabeam est calculée selon la norme NF EN 1993-1-1, avec un comportement élastique, en considérant une poutre métallique supportant sur sa semelle inférieure les éventuels éléments préfabriqués servant à la réalisation du plancher (prédalles ou dalles alvéolées).

La phase finale débute après durcissement du béton, au moment où le comportement mixte entre la poutre Deltabeam et le béton de remplissage est effectif. Ce comportement mixte est rendu possible grâce à une connexion de cisaillement se matérialisant dans les zones d'ouvertures des âmes, une fois que le béton a durci. La résistance à la flexion de la section mixte est déterminée selon la méthode élastoplastique spécifiée dans la norme NF EN 1994-1-1 (§6.2.1.4) avec une réduction de la limite d'élasticité de la semelle inférieure afin de considérer l'effet de la flexion transversale sur la semelle inférieure.

La résistance à l'effort tranchant est prise égale à la valeur maximale entre la résistance du béton confiné dans la poutre Deltabeam, et la résistance à l'effort tranchant de la partie métallique de la poutre.

1.2 – Sécurité des intervenants

Elle peut être normalement assurée moyennant l'emploi de méthodes et de dispositifs de manutention adaptés aux dimensions et au respect des prescriptions de pose figurant dans la notice de pose et les plans d'exécution.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

La tenue au feu des planchers mixtes fabriqués à partir de dalles alvéolées, de planchers avec prédalles ou de planchers coulés en place, connectés aux poutres Deltabeam fait l'objet de l'appréciation de laboratoire N°19-247 établie par le CSTB.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2858_V2

En complément de l'appréciation de laboratoire, pour les dalles alvéolées, quelle que soit la portée de la poutre Deltabeam, il est impératif de mettre en place une protection passive de la semelle inférieure métallique de la poutre, le système ou le produit de protection devant obligatoirement bénéficier d'un procès-verbal valide de classement de résistance au feu.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Les poutres Deltabeam sont fabriquées dans l'usine Peikko Slovakia s.r.o., 92591 Kralova nad Vahom (Slovaquie), sous contrôles internes et externes. La fabrication des Deltabeam fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité (PAQ).

Elles sont constituées de plusieurs pièces métalliques de nuance S355J2+2 selon la norme NF EN 10025-2, qui sont assemblées et soudées avant de recevoir au minimum un traitement anticorrosif.

2.2 – Mise en œuvre

Le béton des poutres Deltabeam est coulé en même temps que la dalle ou que les joints entre les éléments du plancher à dalles alvéolées. Les poutres doivent être complètement remplies de béton vibré, en un seul passage et en commençant par le centre de la poutre.

Dans le cas d'utilisation des dalles alvéolées, l'entraxe des ouvertures des poutres Deltabeam coïncide avec l'entraxe des alvéoles. Pour les dalles alvéolées, dans les cas où ces armatures transversales doivent passer à travers leurs alvéoles, les membrures supérieures au droit des alvéoles doivent être ouvertes en usine par le préfabricant de dalles alvéolées.

2.3 – Assistance technique

Le dimensionnement des poutres Deltabeam est réalisé par PEIKKO. La mise en œuvre des Deltabeam est réalisée par l'entreprise en charge du lot gros-œuvre à partir des plans d'exécution, de tous les éléments et informations communiqués par le bureau d'études du projet et par PEIKKO.

3°) Risques de désordres

- Fissuration sous moment négatif

Le Dossier Technique fourni n'évoque pas les dispositions à adopter en partie supérieure des appuis des poutres Deltabeam. Dans le cas où il n'est pas prévu d'armatures supérieures, le risque de fissuration est à prendre en considération dans le dimensionnement.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- Veiller au bon bétonnage afin d'assurer une répartition homogène du béton dans la poutre Deltabeam ;
- En cas d'exigences au feu, mettre en place une protection passive dans le cas des dalles alvéolées conformément au §1.3.

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est avérée,
- Le risque de désordres est limité.

Champs sur Marne,
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad Chenaf

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2858_V2

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : PEIKKO GROUP Oy SARL
Voimakatu 3
PL 104
15101 LAHTI - FINLANDE

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Deltabeam est une poutre métallique soudée en forme de trapèze, basée sur un système mixte assemblant l'acier et le béton. Elle est utilisée principalement pour les planchers minces, en s'intégrant dans la hauteur de différents types de dalles bétons (dalles pleines coulées en place, dalles pleines confectionnées à partir de prédalles et dalles de planchers à dalles alvéolées). La poutre métallique est recouverte d'une dalle de compression béton d'au moins 5 cm d'épaisseur. Le système s'adapte à des épaisseurs totales de plancher comprises entre 16 cm et 60 cm.

Constitution des poutres

Les poutres sont constituées de :

- De plaques métalliques en acier de nuance S355J2+N selon la norme NF EN 10025-2. Elles sont découpées thermiquement ou mécaniquement. Le soudage des plaques des Deltabeam s'effectue soit par soudage au gaz actif métal (MAG) ou soit par soudage à l'arc submergé (SAW), selon la classe de soudure C de la norme NF EN ISO 5817 ;
- D'armatures longitudinales au feu de diamètre 20, 25, 32 et 40 mm, intégrées aux poutres en usine, de classe B500B.
- D'armatures transversales – de diamètre 12, 14, 16, 20 et 25 mm, mises en place sur chantier, de classe B500B.
- De béton de classe C25/30 minimum ;
- D'accessoires divers (cornières métallique, boulons, écrous, rondelles).

Fabrication :

Les poutres Deltabeam sont fabriquées dans l'usine Peikko Slovakia s.r.o., 92591 Kralova nad Vahom (Slovaquie), sous contrôles internes et externes et comprend les opérations suivantes :

- Réception et contrôle des matières premières ;
- Découpage des plaques métalliques au plasma ou au gaz suivant leur épaisseur ;
- Poinçonnement des ouvertures dans les âmes inclinées ;
- Sablage de la semelle inférieure ;
- Assemblage des plaques métalliques et soudures longitudinales ;
- Ajout d'éléments supplémentaires (plaques d'extrémités, connexions latérales, coffrages constructifs, retombées, etc.) ;
- Sablage de la poutre entière ;
- Traitement anticorrosif dans le tunnel de peinture ;
- Marquage et stockage intermédiaire.

Mise en œuvre :

La mise en œuvre des poutres Deltabeam est réalisée par une entreprise compétente à partir des plans de pose et des détails de mise en œuvre fournis par le fabricant des Deltabeam. Les étapes de la mise en œuvre sont les suivantes :

- Livraison des poutres ;
- Stockage sur site ;
- Levage et manutention ;
- Mise en œuvre et fixation des poutres ;
- Installation des dalles et des chaînages ;
- Bétonnage.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2858_V2 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2858_V2

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 23 pages.

Procédé de DELTABEAM

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 15 01 2021

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 2858_V2.

Fin du rapport

Dossier Technique

Etabli par le demandeur

1. Description succincte

Deltabeam est une poutre métallique en forme de trapèze soudé, basée sur un système mixte assemblant l'acier et le béton. Elle est utilisée principalement pour les planchers minces, en s'intégrant dans la hauteur de différents types de dalles bétons (dalles coulées en place, dalles semi-préfabriquées (prédalles) et dalles préfabriquées (dalles alvéolées)). L'ensemble est recouvert d'une dalle de compression béton d'au moins 5 cm d'épaisseur. Le système s'adapte à des épaisseurs totales de plancher entre 16 cm et 60 cm.

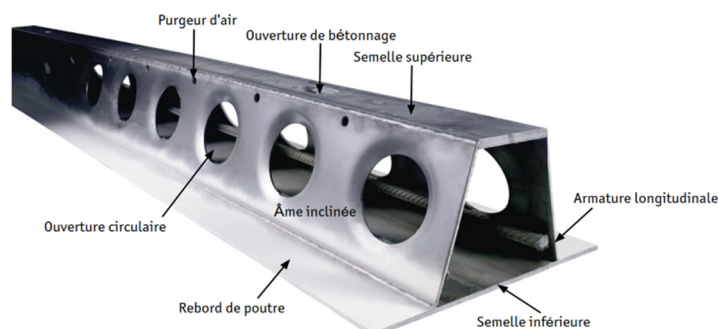
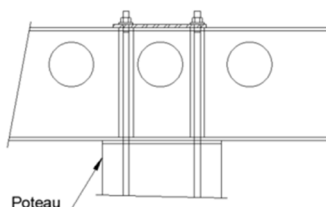


Figure 1 : Parties de la poutre Deltabeam

Les ouvertures des âmes inclinées de Deltabeam permettent un enrobage béton complet à l'intérieur comme à l'extérieur de la poutre. Une fois que la résistance du béton est atteinte, l'ensemble forme une structure monolithique mixte acier-béton. La semelle inférieure de la poutre est parfaitement adaptée pour supporter les dalles semi-préfabriquées et préfabriquées en béton lors de la phase montage.

Deltabeam peut être utilisée sur les supports d'extrémités et intermédiaires, tels que le dessus des poteaux ou des murs, sur la face verticale d'un poteau en béton, ou sur une autre poutre Deltabeam transversale à la poutre porteuse.

Appui de la poutre en tête de poteau et assemblage entre poutres



Appui de la poutre en tête de poteau

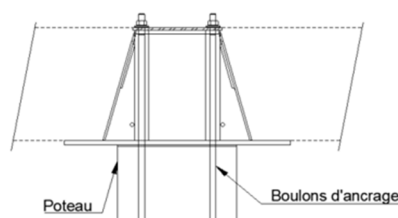


Figure 2 : Types de détails (détail dans l'annexe 12)

2. Domaine d'emploi

Deltabeam est destinée à la réalisation de supports de planchers de type : dalles coulées en place, prédalles et dalles alvéolées avec une dalle de compression coulée en place dans le domaine du bâtiment de catégories A jusqu'à K, à l'exception de la catégorie G, selon NF EN 1991-1-1 (habitations, bureaux, réunions, commerces, locaux industriels, aires de stockages, parcs de stationnement, parkings à plusieurs étages et toitures), en France (Métropole + Corse + DOM-TOM).

L'utilisation en tant que support d'étanchéité en toiture terrasse est également possible. Etant donné que le plancher est couvert par une dalle de compression, cette utilisation (support d'étanchéité) est donc traditionnelle.

Ce dossier technique ne couvre que l'utilisation de la poutre Deltabeam dans les bâtiments pour lesquels il n'y a pas d'exigences sismiques applicables.

3. Définition des matériaux

3.1 Caractéristiques de l'acier

Les plaques métalliques utilisées pour la fabrication des Deltabeam sont de nuance S355J2+N selon la norme NF EN 10025-2. Elles sont découpées thermiquement ou mécaniquement.

Le soudage des plaques des Deltabeam s'effectue soit par soudage au gaz actif métal (MAG) ou soit par soudage à l'arc submergé (SAW), selon la classe de soudure C de la norme NF EN ISO 5817.

3.2 Armatures intégrées en usine

Les armatures longitudinales au feu de diamètre 20, 25, 32 et 40 mm, intégrées aux poutres en usine, sont de classe B500B, conformes à la norme NF EN 10080, et respectent les valeurs de l'enrobage béton de la norme NF EN 1992 et son Annexe Nationale.

3.3 Aciers complémentaires ajoutés sur chantier

Les armatures transversales de diamètre 12, 14, 16, 20 et 25 mm, mises en place sur chantier, sont de classe B500B, conformes à la norme NF EN 10080 et respectent également les valeurs de l'enrobage béton de la norme NF EN 1992 et son Annexe Nationale.

3.4 Béton

Le béton à utiliser avec la poutre Deltabeam est de formulation conforme à la norme NF EN 206/CN en fonction de la classe d'exposition. La classe minimale du béton est C25/30. La classe de consistance minimale du béton est S4.

3.5 Autres matériaux

3.5.1 Cornières métalliques

Lors de la fabrication en usine, des cornières métalliques standards laminées à froid de forme U selon NF EN 10279 et/ou L selon NF EN 10056 de dimensions variables, de classe S235 ou S355 peuvent être soudées aux poutres Deltabeam.

3.5.2 Boulons, écrous et rondelles

Les boulons sont de classe de résistance 8.8 selon NF EN ISO 4014 de diamètre M16, M20, M24 et M30.

Les écrous sont de classe de résistance 8 selon NF EN ISO 4032 de diamètre M16, M20, M24 et M30.

Sur demande, des boulons, écrous et rondelles galvanisés à chaud peuvent être utilisés selon NF EN ISO 10684.

Tous les assemblages de boulonnerie portent le marquage CE selon NF EN ISO 15048-1.

4. Description des éléments

Deltabeam, une poutre métallique en forme de trapèze intégrée dans la hauteur des dalles, est munie d'ouvertures circulaires sur ses âmes inclinées et d'une semelle inférieure plus large que sa semelle supérieure (Cf Annexe 1 et Annexe 2). Il existe deux types de Deltabeam, le type D pour les poutres intermédiaires et le type DR pour les poutres de rives (Figure 3).

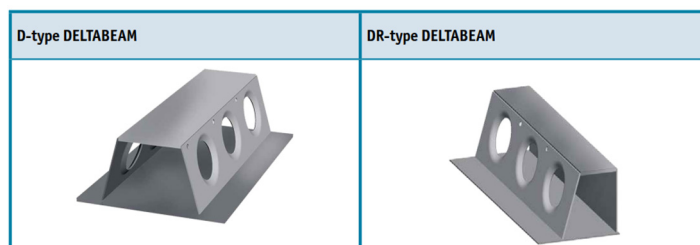


Figure 3 : Types Deltabeam

La section standard des deux types de Deltabeam se compose principalement des éléments suivants :

- Une semelle inférieure, de 5 à 30 mm d'épaisseur, avec des largeurs de rebords standards de 100 à 130 mm. Ces rebords possèdent un support d'appui de dalle courante de 80 à 110 mm, avec une distance minimale par rapport aux âmes inclinées de la poutre de 20 mm.
- Une semelle supérieure, de 10 à 60 mm d'épaisseur, avec des ouvertures de 80 mm pour faciliter la mise en place du béton de remplissage et quelques ouvertures pour les moyens de levage.
- Les Deltabeam de type D possèdent deux âmes inclinées munies d'ouvertures.
- Les Deltabeam de type DR possèdent une âme inclinée et une âme droite. L'âme inclinée est munie d'ouvertures circulaires.
- Les épaisseurs des âmes pour les deux types varient entre 5 à 12 mm, avec une hauteur variable de 200 à 600 mm. Les ouvertures sont de diamètre 80 ou 150 mm, espacées de 300 mm d'entraxe à entraxe. Ces dernières permettent un remplissage béton à l'intérieur comme l'extérieur de la poutre, la mise en place d'armatures transversales, assurant ainsi la connexion mixte acier-béton entre les éléments du plancher. Dans le cas d'utilisation des dalles alvéolées, l'entraxe des ouvertures des poutres Deltabeam coïncide avec l'entraxe des alvéoles.
- D'autres ouvertures de 20 mm de diamètre sont présentes sur la partie haute des âmes, permettant à l'air de s'échapper pendant le coulage du béton de remplissage.

La notation utilisée correspond aux dimensions de la poutre Deltabeam, de la manière suivante :

- D20-300 : poutre intermédiaire (D), hauteur de 200 mm (20) et largeur de la semelle inférieure sans les rebords de 300 mm (300)
- DR20-215 : poutre de rive (DR), hauteur de 200 mm (20) et largeur de la semelle inférieure sans les rebords de 215 mm (215)

Les tolérances dimensionnelles de fabrication sont conformes à la norme NF EN 1090, en particulier :

- Sur la longueur : ± 5 mm
- Sur la largeur : ± 5 mm
- Sur la hauteur : ± 3 mm
- Dimension et emplacement des trous : ± 5 mm
- Position d'assemblage : ± 5 mm
- Position des parties supplémentaires : ± 5 mm
(Profilés en U ou L, contre-flèche, coffrage)

5. Finition et protection

Pour les protections, il est distingué les cas suivants :

- Ambiance intérieure hors ambiance agressive : pas de disposition particulière
- Ambiance extérieure et/ou ambiance agressive : protection de l'acier doit être prévue (par exemple : acier galvanisé)

Le bureau d'études en charge du projet détermine la catégorie d'exposition atmosphérique selon NF EN ISO 12944-2 et le type de protection à appliquer selon la norme NF EN ISO 12944-5, y compris la classe de durabilité.

L'acier de la poutre Deltabeam peut être protégé contre la corrosion et les milieux agressifs selon les normes NF EN ISO 12944-4 (Préparation des surfaces), 12944-5 (Systèmes de peinture) et NF EN ISO 1461 (Revêtement par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et acier).

En accord avec le bureau d'études en charge du projet, Peikko peut réaliser en usine certaines étapes des mesures de protection contre la corrosion demandée, par du personnel qualifié, par un procédé industriel et en respectant la qualité et des conditions environnementales contrôlées.

La protection standard des poutres Deltabeam est un traitement anticorrosif Sa 2¹/₂ + couche primaire Epoxy 80 µm sur les faces visibles de la poutre, 40 µm sur les autres faces, afin d'assurer une protection pendant le transport et l'installation.

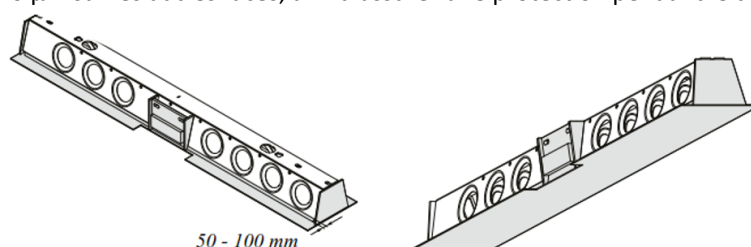


Figure 4 : Application d'un traitement anticorrosif

Durant la vie d'un ouvrage, les parties de la poutre noyées dans le béton ne sont plus visibles et ne nécessitent pas de traitement particulier. En revanche, la sous-face de la semelle inférieure des Deltabeam doit être protégée si elle est laissée apparente.

Suivant la demande du maître d'ouvrage, tous autres types de traitement peuvent être appliqués, par exemple des peintures aux couleurs souhaitées.

6. Description de la mise en œuvre

Le fabricant des poutres Deltabeam assure le dimensionnement des Deltabeam d'un ouvrage à partir des données du bureau d'études structure responsable du projet. Les informations nécessaires pour les calculs et la fabrication de ces poutres sont :

- Les plans de chaque niveau avec le repère des poutres et les charges appliquées
- Le type et la continuité des dalles mises en place
- Le détail de jonction des poutres

Une fois le dimensionnement des poutres effectué par le fabricant, le bureau d'études est chargé de **valider les notes de calculs et les plans fournis** par ce dernier, afin de permettre leur production à l'usine Peikko.

La mise en œuvre des poutres Deltabeam est réalisée par une entreprise compétente à partir des plans de pose et des détails de mise en œuvre fournis par le fabricant des Deltabeam. Les étapes de la mise en œuvre sont les suivantes.

6.1 Livraison

Les poutres Deltabeam sont livrées sur site suivant le planning défini et sont identifiées conformément à la conception des plans.

6.2 Stockage sur le site

Les poutres Deltabeam sont protégées contre la corrosion par une couche primaire de protection. Cependant lors d'un stockage à long terme, les poutres doivent être couvertes. Des bastings en bois doivent être installés sur le sol pour recevoir les Deltabeam. Lorsque les poutres sont empilées, la capacité portante du sol doit être vérifiée.

6.3 Levage et manutention

Les poutres Deltabeam sont soulevées et transportées sur site par les moyens de levages habituels (grue, chariot élévateur...), à l'aide des ouvertures prévues à cet effet dans la semelle supérieure (levées symétriquement à l'axe du centre de masse). Dans des cas particuliers, lorsqu'il n'y a pas d'ouvertures de levage, les poutres Deltabeam peuvent être soulevées avec des chaînes fixées aux ouvertures des âmes. Dans certaine configuration, une troisième chaîne sera nécessaire pour maintenir l'équilibre de Deltabeam (par exemple dans le cas d'une poutre avec des plaques de coffrage larges).

6.4 Mise en œuvre des poutres

Les poutres Deltabeam doivent être installées suivant les plans validés par le bureau d'études du projet. De plus, elles doivent être positionnées de manière que les repérages soient lisibles et conformes au tableau de repérage.

Les Deltabeam peuvent être disposées sur le dessus d'une poutre ou d'un mur, sur la face verticale d'un poteau en béton avec corbeau ou d'un poteau métallique avec un support soudé, ou bien sur une autre poutre Deltabeam transversale à la poutre porteuse.

6.5 Fixation des poutres

Les poutres Deltabeam doivent être fixées conformément à la méthode de montage du projet, aux plans d'installation et aux détails de connexion, avant la mise en place des dalles en béton. Les Deltabeam peuvent être soutenues par des étais durant la phase montage placés près de leurs appuis et avant la mise en place des dalles. Les étais sont positionnés le plus près possible des appuis de Deltabeam sous l'âme du côté chargé (Figure 5), suivant les plans de pose réalisés par le bureau d'études. Le fabricant des poutres Deltabeam peut apporter son aide technique pendant la pose et l'étalement.

Les étais ne doivent pas être enlevés avant que la résistance requise de la dalle coulée et du béton de remplissage au niveau de la poutre soit atteinte.

L'étalement de Deltabeam avec des dalles alvéolées est uniquement utilisé pour éviter la rotation de la poutre sur les appuis et pas d'empêcher le fléchissement de cette dernière. Si les connexions et les structures d'appuis de Deltabeam sont conçues pour supporter les charges et le phénomène de rotation pendant la phase montage, aucun étalement n'est nécessaire.

Pour les poutres de rives, il est toujours requis de les étayer durant la phase montage pour éviter une quelconque rotation. Dans le cas des dalles coulées en place étayées pendant la phase de construction, un étalement le long de Deltabeam peut être nécessaire afin que la poutre et la dalle ne se séparent pas pendant le coulage du béton en fonction du type de coffrage utilisé sur chantier.

Pour les Deltabeam s'appuyant parallèlement à l'extrémité d'un mur et où une connexion rigide avec deux boulons n'est pas possible pour prévenir la rotation, il est nécessaire d'étayer Deltabeam durant la phase montage (Figure 5 b).

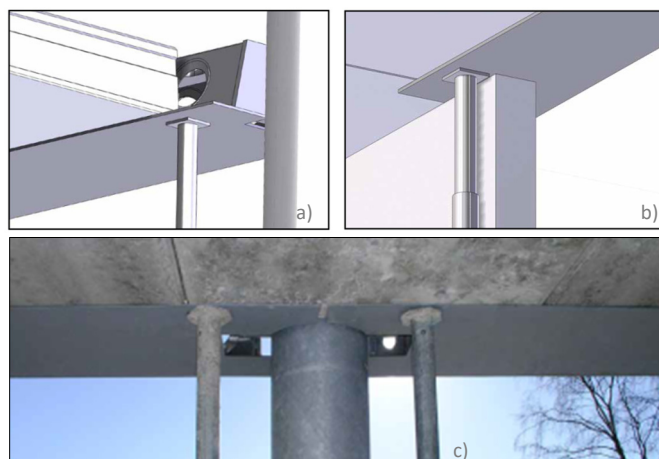


Figure 5 : Etaisements Deltabeam

Dans tous les cas, la stabilité des étais doit être confirmée lors du montage. Les fondations des étais doivent également être solides et sécuritaires.

6.6 Installation des dalles

Avant la mise en œuvre des dalles, les poutres Deltabeam doivent être fixées et les éventuels étaitements installés et fixés. Les unités de dalles sont positionnées directement sur les rebords des semelles inférieures des Deltabeam. La distance d'appui est conforme aux recommandations du fabricant de poutre Deltabeam, aux spécifications définies dans les avis techniques des fabricants de dalles et aux Eurocodes.

Afin de limiter la rotation de la poutre lors de la phase montage, les unités de dalles peuvent être montées alternativement sur les différents côtés de la poutre. Après leur installation, le coffrage nécessaire et les renforcements des dalles sont effectués.

Pour les planchers béton coulés en place, l'arase inférieure du béton est au même niveau que l'arase inférieure du rebord de la poutre. Pour obtenir une surface sans désaffleurement, il est recommandé de construire le coffrage sous la semelle inférieure de Deltabeam ((Figure 6.a). Dans le cas d'une poutre avec une semelle inférieure repliée ou épaisse, le coffrage est de niveau avec la partie supérieure de l'aile de la poutre (Figure 6.b).

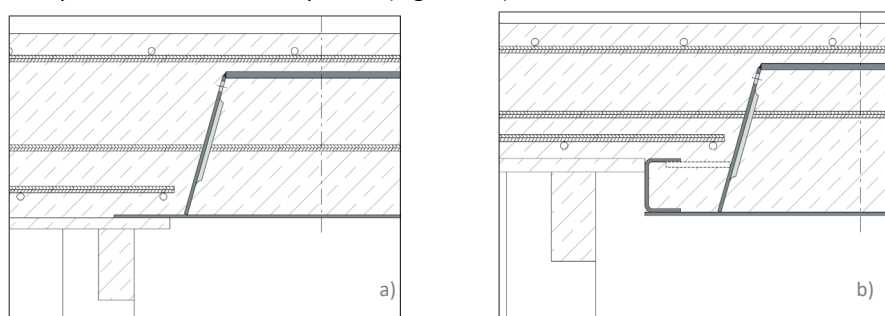


Figure 6: Dalle coulée sur place et coffrage

6.7 Chaînages

Les chaînages entre les différents éléments du plancher et les poutres Deltabeam, comme pour des planchers traditionnels, doivent être mis en place pour assurer l'intégralité et la stabilité de la structure en cas de dommages locaux, suivant la norme NF EN 1992. Pour des planchers alvéolés, la norme NF EN 1168 doit également être utilisée en complément de la norme NF EN 1992.

En phase finale, des armatures transversales doivent être mises en place à travers les ouvertures circulaires de Deltabeam (Figure 7 et Annexe 1). Elles sont positionnées dans la partie basse de ces ouvertures et sont dimensionnées par Peikko. Elles sont définies afin d'assurer une connexion efficace entre la poutre et les dalles et si nécessaire pour augmenter la résistance au cisaillement du béton traversant les ouvertures de la poutre en phase finale.

Pour les dalles alvéolées, dans les cas où ces armatures transversales doivent passer à travers leurs alvéoles, les membrures supérieures au droit des alvéoles doivent être ouvertes en usine par le préfabriquant de dalles alvéolées.

En cas d'incendie, pour maintenir cette connexion, des armatures transversales supplémentaires peuvent être ajoutées dans la partie haute des ouvertures. Les exigences pour ces dernières sont décrites à l'Annexe 10 de ce présent document suivant l'appréciation du laboratoire incendie du CSTB, N°AL 19-247.

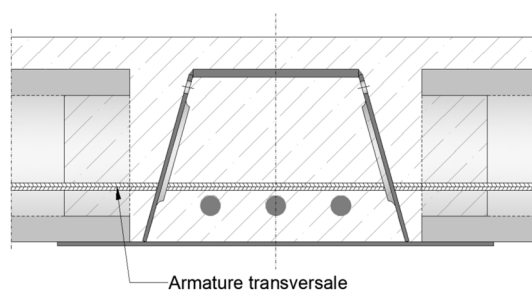


Figure 7 : Armature transversale pour la phase finale

6.8 Bétonnage

Les poutres Deltabeam sont coulées avec du béton en même temps que la dalle ou/et les joints entre les éléments du plancher. Les poutres doivent être complètement remplies de béton vibré, en un seul passage et en commençant par le centre de la poutre, afin d'assurer les propriétés d'une poutre mixte.

Les propriétés du béton sont conformes aux plans de bétonnage du projet définis par le bureau d'études, suivant les recommandations du paragraphe 3.4.

Les étapes du processus de bétonnage des poutres Deltabeam sont les suivantes :

1. Vérifier que la poutre Deltabeam, le coffrage, les étais et les armatures mises en œuvre sont conformes aux plans d'exécution.
2. Prévoir une aiguille à béton ou vibreur.
3. Commencer à couler le béton à travers les réservations situées dans la semelle supérieure. La poutre doit être remplie dans un premier temps de béton jusqu'au bord inférieur des ouvertures des âmes (Figure 8.a).
4. Puis continuer de bétonner uniquement à partir d'un côté de la poutre Deltabeam (Figure 8.b et Figure 8.c). Le béton doit traverser Deltabeam et sortir à l'opposé par les ouvertures supérieures de Deltabeam (les purgeurs d'air).
5. Vibration du béton.

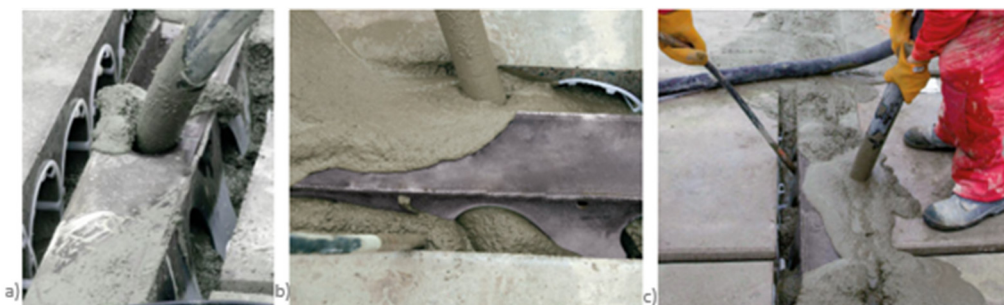


Figure 8 : Processus de bétonnage

7. Fabrication et contrôles

7.1 Fabrication

Les poutres Deltabeam sont fabriquées dans l'usine Peikko Slovakia s.r.o., 92591 Kralova nad Vahom (Slovaquie), sous contrôles internes et externes.

Elles sont constituées de plusieurs pièces métalliques de nuance S355J2+2 selon la norme NF EN 10025-2, qui sont assemblées et soudées (Cf 3.1) avant de recevoir au minimum un traitement anticorrosif (Cf 5).

Les certifications disponibles sont les suivantes :

- ISO 9001 :2015 (Système de gestion de qualité)
- EN ISO 3834-2 (Processus de soudage)
- ISO 14001 :2015 (Système de gestion environnementale)
- EN ISO 45001 :2018 (Système de gestion de la santé et de la sécurité au travail)
- EN1090 (Certification du fabricant)

L'usine fait l'objet d'audites externes réguliers dans le cadre des certifications mentionnées ci-dessus.

La fabrication des Deltabeam fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité (PAQ), voir chapitre 12.2.

De manière succincte les étapes de fabrication de Deltabeam consistent en :

- Découpage des plaques métalliques au plasma ou au gaz suivant leur épaisseur
- Poinçonnement des ouvertures dans les âmes inclinées
- Sablage de la semelle inférieure
- Assemblage des plaques métalliques
- Soudures longitudinales
- Ajout d'éléments supplémentaires (plaques d'extrémités, connexions latérales, coffrages constructifs, retombées, etc.)
- Sablage de la poutre entière
- Traitement anticorrosif dans le tunnel de peinture
- Marquage et stockage intermédiaire

7.2 Contrôles

7.2.1 Contrôle avant fabrication

Toute matière première est contrôlée et inspectée selon la norme EN 10204-3.1.

7.2.2 Contrôle de la résistance du profilé Deltabeam

Le contrôle de la résistance du profilé est vérifié par calcul par le fabricant, conformément aux formules données en annexes suivant les normes NF EN 1990, NF EN 1992, NF EN 1993 et NF EN 1994, puis validée par le client.

7.2.3 Contrôle dimensionnel après fabrication

Le contrôle dimensionnel dans l'usine en Slovaquie respecte la fiche de Déclaration des Performances n°182.1 du groupe Peikko, suivant NF EN 1090-2. Une vérification des caractéristiques dimensionnelles des poutres Deltabeam est réalisée pour chaque poutre.

7.2.4 Marquage

Chaque poutre Deltabeam est identifiée par une étiquette (Figure 9) portant :

- Le nom de l'usine productrice
- La référence du produit par rapport à fiche de fabrication et son plan de pose
- Les agréments techniques
- Le nom du client
- La désignation de la poutre, avec sa longueur, son poids et sa date de fabrication

La certification CE se trouve également sur les poutres Deltabeam (Figure 10).



Figure 9 : Etiquette d'identification Deltabeam

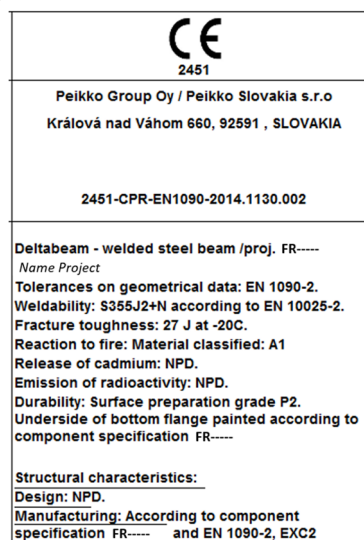


Figure 10 : Etiquette marquage CE Deltabeam

8. Dimensionnement

Les poutres Deltabeam doivent être vérifiées et dimensionnées selon les normes NF EN 1990, NF EN 1991, NF EN 1992, NF EN 1993 et NF EN 1994, en tenant compte des prescriptions particulières complémentaires détaillées en annexes de ce document technique.

La résistance de la connexion entre la poutre métallique et le béton de remplissage est vérifiée en utilisant les valeurs de calcul données dans l'Annexe 8 et l'Annexe 9. Ces valeurs ont été déterminées à partir d'essais push out effectués suivant la norme NF EN 1994-1-1.

Concernant la résistance au feu de Deltabeam, les conditions d'utilisation et les dispositions particulières pour le cas d'incendie sont détaillées à l'Annexe 10 suivant l'appréciation de laboratoire d'incendie du CSTB N°AL 19-247.

Suivant les données d'un projet, les calculs sont effectués par le fabricant des Deltabeam, à l'aide d'un logiciel de dimensionnement dédié aux Deltabeam. Toutes les informations nécessaires au dimensionnement des poutres Deltabeam doivent être communiquées au fabricant (ensemble des charges, y compris les charges provisoires pendant la construction, la

position des poutres, le type de dalles utilisé avec dalle de compression, la position et dimensionnement des inserts ou réservations, les prescriptions particulières suivant les conditions d'utilisation des locaux, les degrés coupe-feu, etc.).

Le fabricant des poutres Deltabeam fournit une note de calcul, un plan d'implantation des Deltabeam avec des détails d'assemblages, nécessitant leur validation par le bureau d'études structure responsable du projet avant leur fabrication en usine.

Les calculs de stabilité de l'ensemble du bâtiment sont du ressort du bureau d'études structure du projet.

9. Durabilité et entretien

La durabilité des planchers avec des poutres Deltabeam (c'est-à-dire plafond exclu) est équivalente à celle des planchers traditionnels en béton armé utilisés dans des conditions comparables. Cependant, les parties exposées des Deltabeam doivent être traitées comme les ossatures métalliques au sens des normes NF EN ISO 12944, NF EN 1090 et NF EN 1461 (Cf point 4 de ce présent document).

Ces planchers ne nécessitent normalement pas d'entretien particulier. A l'exception de locaux humides ou à atmosphère agressive, où un contrôle et un entretien éventuel de la protection de la sous-face de la semelle inférieure de Deltabeam doivent être prévus.

L'entretien doit être apprécié en fonction des protections complémentaires éventuelles.

10. Rôles des intervenants

Parties	Intervenants et responsabilités	
DONNEES DE BASE: - Catégorie de bâtiment - Vues en plan des niveaux avec charges utiles et permanentes - Classe d'exposition, traitement et finition des surfaces - Limites de déformation - Coupe-feu - Toute autre contrainte ou information importante pour le développement de la proposition technique	Définition et transmission aux intervenants concernés : Bureau d'études	PHASE CONCEPTION
Type de poutre, trame, finition de surface	Proposition avec prédimensionnement non engageant : Peikko	
Type de dalle, section du plancher	Proposition avec prédimensionnement non engageant : Préfabriquant	
INFORMATION INITIALE définitive et plan de calepinage	Elaboration, responsabilité et transmission aux fabricants adjudés concernés : Bureau d'études	PHASE EXECUTION
Poutres Deltabeam et leurs détails de connexions (armature transversale, connexions latérales, joints Gerber etc.) : dimensionnement suivant les informations du Bureau d'études (détaillées section 8.1.1)	Note de calcul et responsabilité : Peikko Validation : Bureau d'études	
Poutres Deltabeam : insertion dans le plan de calepinage	Dessin : Peikko Validation et responsabilité : Bureau d'études	
Plancher : dimensionnement des dalles, du diaphragme, chainages et ancrages, plan d'armature. Insertion dans le plan de calepinage ou élaboration d'un plan séparé (exemple : plan d'armature)	Elaboration : Préfabriquant ou Bureau d'études Validation et responsabilité : Bureau d'études	
Poutres Deltabeam : plans de production	Elaboration et responsabilité : Peikko Validation : Bureau d'études	
Dalles préfabriquées : plans de production	Elaboration et responsabilité : Préfabriquant Validation : Bureau d'études	
Dalles coulées sur place : plan de coffrage	Elaboration et responsabilité : Bureau d'études	
Guides techniques, instructions de montage, consignes de sécurité particulières	Responsabilité partie Deltabeam : Peikko Responsabilité partie dalles : Préfabriquant	

Le bureau d'études est responsable du dimensionnement de l'ensemble du bâtiment. La mise en œuvre des Deltabeam est réalisée par une entreprise compétente à partir du plan d'exécution, de tous les éléments et conseils communiqués par le

bureau d'études et les fournisseurs. Lors de la phase de montage, toutes les règles de sécurité et de protection de la santé en vigueur doivent être respectées par cette entreprise.

Les différentes étapes de la conception à la livraison des poutres Deltabeam sont résumées dans l'Annexe 13 de ce présent document.

11. Résultats expérimentaux et études

11.1 Résultats expérimentaux

11.1.1 Phase montage (Poutre métallique seule) :

- [1] Report RTL 0029 : Vertical shear resistance of Deltabeam, Test for steel member of Deltabeam - Université Oulu Finlande – 1996
- [2] BET91744 : Betoni-teräsluottopalkin tyypikokeet – VTT Finlande – 1989
- [3] RTE2318-05 : Load test on Deltabeam – VTT Finlande – 2005

11.1.2 Phase finale (Poutre mixte) :

- [2] BET91744: Betoni-teräsluottopalkin tyypikokeet – VTT Finlande – 1989
- [3] RTE2318-05 : Load test on Deltabeam – VTT Finlande – 2005
- [4] Report RTL 0135 : Evaluation of effective bending stiffness in a cross-section composed of two material components considering flexibility of the connection – 2012
- [5] Report RTL 0129: Long-term SLS test of hollow core decking supported on Deltabeam – Université de Oulu Finlande – 2011
- [6] TR8-2014-DB : Tests of Peikko Deltabeam – Université de Zilina en Slovaquie – 2014
- [7] Report RTL 0019 : Shear tests for Deltabeam – Université de Oulu Finlande – 1996
- [8] EMK-TR 03/2015 & EMK-TR 05/2016 : Experimental Investigation of Deltabeam through 3-point sagging bending tests – Université de Athens en Grèce – 2015 & 2016
- [9] Report RTL 0070 : Push-Out Tests for the web hole of Deltabeam: Preliminary report on the results – Université de Oulu Finlande – 2003
- [10] Report RTL 0070 : Push-Out Tests for the web hole of Deltabeam: Analysis of test results and development of resistance model – Université de Oulu Finlande – 2004
- [11] Comparison of full plastic bending resistance and plastic resistance with strain limitation in Deltabeam composite cross-sections – Université de Oulu Finlande – 2006
- [11'] Document d'accompagnement – Calcul plastique et élasto-plastique – Peikko France – 10.12.2020
- [12] Deltabeam Design specifications for CSTB – Document d'accompagnement – Jan Bujnak – 06.08.2018
- [13] Document d'accompagnement – Rapport RTL0019 – Peikko France – 07.10.2020
- [14] Report RTL 0074 : Flexural Beam Tests for comparing the behaviour of Deltabeam with and without a mechanical shear connection to the concrete slab – Université de Oulu en Finlande – Mars 2004

11.1.3 Phase incendie (Poutre mixte) :

- [15] Report P 802216 A : Fire test of load bearing floor construction – SP Technical Research Institute of Sweden – 27 octobre 2009
- [16] Report P 802216 B : Fire test of load bearing floor construction – SP Technical Research Institute of Sweden – 4 novembre 2009
- [17] Report P 802216 C : Fire test of load bearing floor construction – SP Technical Research Institute of Sweden – 11 novembre 2009
- [18] Report P 802216 D : Fire test of load bearing floor construction – SP Technical Research Institute of Sweden – 18 novembre 2009
- [19] Appréciation de laboratoire N°AL 19-247 (référence 26078493) : Analyse de l'interaction entre la poutre Deltabeam et les différents types de dalles en béton armé (planchers mixtes) en situations d'incendie – CSTB – 04 mai 2020

12. Références

12.1 Données environnementales et sanitaires

Ce procédé fait l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

Cette fiche, identifiée « RTS EPD No.10 Deltabeam », a été établie le 28.08.2017 par Building Information Foundation RTS.

12.2 Plan d'assurance Qualité de Fabrication

Deltabeam possède un Plan d'Assurance Qualité de Fabrication, révisé le 30.08.2016.

12.3 Fiche de Déclaration des Performances

Deltabeam fait l'objet d'une Fiche de Déclaration des Performances, numéro 182.1, établie en 03.01.2017, par le groupe Peikko.

12.4 Autres références

Depuis 1989, les poutres Deltabeam ont été utilisées dans plus de 11 000 projets et dans plus de 35 pays.

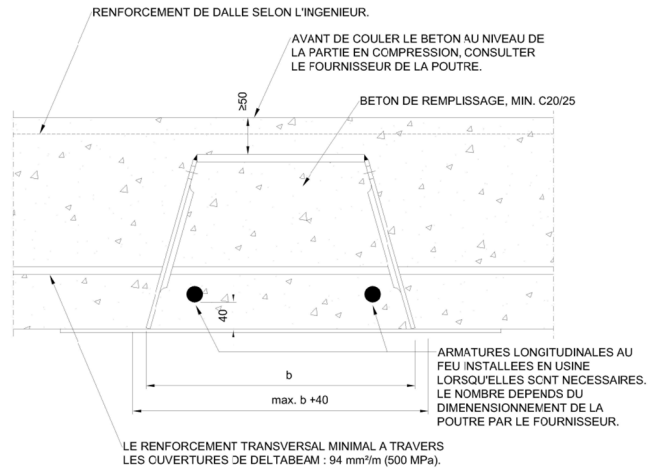
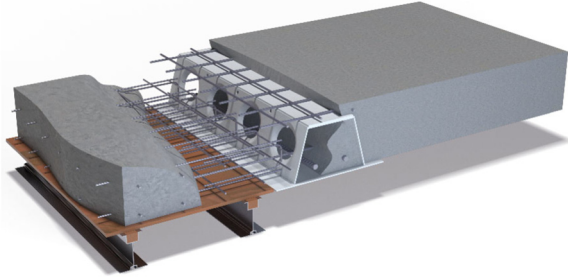
Les poutres Deltabeam bénéficient des agréments techniques suivants :

- Finlande : VTT-RTH-03040-07
- Allemagne : Z-26.2-49
- Angleterre : BBA 05/4204
- Russie : POCC FI.Сл19.H00323
- République Tchèque : 204/C5/2006/060-025293
- Slovaquie : TO-0/0021

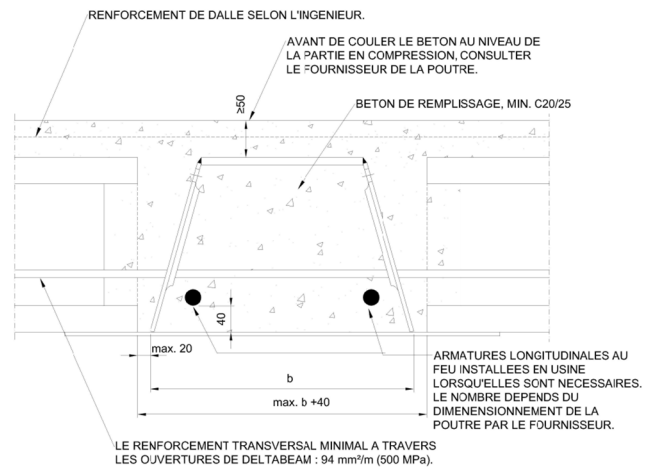
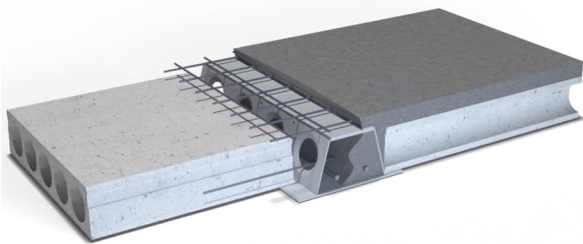
Annexes

Annexe 1 : Deltabeam

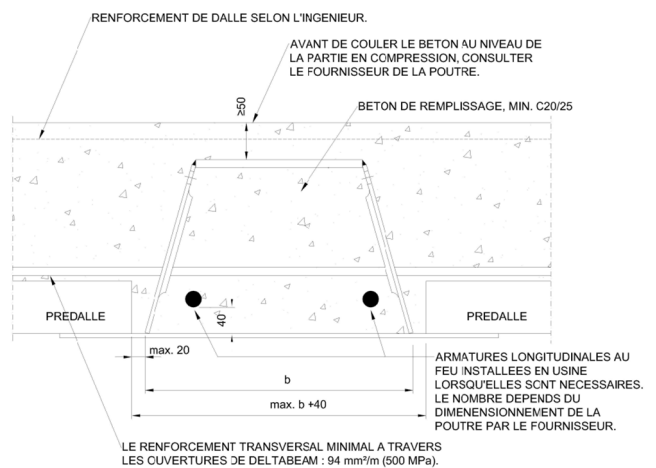
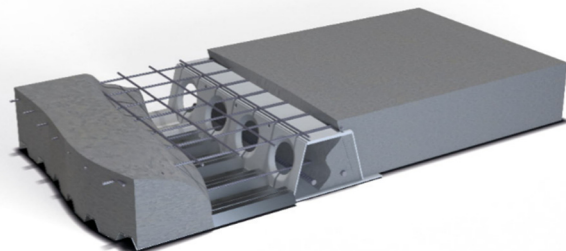
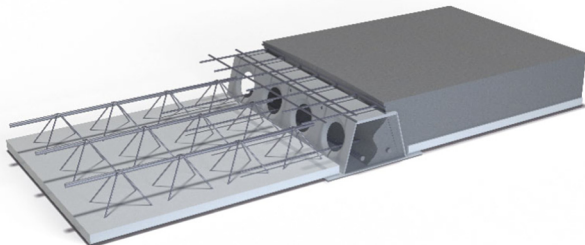
Planchers coulés en place :



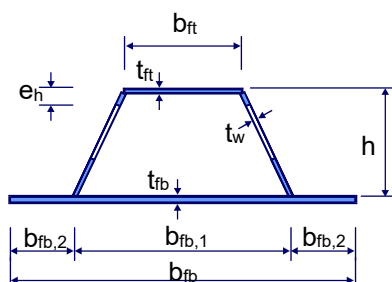
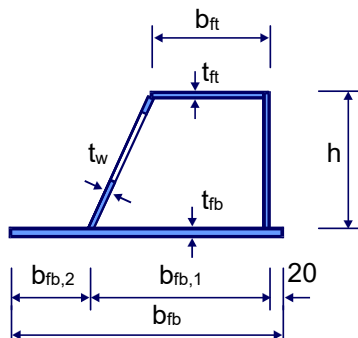
Planchers alvéolés :



Planchers semi-préfabriqués (prédalle béton, bac collaborant) :



Annexe 2 : Caractéristiques des profilés Deltabeam standards

	Deltabeam		$b_{fb,1}$	$b_{fb,2}$	b_{ft}	t_{ft} t_{fb}	h	d_h	e_h
	Type		mm						
<u>Deltabeam Intermédiaire</u> 	1	D20-200	200	100 à 130	100	$t_{fb} = 5 \text{ à } 30, t_{ft} = 10 \text{ à } 60$	200	80	~60
	2	D20-300	300		180				
	3	D20-400	400		278				
	4	D22-300	300		170		220	80	
	5	D22-400	400		270				
	6	D25-300	300		155		250	80	
	7	D25-400	400		255				
	8	D26-300	300		148		265	150	
	9	D26-400	400		245				
	10	D30-300	300		130		300	150	
	11	D30-400	400		230				
	12	D32-300	300		110		320	150	
	13	D32-400	400		210				
	14	D37-400	400		180		370	150	
	15	D37-500	500		280				
	16	D40-400	400		180		400	150	
	17	D40-500	500		278				
	18	D50-500	500		230		500	150	
	19	D50-600	600		330				
<u>Deltabeam de rive</u> 	20	DR20-215	215	100 à 130	148	$t_{fb} = 5 \text{ à } 30, t_{ft} = 10 \text{ à } 60$	200	80	~60
	21	DR20-245	245		180				
	22	DR22-250	250		180				
	23	DR25-260	260		180		250	80	
	24	DR26-230	230		148				
	25	DR26-260	260		180		265	150	
	26	DR26-290	290		210				
	27	DR26-325	325		245				
	28	DR30-270	270		180		300	150	
	29	DR32-250	250		148				
	30	DR32-285	285		180		320	150	
	31	DR32-310	310		210				
	32	DR37-325	325		210		370	150	
	33	DR40-295	295		180				
	23	DR50-b	$b^1)$		$b^1)$		500		

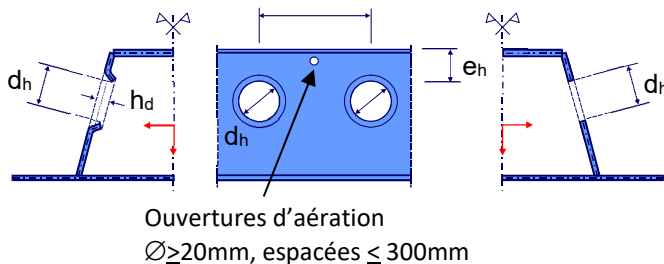
¹⁾ Conçu au cas par cas

¹⁾ Conçu au cas par cas

Type d'ouverture (DL)

$d_h = 80\text{mm}$, $h_d \approx 13\text{mm}$
 $d_h = 150\text{mm}$, $h_d \approx 15\text{mm}$

Epaisseur des âmes :
 $5\text{mm} \leq t_w \leq 8\text{mm}$



Type d'ouverture (NL)

$d_h = 80\text{mm}$
 $d_h = 150\text{mm}$

Epaisseur des âmes :
 $5\text{mm} \leq t_w \leq 12\text{mm}$

1. Phase montage

Deltabeam est calculée selon la norme NF EN 1993-1-1, avec un comportement élastique, en considérant une poutre métallique supportant à l'aide de sa semelle inférieure les dalles en béton.

La poutre Deltabeam est donc sollicitée principalement par des efforts de flexion et de torsion longitudinaux, alors que sa semelle inférieure doit résister à des efforts supplémentaires dus à une flexion transversale. L'état de contrainte dans la semelle inférieure est donc vérifié par :

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (1)$$

Où

σ_x : est la contrainte normale due à la flexion longitudinale

σ_y : est la contrainte normale due à la flexion transversale

τ : est la contrainte de cisaillement due à la torsion

La classification de la section transversale pour la phase montage est suivant la norme NF EN 1993-1-1 tableau 5.2.

2. Phase finale

La phase finale correspond au moment où l'action mixte entre la poutre Deltabeam et le béton de remplissage est atteinte. Cette action mixte est développée à travers une connexion de cisaillement, fournie par les ouvertures des âmes, une fois que le béton de remplissage a durci (Annexe 1) :

- Pour les poutres Deltabeam utilisées avec des dalles alvéolées, la largeur efficace correspond à celle du remplissage béton (b_{co}). Concernant l'action mixte entre la poutre et la dalle de compression au-dessus de Deltabeam, elle peut être assurée que si une connexion mécanique adéquate est prévue.
- Pour les poutres Deltabeam utilisées avec des dalles préfabriquées ou coulées en place, la largeur efficace de la poutre est déterminée conformément à 5.4.1.2 (5) NF EN 1994-1-1.

2.1 Résistance à la flexion

La résistance à la flexion de la section mixte, notée $M_{e,pl,Rd}$, est déterminée selon la méthode élasto-plastique spécifiée dans le paragraphe 6.2.1.4 de la norme NF EN 1994-1-1. Il est supposé, dans ce calcul, une interaction complète entre l'acier et le béton et une réduction de la limite d'élasticité de la semelle inférieure à l'aide des coefficients $\alpha_{m,1}$ et $\alpha_{m,2}$, afin de considérer l'effet de la flexion transversale sur la semelle inférieure.

Le moment $M_{e,pl,Rd}$ est calculé par itération avec le logiciel Peikko en tenant compte de la limitation de la déformation ultime du béton en compression ($\epsilon_{cu} = 0,35\%$). Le moment élasto-plastique $M_{e,pl,Rd}$ est toujours inférieur au moment plastique $M_{pl,Rd}$ suivant le paragraphe 6.2.1.2 de la norme NF EN 1994-1-1 [11].

La comparaison entre la méthode élasto-plastique et la méthode plastique pour les poutres Deltabeam est donnée dans le rapport [11].

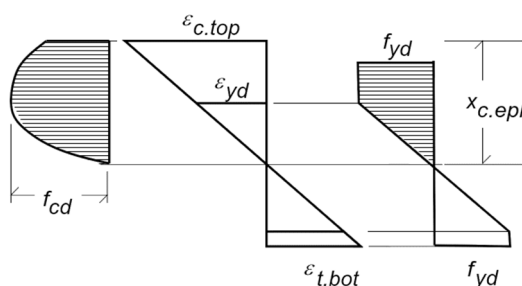


Figure 11 : Principe de distribution des contraintes-déformations pour le moment élasto-plastique

La classification de la section transversale pour la phase finale est suivant le tableau de l'Annexe 6. Les épaisseurs des plaques sont dimensionnées afin de garantir une classification en classe 2 selon l'Annexe 6.

2.2 Résistance au cisaillement vertical

La résistance au cisaillement de la poutre mixte est vérifiée par le modèle des bielles-tirants, où l'action des bielles est développée par le béton de remplissage à l'intérieur de la poutre Deltabeam et les tirants par les âmes métalliques de cette dernière. L'interaction entre les tirants et les bielles est assurée par l'appui des bielles sur la semelle inférieure proche des âmes de la poutre.

La résistance maximale des bielles s'exprime par :

$$V_{Rd,max} = \cos \theta \cdot \frac{z}{s_h} \cdot D_c \quad (2)$$

Où

$\cos \theta = 0.7$ avec $\theta = 45^\circ$

z : est le bras de levier interne, déterminé comme :

$$z = z_a \left[1 - \frac{\Delta N_c}{\Delta N_{a,bf}} \left(1 - \frac{z_c}{z_a} \right) \right] \quad (3)$$

$$z_a = h_a - 0,5 (t_{ft} + t_{fb}) \quad (4)$$

$$z_c = z_a - 0,5 \cdot z_{pl} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta N_c}{\Delta N_{a,bf}} = \frac{A_{c,pl} \cdot f_{cd}}{2 \cdot b_{fb} \cdot t_{fb,2} \cdot f_{yd,2} + b_{fb,1} \cdot t_{fb,1} \cdot f_{yd,1}} \quad (6)$$

Avec : $A_{c,pl}$: est l'aire du béton comprimé dans la poutre mixte

S_h : est l'espacement longitudinal des ouvertures dans les âmes

D_c : est la résistance en compression de la bielle, $D_c = k \cdot b_w \cdot d_c \cdot f_{cd}$, avec :

$d_c = \sin \theta$, s_h : est la hauteur de la bielle

b_w : est la largeur de la bielle (Annexe 8)

k : est le coefficient prenant en compte l'augmentation de la résistance en compression pour un béton confiné, $k=3$

La résistance minimale du modèle des bielles-tirants est donnée par la résistance à la traction de l'âme entre les ouvertures, telle que :

$$V_{Rd,max} \leq V_{Rd,sy} = 2 \cdot (S_h - d_h) \cdot t_w \cdot f_{yd} \quad (7)$$

La résistance au cisaillement de la poutre métallique à travers les ouvertures est déterminée par :

$$V_{Rd,a} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(h - \frac{t_{ft}}{2} - d_h \cdot \sin \beta \right) \cdot t_w \cdot f_{yd} \quad (8)$$

La résistance au cisaillement vertical de la poutre mixte est donc :

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd,max} ; V_{Rd,a}) \quad (9)$$

La résistance au cisaillement vertical des poutres Deltabeam a été démontrée dans les essais [6] et [7] et le calcul du cisaillement vertical pour le rapport [7] est donné dans le document complémentaire [13].

2.3 Résistance au cisaillement longitudinal

L'interaction entre l'acier et le béton est assurée par les ouvertures des âmes de la poutre Deltabeam, qui développe une résistance au cisaillement longitudinal grâce à la présence du béton de remplissage à travers ces ouvertures. Cette résistance peut être augmentée en utilisant des barres d'armatures transversales supplémentaires traversant les ouvertures de l'âme.

La résistance d'une paire d'âmes non renforcée par des armatures transversales ($P_{c,Rd}$) est résumée à l'Annexe 9.

La résistance supplémentaire fournie par les armatures transversales ($P_{s,Rd}$) est donnée dans l'Annexe 9, avec :

$$P_{Rd,ges} = P_{c,Rd} + P_{s,Rd} \quad (10)$$

Les résistances nominales des ouvertures au cisaillement longitudinal données à l'Annexe 9 ont été vérifiées par des essais push-out [10] et calculées dans le document d'accompagnement [12].

La longueur d'ancrage des armatures transversales doit être déterminée conformément au point 8.4 de la norme NF EN 1992-1-1. L'efficacité des barres transversales peut être réduite en raison de contraintes axiales supplémentaires σ_s résultant d'autres actions structurales. Cette réduction est appliquée à l'aide d'un facteur ξ en conformité avec Annexe 9.

3. Phase en situation d'incendie

Le procédé bénéficie d'une appréciation de laboratoire d'incendie établis par le CSTB n°AL19-247. L'appréciation de laboratoire conclue que la stabilité du plancher avec une poutre Deltabeam est assurée pendant 90 minutes d'exposition au feu, à condition que les dispositions particulières résumées à l'Annexe 10 soient respectées.

En phase de montage, les déformations de la poutre Deltabeam sont vérifiées selon les principes de la théorie élastique. Dans la phase finale, l'analyse globale de la poutre doit être effectuée en tenant en compte de l'effet du béton fissuré.

1. Flèche

Le calcul de la flèche doit être effectué en considérant l'effet de fluage et de retrait, ainsi que du chargement de la poutre. Les effets de fluage et de retrait doivent être pris en compte conformément aux principes de la norme NF EN 1994-1-1 part 5.4.2.2. La largeur effective utilisée pour calculer la rigidité en flexion du Deltabeam est déterminée conformément à l'Annexe 11 de telle sorte que :

- Elle est égale à la largeur b_v du béton de remplissage pour les poutres Deltabeam utilisées avec des dalles alvéolées
- Elle est égale à la largeur b_v de la semelle inférieure pour les poutres Deltabeam utilisées avec d'autres types de dalles sans armatures transversales traversant les ouvertures des âmes de Deltabeam.
- Elle est égale à la largeur de la poutre selon EN 1994-1-1 pour les poutres Deltabeam utilisées avec d'autres types de dalles avec des barres d'armatures transversales traversant les ouvertures des âmes de Deltabeam.

2. Contrôle de la fissuration

La quantité minimale d'armature dans la dalle béton au-dessus de la poutre Deltabeam, destinée à limiter la fissuration, est conçue conformément à la norme NF EN 1992-1-1 partie 7.3, avec la résistance à la traction N_c :

$$N_c = k \cdot f_{ct,eff} \cdot h_{ct} \quad (13)$$

Où

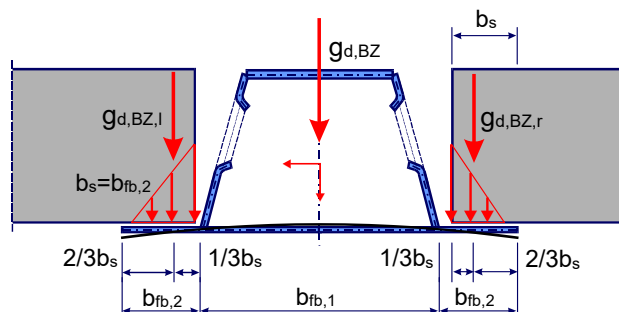
$k = 0,8$

h_{ct} : est la hauteur de la dalle au-dessus de Deltabeam

$f_{ct,eff}$: est la résistance à la traction du béton déterminée selon EN 1992-1-1

Annexe 5 : Limite d'élasticité de la semelle inférieure réduite par la flexion transversale

- a) Coefficient réducteur $\alpha_{m,1}$ de la limite d'élasticité de la semelle inférieure dans la zone $b_{fb,1}$ pour les vérifications de la phase finale, dû à la flexion transversale de la semelle en phase de montage (BZ) :

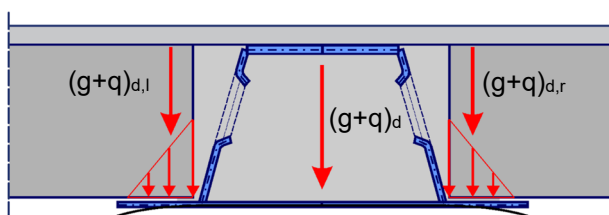


$$m_{Ed,i} = g_{d,BZ,i} (b_{fb,2} - 2/3 b_s) \text{ [kNm/m]}$$

$$m_{pld,q} = f_{yd} t_{fb}^2 L / 4, \tau_{Ed} = (m_{Ed,r} - m_{Ed,i}) / (b_{fb,1} t_{fb} L) \text{ avec } L = 1,0\text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_{m,1} \text{ selon le diagramme d'interaction, } f_{yd,eff,1} = \alpha_{m,1} f_{yd}$$

- b) Coefficient réducteur $\alpha_{m,2}$ de la limite d'élasticité de la semelle inférieure dans la zone $b_{fb,2}$ pour les vérifications de la phase finale, dû à la flexion transversale de la semelle en phase finale (EZ) :



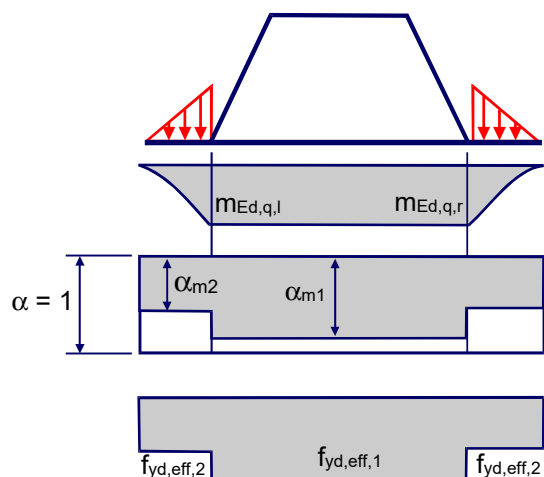
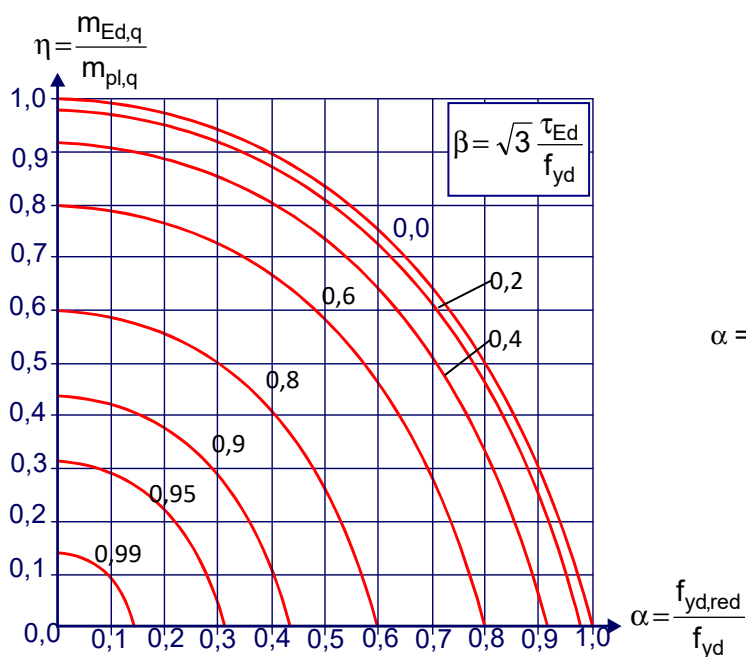
$$m_{Ed,q,i} = (g+q)_{d,i} 1/3 b_{fb,2} \text{ [kNm/m]}$$

$$m_{pld,q} = f_{yd} t_{fb}^2 L / 4 \text{ avec } L = 1,0\text{m}$$

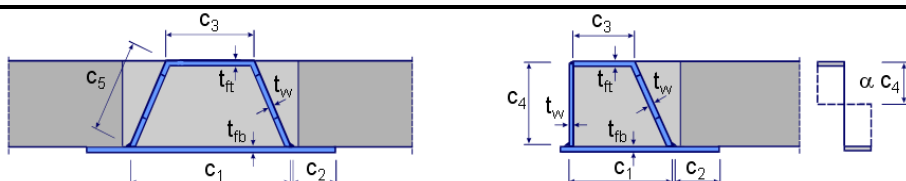
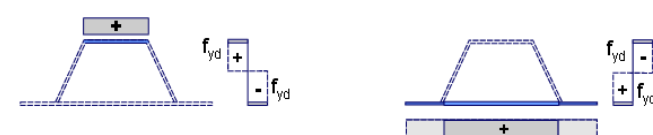
$$\tau_{Ed} = (g+q)_{d,i} / t_{fb}$$

$$\Rightarrow \alpha_2 \text{ selon le diagramme d'interaction}$$

$$f_{yd,eff,2} = f_{yd} (0,75 + 0,25 \alpha_2)$$



Limite d'élasticité de la semelle inférieure utilisée pour le calcul de la résistance au moment flexionnel

Rapports c/t maximaux pour les sections comprimées de la poutre à la phase finale						
						
Distributions des contraintes		Positive			Négative	
Compression positive (+)		Résistance du moment				
Classe 2						
		$c_1 / t_{fb} \text{ ou } c_3 / t_{ft} < 52 \varepsilon$				
		$c_4 / t_w < \begin{cases} \text{Pour } \alpha > 0,5: 456\varepsilon / (13\alpha - 1) \\ \text{Pour } \alpha \leq 0,5: 41.5\varepsilon / \alpha \end{cases}$				
		$c_2 / t_{fb} < 14 \varepsilon$				
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Pour la phase finale, la classification de la section transversale de Deltabeam s'effectue selon la classe 2. Les épaisseurs des plaques sont dimensionnées afin de garantir une section en classe 2. Concernant le risque de voilement local, il est évité grâce au béton environnant de part et d'autre de la poutre Deltabeam.

Les valeurs c_1 et c_3 sont conformes au tableau 6.3 de l'Eurocode 4. La valeur c_2 est conforme au tableau 5.2 de l'Eurocode 4. Pour la valeur c_4 , elle est conforme au tableau 5.2 de l'Eurocode 3 puisque que l'âme verticale n'est que partiellement enrobée de béton.

Annexe 8 : Largeur efficace b_w de la bielle en béton d'une poutre intermédiaire

Largeur efficace b_w de la bielle [mm]								
Profilé	Béton	Epaisseur de la semelle inférieure t_{fb} , où $t_{ft} > t_{fb}$						
		5 / 6	8	10	12	15	20	≥ 25
D20-200	C35/45	35	41	46	50	59	89	90
	C30/37	37	42	47	53	63	90	90
	C25/30	38	44	56	57	75	90	90
	C20/25	39	49	59	72	88	90	90
D20-300	C35/45	35	40	45	50	61	94	107
	C30/37	35	41	46	53	63	96	118
	C25/30	42	43	49	58	75	101	120
	C20/25	43	45	61	70	81	107	122
D20-400	C35/45	36	40	44	48	59	88	104
	C30/37	36	41	46	59	80	95	106
	C25/30	42	42	50	72	82	97	108
	C20/25	44	59	72	81	90	111	123
D26-300	C35/45	40	43	47	60	61	65	67
	C30/37	39	45	50	62	71	84	88
	C25/30	41	46	50	66	72	92	100
	C20/25	45	56	61	68	76	104	114
D26-400	C35/45	39	45	47	61	58	78	93
	C30/37	43	46	54	62	68	82	98
	C25/30	44	47	54	64	69	86	101
	C20/25	47	52	59	67	77	97	120
D32-300	C35/45	37	46	49	51	60	73	87
	C30/37	41	51	54	54	67	77	101
	C25/30	43	52	54	56	74	88	106
	C20/25	50	56	68	78	80	99	109
D32-400	C35/45	38	49	55	58	61	84	96
	C30/37	44	52	54	59	79	84	104
	C25/30	48	52	62	69	80	92	106
	C20/25	52	61	63	72	81	100	119
D37-400	C35/45	44	50	53	58	66	72	91
	C30/37	45	52	61	63	66	76	97
	C25/30	47	56	61	64	70	74	101
	C20/25	55	58	66	69	85	99	114
D37-500	C35/45	38	53	57	62	62	73	101
	C30/37	47	56	62	61	66	83	89
	C25/30	53	58	62	59	68	91	110
	C20/25	52	59	64	84	86	100	120
D40-400	C35/45	41	49	57	59	67	77	92
	C30/37	42	52	63	65	68	80	94
	C25/30	48	58	65	66	72	81	102
	C20/25	53	63	72	74	88	106	121
D40-500	C35/45	46	47	61	66	67	78	91
	C30/37	48	56	64	69	71	84	96
	C25/30	55	57	64	70	72	85	112
	C20/25	64	65	67	74	85	92	116
D50-500	C35/45	43	54	62	69	71	82	89
	C30/37	45	62	68	73	79	90	97
	C25/30	46	63	73	74	83	97	107
	C20/25	54	72	85	88	92	99	112
D50-600	C35/45	36	49	49	51	58	70	74
	C30/37	36	51	57	58	67	74	79
	C25/30	47	51	59	65	67	75	80
	C20/25	49	59	69	75	76	81	96

Annexe 9 : Résistance des ouvertures sans et avec des renforcements transversaux

a) Valeur de calcul de la résistance $P_{c,Rd}$ pour une paire d'ouverture :

Type d'ouverture	DL		NL	
Diamètre des ouvertures d_h [mm]	80	150	75	150
Classe du béton	kN	kN	kN	kN
C 20/25	145	205	98	115
C 25/35	160	230	105	115
C 30/37	168	250	105	115
$\geq$ C 35/45	175	265	105	115
Avec $\gamma_v = 1,25$				
Les valeurs sont divisées par deux pour les poutres de rives				

b) Valeur de calcul de résistance $P_{s,Rd}$ pour une barre traversant l'ouverture :

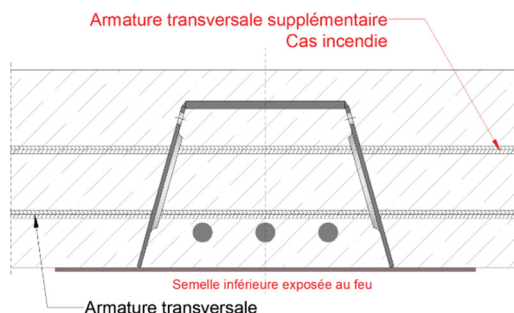
ξ	$\emptyset$	Classe du béton			
		C 20/25	C25/30	C30/37	$\geq$ C35/45
0,0	12	10,0	11,0	12,0	13,0
	16	17,0	20,0	22,0	23,0
	20	28,0	31,0	34,0	37,0
	25	35,0	39,0	42,0	46,0
0,1	12	10,0	11,0	12,0	13,0
	16	17,0	19,0	21,0	23,0
	20	27,0	31,0	34,0	36,0
	25	34,0	39,0	42,0	46,0
0,2	12	9,0	11,0	12,0	13,0
	16	17,0	19,0	21,0	23,0
	20	27,0	30,0	33,0	36,0
	25	34,0	38,0	42,0	45,0
0,3	12	9,0	10,0	11,0	12,0
	16	17,0	19,0	20,0	22,0
	20	26,0	29,0	32,0	35,0
	25	33,0	37,0	41,0	44,0
0,4	12	9,0	10,0	11,0	12,0
	16	16,0	18,0	20,0	21,0
	20	25,0	28,0	31,0	34,0
	25	32,0	35,0	39,0	42,0
0,5	12	8,0	9,0	10,0	11,0
	16	15,0	17,0	19,0	20,0
	20	24,0	27,0	29,0	32,0
	25	30,0	33,0	37,0	40,0
0,6	12	8,0	9,0	9,0	10,0
	16	14,0	16,0	17,0	19,0
	20	22,0	25,0	27,0	29,0
	25	28,0	31,0	34,0	37,0
0,7	12	7,0	8,0	8,0	9,0
	16	12,0	14,0	15,0	16,0
	20	20,0	22,0	24,0	26,0
	25	25,0	28,0	30,0	33,0

Annexe 10 : Transfert des charges entre les dalles et la poutre en situation d'incendie

- Configuration avec des dalles coulées en place ou des prédalles :

Dans le cas des poutres Deltabeam avec des dalles coulées en place ou des prédalles en situation d'incendie, la semelle inférieure non protégée de Deltabeam voit ses propriétés mécaniques se dégrader en fonction de la température. Le transfert des efforts entre les dalles et la poutre est par conséquent assuré uniquement par le béton de remplissage traversant les ouvertures de Deltabeam et s'ancrant dans les dalles de part et d'autre de la poutre. Pour renforcer ce transfert indirect, des armatures transversales supplémentaires en partie haute des ouvertures de Deltabeam doivent être mises en œuvre.

Les exigences concernant ces armatures sont données dans le tableau de cette annexe en fonction des dimensions du plancher et de la résistance au feu souhaitée, conformément aux recommandations de l'appréciation du laboratoire incendie du CSTB, N°AL 19-247.



Dans le cas où les semelles inférieures de Deltabeam sont protégées par une protection passive sous PV, le transfert direct des efforts est maintenu. Par conséquent, le dimensionnement des poutres s'effectue seulement en phases montage et finale, avec la mise en place uniquement des armatures transversales en partie basse des ouvertures (décrites au paragraphe 6.7 et à l'Annexe 1).

Armatures transversales supplémentaires en cas d'incendie (selon l'appréciation du laboratoire incendie CSTB, N°AL 19-247)			
Type de DELTABEAM (D ou DR)	Portée des dalles	R30 à R90	> 90 min
D20 à D25 avec ouverture 80 mm	Dalles ≤ 6m	Barres transversales HA14 positionnées à 14 mm d'enrobage à partir de la face supérieure de l'ouverture ¹	Mise en place d'une protection passive sous PV ²
	Dalles > 6m	Mise en place d'une protection passive sous PV ²	Mise en place d'une protection passive sous PV ²
D25 à D50 avec ouverture 150 mm	Dalles ≤ 8m	Barres transversales HA25 positionnées à 25 mm d'enrobage à partir de la face supérieure de l'ouverture ¹	Mise en place d'une protection passive sous PV ²
	Dalles > 8m	Mise en place d'une protection passive sous PV ²	Mise en place d'une protection passive sous PV ²

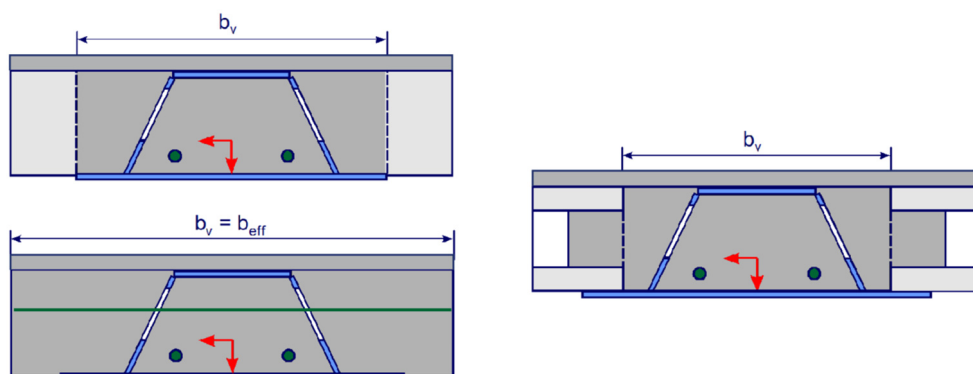
¹ Armature dans chaque ouverture de Deltabeam (ou ferrailage similaire) et béton de remplissage au moins en C30/37.

² Choisir une protection passive sous PV pour protéger la semelle inférieure métallique de Deltabeam en situation d'incendie (solution passive faisant l'objet d'une appréciation technique distincte non couvert par ce présent document).
Par exemple l'utilisation des solutions passives sous PV à base de panneaux en laine de roche pour les structures métalliques.

- **Configuration avec dalles alvéolées :**

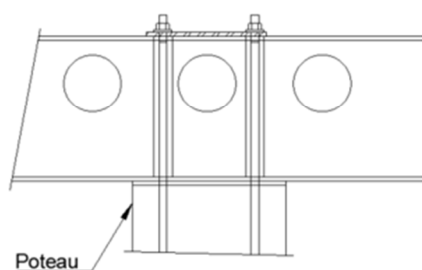
Dans le cas où les Deltabeam sont utilisées avec des dalles alvéolées en situation d'incendie, la semelle inférieure des poutres doit être protégée par une protection passive bénéficiant d'un Procès-Verbal de classement de résistance au feu valide, quelle que soit la configuration du plancher et la résistance au feu exigée. Ainsi, le dimensionnement des poutres s'effectue seulement en phases montage et finale, avec la mise en place uniquement des armatures transversales en partie basse des ouvertures (décrites au paragraphe 6.7 et à l'Annexe 1).

Annexe 11 : Largeur efficace pour les vérifications aux ELS

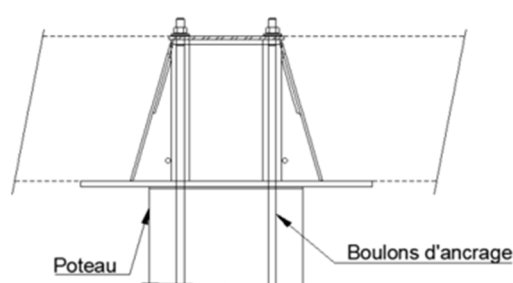


Annexe 12 : Liaisons Deltabeam-Support

Appui de la poutre en tête de poteau
et assemblage entre poutres



Appui de la poutre en tête
de poteau



L'assemblage sur poteaux s'effectue à l'aide de boulons d'ancrage en acier HA dont l'armature est de type B500B selon la norme NF EN 10080.

