

Introduction

I. Introduction :

I.1. 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 (fig.1.1).

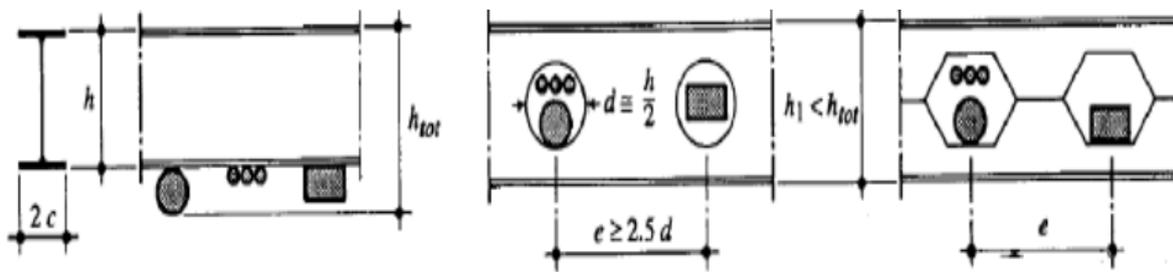


Fig.1.1 : Avantage de la présence des ouvertures dans l'âme.

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 (fig.1.2).



Fig.1.2 : Poutres reconstituées munies d'ouvertures isolées de formes variées.

Les âmes des poutres ajourées comportent des ouvertures réparties le long de la poutre (fig.1.3). 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).

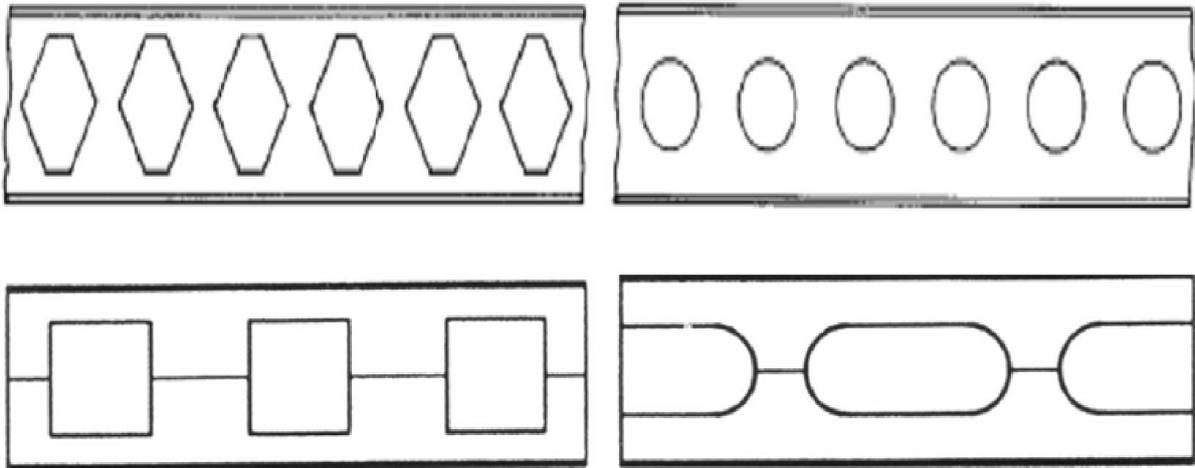


Fig.1.3 : Poutres ajourées.

Récemment, Arcelor Mittal a développé une poutrelle Cellulaire architecturale caractérisée par de plus grandes ouvertures en forme d'œil baptisée poutre Angelina (voir fig.1.4) 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



Fig.1.4 : 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 (fig.1.5). La fabrication en parallèle de poutres permet de réduire les coûts de production.



Fig.1.5 : Oxicoupage du profilé de base, séparation et soudage des deux parties [1].

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 Té (fig. 1.6c).

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.

I.2. Géométrie

Nous adoptons les notations de l'Annexe N de l'Eurocode 3, comme illustrée sur la figure 1.6.

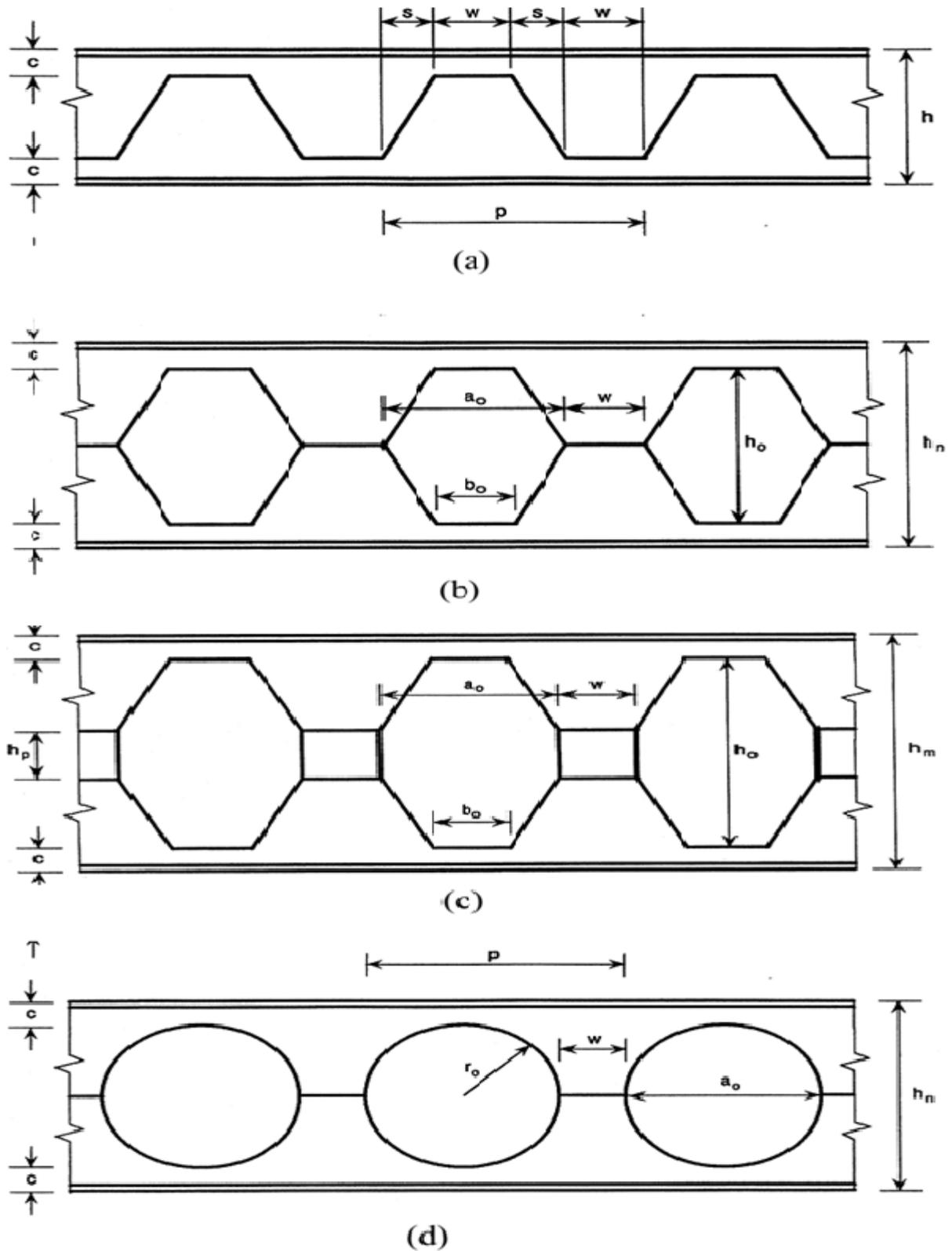


Fig.1.6 : Géométrie des poutres ajourées [2].

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 1.7.

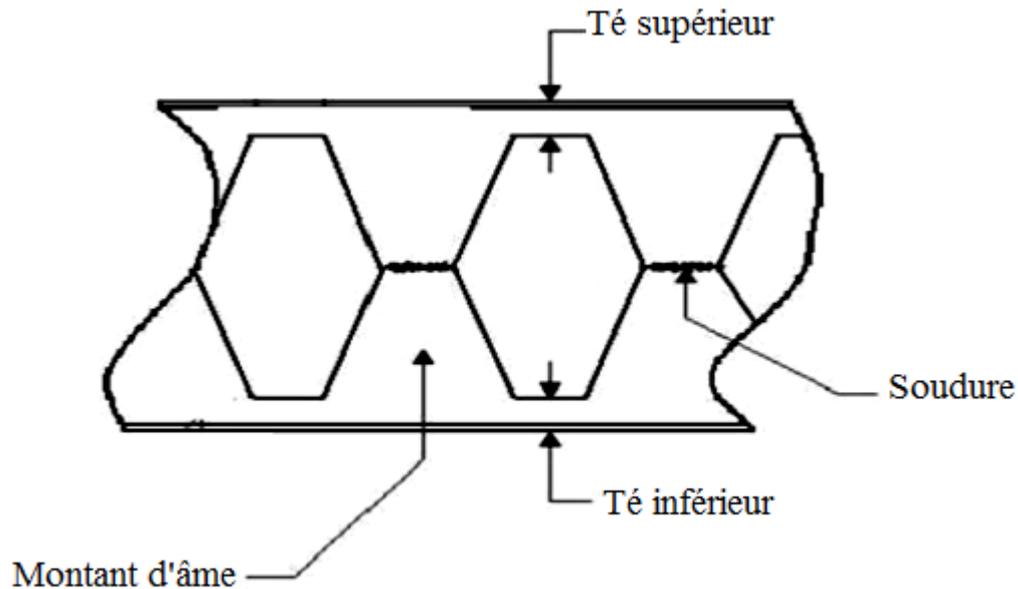


Fig.1.7 : Tés et montants d'âme [2].

I.3. Modes de ruine :

Les différents modes de ruine pouvant survenir au niveau ou à proximité des ouvertures isolées de grandes dimensions sont les suivants [2] :

- flexion globale de la section transversale perforée ;
- cisaillement pur de la section transversale perforée ;
- flexion Vierendeel autour de l'ouverture d'âme ;
- flambement du Té comprimé.

Pour les poutres comportant des ouvertures d'âme multiples, des modes de ruine supplémentaires doivent être considérés :

- flambement du montant d'âme entre deux ouvertures adjacentes ;
- flexion du montant d'âme ;
- ruine par cisaillement du montant d'âme ou de la soudure du montant d'âme ;
- flambement par compression de l'âme ;
- instabilité globale de la poutre provoquée par le déversement ;

Ces modes de ruines sont influencés par la géométrie et l'élancement de l'âme, la forme et les dimensions des ouvertures, modes de chargement et les appuis latéraux prévus.

I.3.1. Ruine par flexion de la section perforée

La ruine par flexion de la section ajourée correspond à un mode de rupture global. Il se produit dans les sections perforées soumises à la flexion pure ou lorsque l'effet de l'effort tranchant est négligeable devant celui de la flexion. Dans ce cas la ruine survient par apparition de deux rotules plastiques dans les Tés supérieur et inférieur de la section perforée [3,4], Comme illustré sur la fig.1.8.

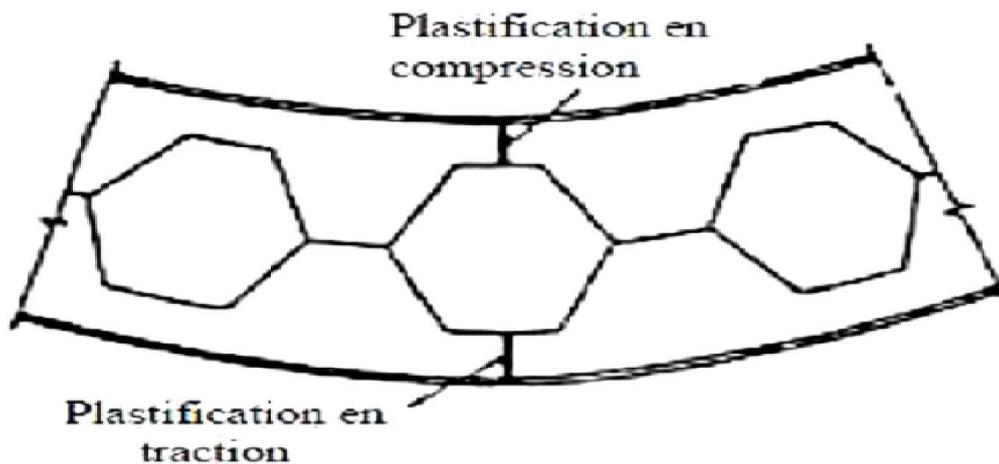


Fig.1.8. Ruine par flexion transversale de la section perforée [2].

I.3.2. Ruine par cisaillement pur de la section perforée

La ruine par cisaillement pur de la section transversale ajourée correspond également à une ruine dite globale, où la section perforée se plastifie sous l'effet d'un effort tranchant élevé, comme illustré sur la fig.1.9.

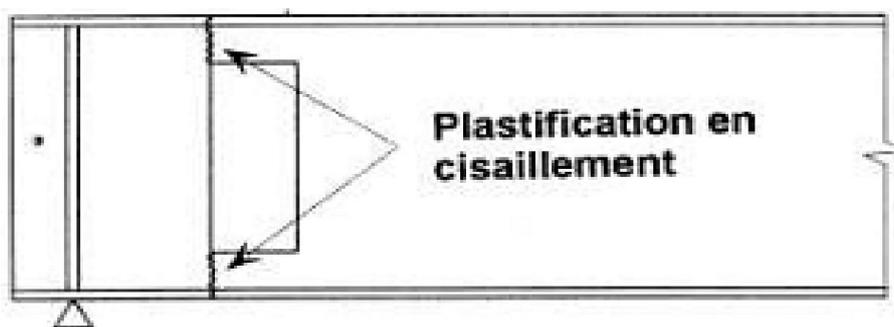


Fig.1.9 : Ruine par cisaillement de la section perforée [2].

I.3.3. Ruine par flexion Vierendeel de la section perforée

Ce mode de ruine a été décrit pour la première fois par Altifillisch [5] et Toprac et Cook [3].

La ruine par mécanisme Vierendeel est de type local. Elle correspond à la ruine par formation de quatre rotules plastiques aux quatre angles de l'ouverture, comme illustré sur la

fig.1.10. Ce mode de ruine peut survenir à proximité des ouvertures de grande hauteur ou très rapprochées sollicité essentiellement à l'effort tranchant. Chaque Té est soumis à une combinaison de cisaillement qui a pour effet de réduire leur capacité axiale et leur moment résistant.

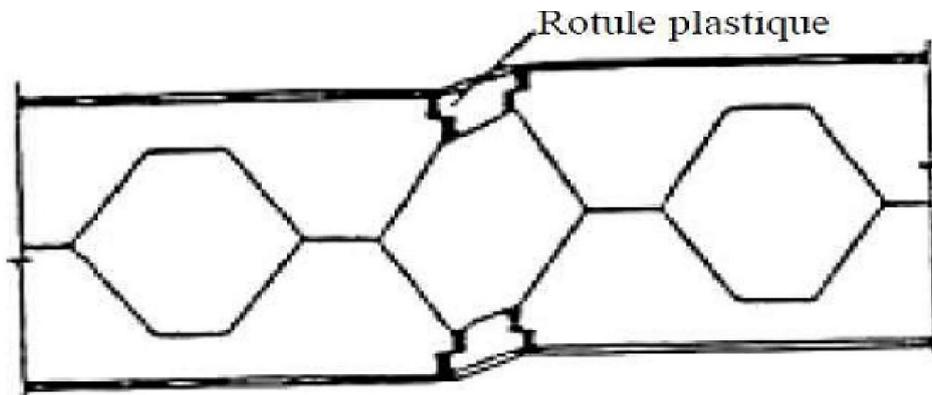


Fig.1.10 : Mécanisme de ruine par flexion Vierendeel [2].

I.3.4. Ruine par flambement du montant d'âme sous cisaillement

Sous l'effet du cisaillement longitudinal et de la flexion locale induite, les montants, risquent de subir des déformées hors plan à double courbure dans la hauteur (fig.1.11). Cette instabilité s'apparente surtout à un phénomène de voilement local et/ou de déversement local, mais l'usage, veut que l'on parle globalement de «flambement» du montant [6]. Les premiers cas de flambement de montant dans les poutres ajourées ont été rapportés dans les références [7, 4,8]. La résistance du montant au flambement dépend de plusieurs paramètres : l'espacement des ouvertures, l'élancement de l'ouverture, la nuance de l'acier et enfin l'asymétrie ou dissymétrie de la section.



Fig.1.11 : Flambement du montant [6].

I.3.5. Ruine par déversement :

Dans la zone des moments positifs, les poutres en acier sont plus sensibles au déversement que les poutres composites si celles-ci sont convenablement connectées à la dalle, qui offre un appui latéral pour la poutre. Les travaux de Nethercot et Kerdal [9] ont conclu que les ouvertures d'âme ont peu d'effet sur le déversement des poutres ajourées. De ce fait, ils ont proposé d'utiliser les mêmes méthodes pour l'analyse du déversement des poutres à âme pleine en considérant une section adéquate de l'âme. Des travaux plus récents ont abouti aux mêmes conclusions [10].

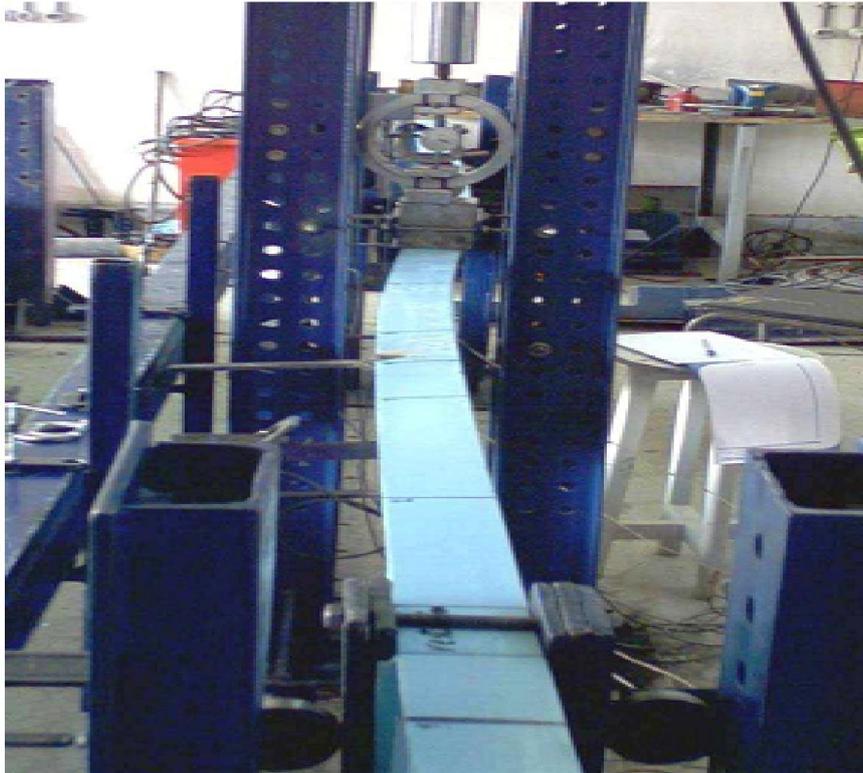


Fig.1.12 : Déversement d'une poutre cellulaire [10].

I.3.6. Ruine par écoulement du joint de soudure

L'effort longitudinal de cisaillement est susceptible de produire l'écoulement du joint de soudure à mi-hauteur du montant d'âme (fig.1.13). Cette ruine peut survenir lors que l'épaisseur de l'âme ou la largeur du montant d'âme est faible. Ce mode de ruine a été étudié pour la première fois par Husain et Spiers [11] qui ont effectué des essais sur six poutres ajourées ayant des montants d'âme étroits. Comme il a été mentionné au paragraphe 1.3.3, la ruine par flexion Vierendeel, contrairement à la ruine par écoulement du joint de soudure, survienne lorsque les montants d'âme sont larges. Pour réaliser un équilibre raisonnable entre ces deux modes de ruine, Dougherty [12] suggère pour les ouvertures hexagonales de satisfaire les relations suivantes entre les dimensions des ouvertures et celles des montants :

- largeur du montant d'âme $w = \frac{h_0}{4}$ et pour les poutres ajourées avec des ouvertures de 60° sans plaques intercalaires ;

- largeur du côté incliné : $S = 0.289h_0$;

- pas des ouvertures d'âme : $P = 1.1h_0$.

h_0 étant la hauteur des ouverture hexagonale

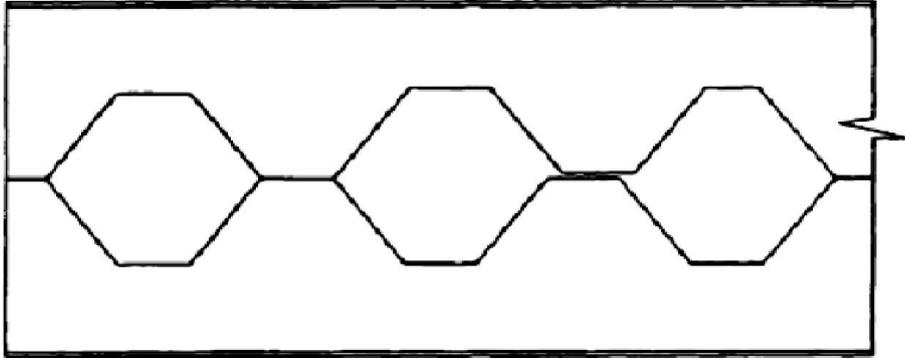


Fig.1.13 : Ruine par écoulement du joint de soudure [13].

I.3.7. Ruine par flambement du montant d'âme sous compression

Le flambement du montant d'âme sous compression est susceptible de se produire au droit des charges concentrées et des réactions d'appui (fig.1.14). Contrairement au voilement par cisaillement, le flambement du montant d'âme sous compression se manifeste seulement par un déplacement latéral et non par une torsion. Les premières publications ayant décrits ce mode de ruine sont ceux de Toprac et Cook [3] et Husein et Speirs [11]. Ce mode de ruine n'est généralement pas déterminant si on prévoit un raidissage adéquat au droit des charges concentrées ou des réactions d'appui

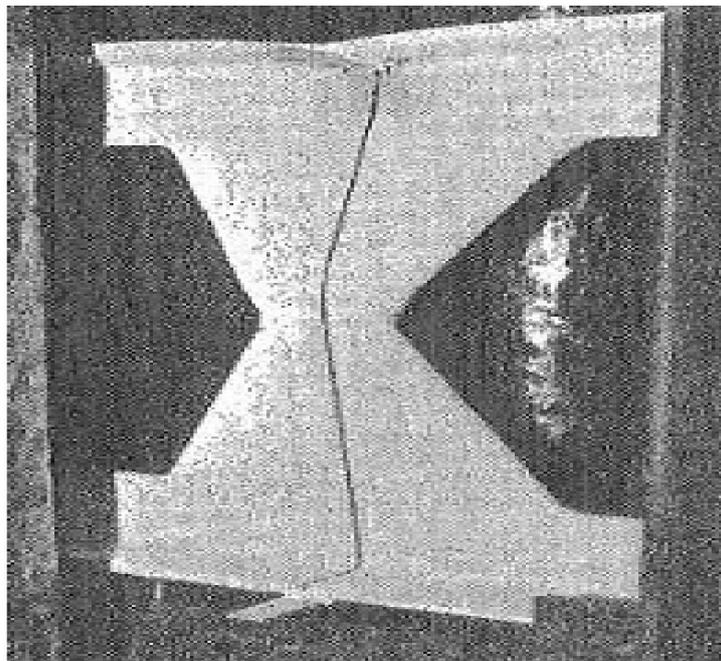


Fig.1.14 : Flambement du montant d'âme sous compression [14].

I-2. Objectifs de la thèse :

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 et la conception des poutres métalliques qui contiennent des ouvertures dans l'âme, ainsi que des détails de ces poutres sont discutées.

Dans ce contexte, nous avons utilisé le logiciel Castem2000 pour étudier le comportement des poutres métalliques avec des ouvertures de forme circulaires ou rectangulaires dans le domaine élastique. Le logiciel Castem2000 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 bidimensionnel avec des éléments quadratiques à 8 nœuds. Les résultats obtenus ont été ensuite comparés aux résultats disponibles dans la littérature.

L'objectif de ce travail est de montrer l'effet de la forme de l'ouverture sur le comportement globale des poutres métalliques comportant des ouvertures d'âmes en proposant un modèle fiable et performant qui permet de résoudre avec une certaine précision les problèmes liés à ce type de poutres à l'état élastique. En outre, une étude paramétrique sur le calcul élastique des poutres métalliques comportant des évidements 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.

I-3. Organisation du 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.

Le chapitre deuxième de cette recherche offre les informations nécessaires pour la vérification des poutres avec ouvertures d'âme et sans raidisseurs (non renforcées) selon les principes de dimensionnement d'une poutre ajourée.

Le chapitre trois expose la modélisation et le choix d'élément en utilisant le logiciel (Castem2000) 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.

Enfin, on achève ce travail par une conclusion générale portant sur les différents aspects traités dans ce mémoire tout en donnant certaines suggestions pour d'éventuels travaux futurs.