

Introduction

1. Introduction

Dans le but de pourvoir un maximum de flexibilité et d'ergonomie d'un bâtiment, les constructeurs utilisent de plus en plus des poutres avec d'importantes portées. En contrepartie cela requiert généralement des profilés de grande hauteur, ajoutée à l'épaisseur de plancher nécessaire au passage de services, on se retrouve souvent avec une importante hauteur d'étage. La solution a donc été de concevoir des poutres avec des trous isolés ou uniformément répartis, permettant le passage des conduits à travers l'âme sans trop réduire la résistance à la flexion de la poutre.

De nombreuses études ont déjà pu être menées afin de comprendre et d'analyser l'impact de ces ouvertures sur la résistance de la poutre. Notamment, Redwood a été un des premiers auteurs à proposer un modèle de calcul de ces poutres à l'état limite ultime [1]. Ses travaux ont mis en avant le phénomène de flexion Vierendeel, propre aux poutres échelles, modèle de calcul analytique, que l'on a adapté aux poutres munies de larges ouvertures. En effet, ces poutres présentent deux modes de ruines particuliers en plus de ceux inhérent à toutes poutres standards : la formation de 4 rotules plastiques autour de l'ouverture par flexion Vierendeel et le flambement du montant intermédiaire (dans le cas d'une poutre alvéolaire).

Aujourd'hui, le développement de la conception de ces poutres avec les poutres cellulaires a permis de leur donner un aspect esthétique. La dernière forme aujourd'hui développée en tant que poutre cellulaire à partir de profilés laminés à chaud est celle de la poutre Angelina TM, poutre cellulaire à ouverture sinusoidale.

Cette forme innovante, outre son avantage esthétique certain, permet d'obtenir avec un seul trait de découpe du profilé initial, des gammes de taille d'ouverture plus grandes que pour les ouvertures circulaires.



Figure 1. 1. Poutres AngelinaTM

2. Généralités sur les poutres en acier avec ouvertures dans l'âme

Dans les planchers des bâtiments modernes, les poutres comportant des ouvertures dans l'âme sont généralement utilisées dans le but de permettre le passage de conduites (eau, chauffage, ventilation etc.) sous le plafond d'un bâtiment ou d'une halle en gagnant ainsi de la hauteur sous plafond (figure 1.2).

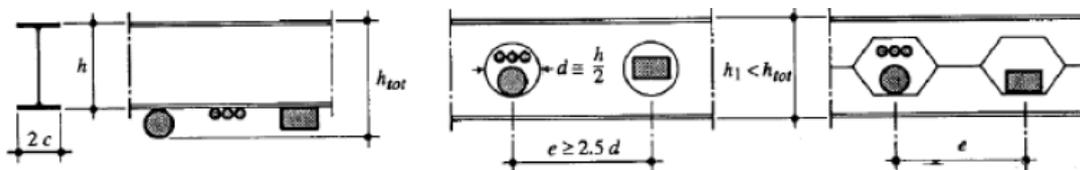


Figure 1. 2. Avantage de la présence des ouvertures dans l'âme

Pour les poutres reconstituées, il est courant de découper des ouvertures aux emplacements nécessaires et de préférence avec un espacement suffisant pour éviter les effets de l'interaction entre les ouvertures

(Figure 1.3).



Figure 1. 3. Poutres reconstituées munies d'ouvertures isolées de la forme variées.

Les âmes des poutres ajourées comportent des ouvertures réparties le long de la poutre (figure 1.4). Selon la géométrie des ouvertures, on distingue :

- les poutres alvéolaires, dont les ouvertures sont à nid d'abeilles ou polygonales;
- les poutres cellulaires, dont les ouvertures sont circulaires ou arrondies;
- plus rarement des poutres ajourées avec ouvertures rectangulaires ou allongées (oblongues).

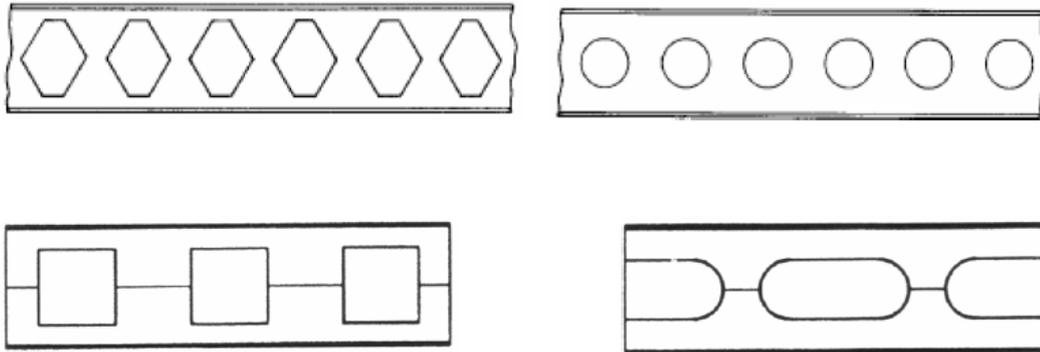


Figure 1. 4. Poutres ajourées

Récemment, ArcelorMittal a développé une poutrelle Cellulaire architecturale caractérisée par de plus grandes ouvertures en forme d'œil baptisée poutre Angelina (voir figure 1.5) et une grande portée qui peut aller jusqu'à 17 m. Elle a été conçue pour répondre à une proposition faite par l'architecte Claude Vasconi . Dotés de larges ouvertures pour le passage des câbles, elle offre une nouvelle dimension architecturale.



Figure 1. 5 . Poutre Angelina

Les poutres ajourées peuvent être fabriquées soit par découpage au chalumeau de profilés laminés et par reconstitution d'une section de plus grande hauteur, avec éventuellement soudure de plaques intercalaires (c'est le cas des ouvertures octogonales par exemple); soit par poinçonnage et oxycoupage de l'âme. Les programmes de découpe sont pilotés numériquement afin d'assurer un ajustement parfait des alvéoles (figure 1.6). La fabrication en parallèle de poutres permet de réduire les coûts de production.



Figure 1. 6. Oxycoupage du profilé de base, séparation et soudage des deux parties

Cette technique permet de fournir des :

- poutrelles à ouvertures circulaires ou hexagonales;
- poutrelles cintrées ou contre fléchées;
- sections dissymétriques pour des applications mixtes ;
- sections plus hautes en ajoutant des plats intercalaires entre les pièces T (figure. 1.6).

Les poutres ajourées offrent une infinité de combinaisons possibles. A partir d'un ou deux profilés de base, il existe une multitude de configurations géométriques en termes de diamètres, d'entraxes et d'ouvertures. De nombreux avantages pour les planchers et supports de toiture :

- Optimiser la matière : en effet pour une même quantité de matière qu'un profilé laminé, on obtient une hauteur statique et une rigidité plus élevées. Pour une même masse, le moment d'inertie est supérieur de 50 à 60% à celui du profilé laminé de base. Ceci réduit fortement le coût des constructions, y compris le coût par rapport au treillis.
- Aspect aérien des poutrelles ajourées, allié à leur forte résistance, offrent aux architectes des solutions attractives et pratiques en termes d'aménagement de l'espace sans effet d'écran. En effet, l'utilisation des poutres ajourées

comme éléments de couverture permet de franchir des portées importantes avoisinant 40 mètres. Dans le cas des poutres supportant les planchers de bâtiment, cette solution autorise de grands plateaux libres sur une distance pouvant aller jusqu'à 18 mètres. L'épaisseur totale du plancher est inférieure de 25 à 40 cm par rapport à des solutions lourdes conventionnelles.

- Rapidité de montage en toute sécurité.

3. Géométrie

Nous adoptons les notations de l'Annexe N de l'Eurocode 3, comme illustrée sur la figure 1.7.

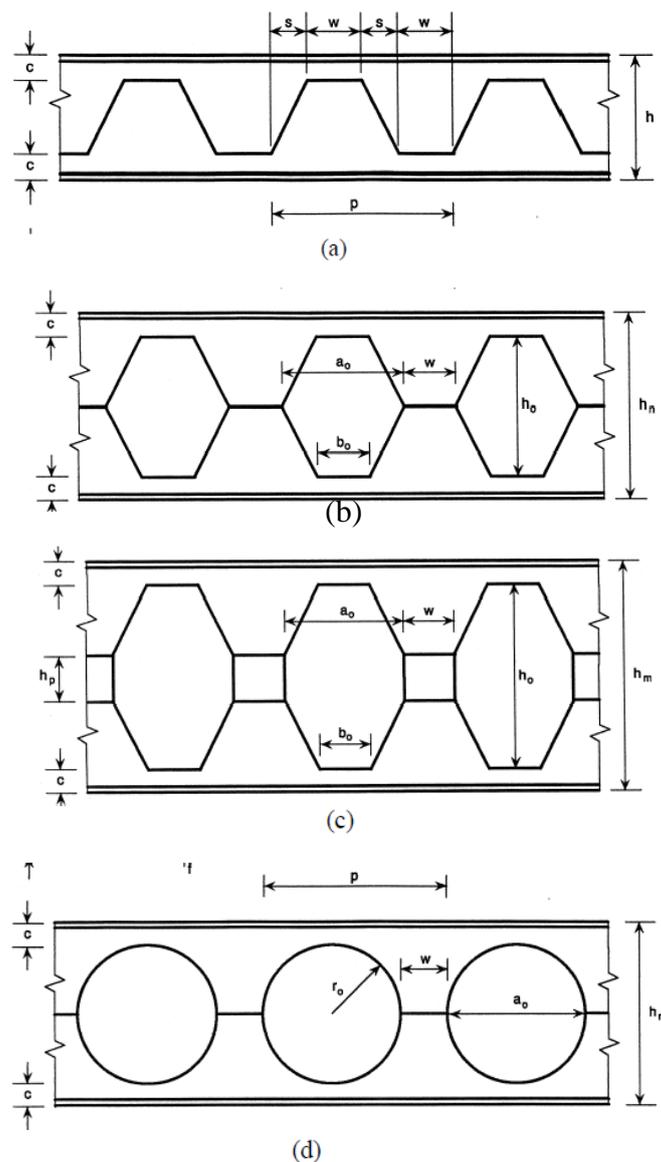


Figure 1. 7. Géométrie des poutres ajourées

Par analogie avec une poutre treillis, on désigne par montants d'âme les portions d'âme situées entre deux évidements. Les parties de la poutre situées de part et d'autre d'un même évidement sont appelées Tés supérieur et inférieur. Les détails des Tés et des montants d'âme sont indiqués sur la (Figure 1.8).

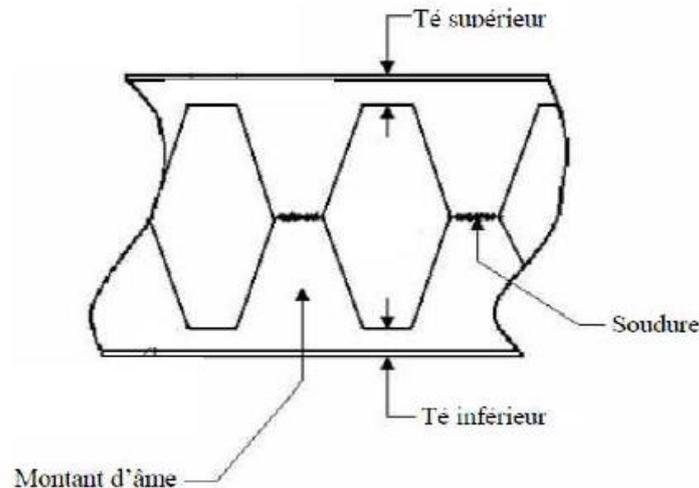


Figure 1. 8. Tés et montants d'âme

Dans ce contexte, nous avons utilisé le logiciel Cast3m pour étudier le comportement des poutres métalliques cellulaires dans le domaine plastique. Le logiciel Cast3m qui utilise la méthode des éléments finis a été développé par le Commissariat à l'Energie Atomique de France (CEA). Nous avons utilisé dans notre étude un modèle tridimensionnel en éléments coques à 4 nœuds.

4. Objectifs du mémoire

La présence des ouvertures dans une poutre modifie son comportement. Par conséquent, la conception de telles poutres a besoin d'un traitement spécial, afin de respecter les conditions de résistance.

Dans le travail présenté, des informations sur le comportement, l'analyse et la conception des poutres métalliques qui contiennent des ouvertures régulières de formes circulaires dans l'âme, ainsi que des détails de ces poutres sont discutées.

L'objectif de ce mémoire est d'une part, de proposer un modèle fiable et performant qui permet de résoudre avec une certaine précision les problèmes liés aux poutres métalliques cellulaires et d'autre part, la maîtrise de quelques concepts du logiciel utilisé Cast3m du point de vue mécanique. En outre, une étude paramétrique sur le calcul plastique de ce type de poutres métalliques en flexion est présentée. Ces informations donnent non

seulement des conseils valables aux ingénieurs et aux concepteurs des structures métalliques mais également aideraient des chercheurs dans la planification et l'exécution appropriée de futurs programmes de recherche dans ce secteur.

5. Plan de mémoire

Dans le premier chapitre, on présente une revue générale sur les principales études et recherches consacrées aux problèmes des poutres contenant des ouvertures d'âme dans le domaine non linéaire.

Le deuxième chapitre de cette recherche offre les informations nécessaires et de base sur les différents modes de ruine des poutres cellulaires.

Le chapitre trois expose la modélisation et le choix d'élément en utilisant le logiciel (Cast3m) basé sur la méthode des éléments finis. En outre, on donne un aperçu sur la présentation de cet outil de calcul.

Ce dernier est validé et exploité dans le chapitre quatre grâce à une étude paramétrique à l'état élasto-plastique.

Enfin, on achève ce travail par une conclusion générale portant sur les différents aspects traités dans ce mémoire.