

Chapitre 2

**PRODUITS SIDERURGIQUES
EMPLOYES EN CHARPENTE****I. HISTORIQUE**

Les premiers produits sidérurgiques, apparus dans le courant de la deuxième moitié du XIX^e siècle en Europe et qui furent employés en charpente métallique, avaient beaucoup d'inconvénients. Ils étaient limités en variétés (nombre de formes réduit), en taille et en capacités mécaniques et ne couvraient pas entièrement les besoins de la construction en charpente métallique. De plus, chaque pays, voire chaque usine sidérurgique fabriquait ses propres gammes ou séries de produits ayant des formes et dimensions souvent très différentes de celles fabriquées ailleurs, créant ainsi un grand désordre dans la commercialisation et dans l'utilisation de ces premiers produits et freinant, par conséquent, le développement de la charpente métallique.

Plus tard, avec l'apparition et la généralisation de la normalisation, l'application de cette technique à la production sidérurgique a mis de l'ordre et a fait émerger un certain nombre de séries standardisées couvrant au mieux la consommation de ces produits par la charpente métallique. Les charpentes connurent alors un développement appréciable. Néanmoins, cette normalisation n'a pas une validité mondiale car relevant en partie d'un consensus entre les multiples producteurs d'une part et les nombreux consommateurs d'autre part. Il en résulte que les séries standardisées varient d'une région du monde à une autre. On distingue les séries européennes, les séries anglo-saxonnes; américaines, britanniques et japonaises et les séries soviétiques.

En Algérie, pour des raisons historique, économique et culturelle les séries européennes sont les plus connues et les plus utilisées. Cependant, il est possible qu'à l'avenir des gammes en provenance de régions autres que l'Europe pénètrent le marché algérien à la faveur de son ouverture internationale de ces dernières années.

II. PRODUITS SIDERURGIQUES

Le terme « produit sidérurgique » ne s'applique pas, en toute rigueur, à tous les produits fabriqués dans les usines sidérurgiques. On distingue

21. Les produits sidérurgiques**211. Définitions et classification**

L'ensemble des produits sidérurgiques peut être subdivisé en 3 catégories :

Les produits bruts : Ce sont l'acier liquide ou l'acier solide sous forme de lingots. Ces produits sont obtenus à l'issue de la première phase de l'élaboration de l'acier et sont destinés à être transformés en produits finis ou demi finis par le sidérurgiste.

Les demi produits : Ces produits sont variés. Leur dénomination dépend de la forme de leur section transversale et de leur taille. Les blooms et les billettes ont une forme carrée, les brames et les largets, une forme rectangulaires et les ébauches pour profilés ont des formes spéciales. Ils sont destinés au laminage. Ils ne présentent donc aucun intérêt pour le charpentier.

Les produits finis : Ce sont des produits mis en forme par laminage à chaud dans des laminoirs. Cette catégorie se compose de 2 familles de produits : les produits longs et les produits plats. Les produits finis, en particulier les produits longs, constituent l'essentiel des produits destinés au domaine de la charpente métallique et sont

souvent utilisables dans leur état de livraison. Certains produits plats sont destinés à la fabrication d'autres produits dits de seconde transformation.

Les produits longs se caractérisent par une section droite constante et une surface lisse. Les principaux produits longs sont les laminés marchands, les poutrelles en forme de H, U, I, L et les profils creux. Les poutrelles servent de base à des produits dérivés dits de première transformation comme les poutrelles reconstituées soudées (PRS), les poutrelles alvéolaires ou dissymétriques.

212. Produits laminés à chaud

2121. Procédé de laminage des poutrelles

Le laminage est un procédé de mise en forme des produits sidérurgiques finis à partir de demis produits préchauffés jusqu'à une température convenable, par écrasement et refoulement successifs de l'acier au moyen de rouleaux tournants jusqu'à l'obtention de la forme voulue.

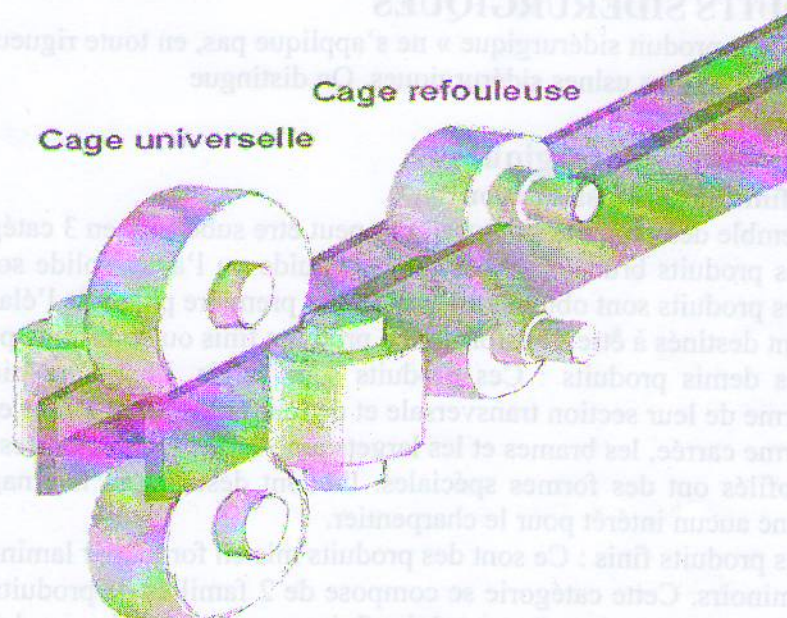
Le procédé de laminage des poutrelles le plus populaire a été inventé par l'écossais Grey et mis en œuvre pour la première fois dans l'usine de Differdange en Angleterre en 1902. Le procédé se compose de 2 phases

- 1^{ère} phase: Les lingots d'acier sont réchauffés et emmenés au train blooming où ils subissent un premier laminage à façon.

- 2^{ème} phase: Les ébauches obtenues laissent déjà reconnaître la forme du produit fini, ensuite le produit passe par le train de GREY qui est composé de 2 cages de laminage ainsi que d'une cage finisseuse.

Chaque groupe de cages de laminage est formé par une cage dite universelle et une cage de refoulement. Les 2 cylindres de la cage universelle déforment de la poutrelle et les cylindres horizontaux et verticaux ensemble déforment la semelle. Les 2 cylindres horizontaux de la cage de refoulement servent au laminage soigné des arêtes du profilé.

L'écart des cylindres est variable deux à deux ce qui nous donne la possibilité de laminier un grand nombre de dérivées géométriques d'une section sans changer de cylindres mais en variant seulement l'écart des cylindres. Ainsi on peut fabriquer avec les mêmes cages un HEA 300, un HEB 300 ou un HEC 300.



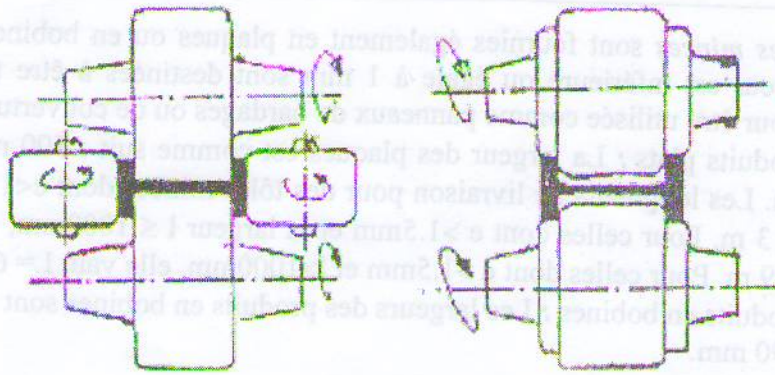


Fig. 1: Cages de laminages

2122. Produits plats

Ce sont des produits dont la largeur est très supérieure à l'épaisseur. On distingue les tôles, les feuillards et les larges plats.

Les tôles :

Produits plats laminés à chaud sur 2 faces opposées avec laminage dans les 2 directions du plan, la déformation des bords étant laissée librement. Elles sont livrées en longueur standards ou à la demande; généralement utilisées après découpage, comme goussets et âmes des PRS car les contraintes dans les âmes des PRS sont de direction quelconque. Les tôles minces servent, après transformation, à produire les produits nervurés ou ondulés utilisés en couverture et en bardage des bâtiments industriels.

Une classification traditionnelle distingue 3 types de tôles en fonction de l'épaisseur

- Tôles fortes : celles dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 4,76 mm.
- Tôles moyennes : celles dont l'épaisseur est comprise entre 3 et 4,75 mm.
- Tôles minces : celles dont l'épaisseur est inférieure à 3 mm.

D'autres classifications, par exemple à usage commercial, sont parfois utilisées pour distinguer les différentes tôles.

Les tôles peuvent être livrées sous forme de feuilles (elles sont appelées plaques) ou sous forme de bobines de largeur supérieure à 600 mm (enroulées en spirale).

Les tôles fortes sont fournies sous formes de plaques lorsque l'épaisseur est supérieure à 5 mm.

Dimensions des plaques : Si l'on désigne l'épaisseur de la tôle par e , la largeur par l et la longueur par L , les dimensions des plaques sont:

Jusqu'à $e_{\max} = 80$ mm, les largeurs des tôles sont: $500 \text{ mm} \leq l \leq 3700 \text{ mm}$.

Les longueurs de livraison sont:

$L=9$ m pour les tôles de largeur $l \leq 1000$ mm.

$L=6$ m pour les tôles de largeur $l > 1000$ mm.

Les tôles moyennes peuvent être fournies en plaques ou en bobines.

a. Plaques : Pour $3 \text{ mm} < e \leq 4.76 \text{ mm}$ la largeur est: $500 \text{ mm} \leq l \leq 1810 \text{ mm}$.

La longueur de livraison pour des tôles dont la largeur est comprise entre 200 et 500 est $L=6$ m. Pour les tôles de largeur supérieure à 1000mm, elle est de $L=6$ m et pour les tôles de largeur inférieure ou égale à 1000 mm, elle est de $L=9$ m.

b. Produits en bobines : Pour $e_{\max} = 4.76 \text{ mm}$, la largeur est: $500 \leq l \leq 1890$ mm. A titre indicatif, le poids d'une bobine peut varier de 7 à 12 tonnes.

Les tôles minces sont fournies également en plaques ou en bobines. Celles dont l'épaisseur est inférieure ou égale à 1 mm sont destinées à être transformées à froid pour être utilisées comme panneaux de bardages ou de couvertures.

- a. Produits plats : La largeur des plaques est comme suit : $500 \text{ mm} \leq l \leq 1890 \text{ mm}$. Les longueurs de livraison pour des tôles minces dont $e < 1.5 \text{ mm}$, sont $L = 2$ à 3 m . Pour celles dont $e > 1.5 \text{ mm}$ et la largeur $l \leq 1000 \text{ mm}$, la longueur est $L = 9 \text{ m}$. Pour celles dont $e > 1.5 \text{ mm}$ et $l > 1000 \text{ mm}$, elle vaut $L = 6 \text{ m}$.
- b. Produits en bobines : Les largeurs des produits en bobines sont : $520 \text{ mm} \leq l \leq 1890 \text{ mm}$.

Les feuillards:

Produits plats laminés à chaud en longues bandes de largeur inférieure à 600 mm et livrés sous forme de bobines.

Les larges plats:

Produits plats laminés à chaud sur les 4 faces mais dans une seule direction.

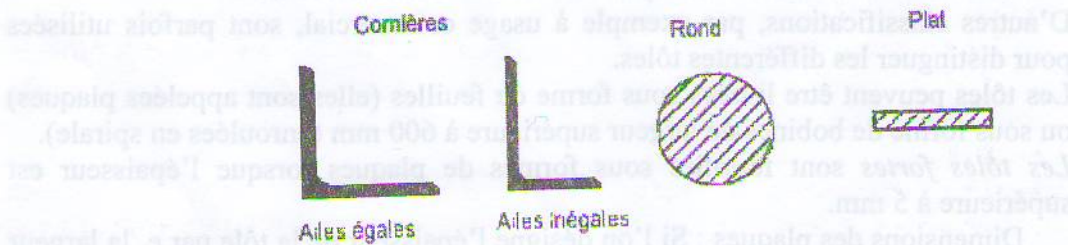
Les larges sont destinés à être utilisés dans les assemblages comme platines, raidisseurs et pour fabriquer des profilés reconstitués par soudage.

Pour des épaisseurs e comprises entre 5 et 40 mm, la largeur est de $160 \leq l \leq 1200 \text{ mm}$. Les longueurs de livraison sont de 6m, 9m et 12m. Des épaisseurs pouvant atteindre les 100 mm sont possibles pour les commandes spéciales.

2123. Produits longs

Les laminés marchands

Ces produits sont appelés parfois barres sont livrés sous forme de barres droites. Leurs sections transversales ont des formes différentes. Ils sont les moins coûteux parmi les laminés à chaud.



Ils se subdivisent en

Profils pleins :

Ils comprennent les octogones (section à 8 faces), les hexagones (sections à 6 faces), les carrés ■ et les ronds ●.

- a. Carrés : La gamme de fabrication s'étend de 5mm à 250mm de coté.

Si a représente le coté du carré, l'évolution est de $\frac{1}{2} \text{ mm}$ pour a variant de 5 à 50mm. L'évolution est de 1 mm pour a variant de 50 à 110 mm. Elle est de 5 mm pour a variant au delà de 110mm.

Ils sont utilisés comme grain dans les appuis de poteaux et comme rail de roulement.

b. Ronds : La gamme de fabrication s'étend de 5mm à 250 mm. L'évolution des diamètres est identique que celle des carrés. Les ronds sont utilisés comme clames et tiges d'ancrages.

Profils (ou fers) plats :

Les plats sont à section rectangulaire et ont 2 faces lisses et les chants arrondis.

Profils angulaires :

Les cornières dont la section rappelle la forme majuscule de la lettre L. Les angles sont vifs ou arrondis. Les parois appelées ailes sont égales ou inégales. Les épaisseurs des cornières les plus courantes sont au 1/10 de la largeur de l'aile (moyenne pour les cornières à ailes inégales). On y trouve également les équerres, de forme en L et à angles vifs.

Les cornières peuvent être combinés entre eux comme suit:

- Deux cornières à ailes égales disposées dos à dos.
- Deux cornières à ailes inégales disposées dos à dos.
- Deux cornières à ailes égales disposées en croix.

Les cornières sont utilisées comme éléments travaillant principalement à l'effort normal. On les rencontre dans les éléments de ferme, dans les éléments des palées de stabilité (système réticulé).

Les dimensions sont:

L 20 x 20 x 3

..... évolution par pas de 5 mm pour les cotés.

L 50 x 50 x 8

L 60 x 60 x 5

..... évolution par pas de 10 mm pour les cotés.

L 200 x 200 x 24.

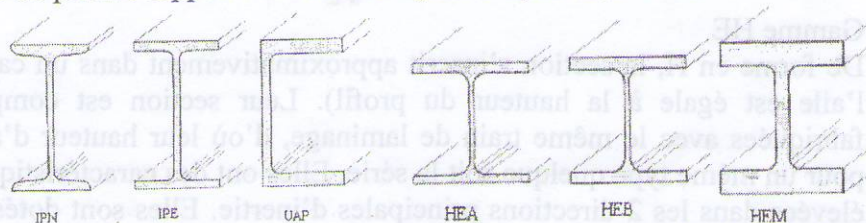
Profils en U et les tés :

Leur section rappelle les lettres U ou T. utilisés surtout en serrurerie et en vitrerie.

Les poutrelles

Présentation de la gamme de poutrelles européennes

Des catalogues élaborés par les fabricants donnent les caractéristiques mécaniques et géométriques de l'ensemble des gammes de profilés. La section transversale d'une poutrelle ou profilé rappelle des lettres alphabétiques U, I ou H.



Il existe plusieurs gammes de poutrelles chacune composée de plusieurs séries. Concernant les poutrelles européennes, on distingue :

Poutrelles à profil normal : chronologiquement, elles sont les premières poutrelles produites sur laminoir. On distingue les IPN et les UPN. Elles sont de moins en moins utilisées, la pente des semelles posent des difficultés d'assemblage. Le profil est mono symétrique. Sa forme s'inscrit dans un rectangle et le profil présente des

ailes plus étroites que l'âme. A hauteur de profil égale avec un I, la masse est approximativement supérieure de 10 %.

Poutrelles à ailes parallèles : elles furent produites pour remédier à l'inconvénient posé par la pente des poutrelles à profil normal. Elles ont supplantées ces dernières. On distingue les IAP et les UAP. Les côtés des ailes d'un UAP sont parallèles entre eux.



Poutrelles à profil de norme européenne : on distingue les IPE, HEA, HEB, HEC et HEM. Elles sont couramment employées en charpente.

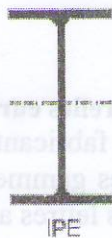
Gamme IPE

La section transversale s'inscrit dans un rectangle dont la hauteur h fait le double de la base b et ce jusqu'à 300 mm de hauteur. Le profil présente des ailes plus étroites et plus épaisses que l'âme. Elles conviennent pour les poutres travaillant essentiellement en flexion simple. À hauteur de profil égale avec un H, la masse d'un IPE est approximativement divisée par deux. Elles ont de bonnes caractéristiques géométriques suivant une seule direction principale d'inertie (par rapport à xx). Elles sont utilisées surtout comme éléments poutre à cause de leur bon rendement autour de l'axe fort I_x G_x de la poutrelle. Elles sont également utilisées dans les bâtiments industriels sur les files où il y a des parois fermées ou semi fermées, les lisses réduisent les élancements λ_y .

Ces produits sont couramment disponibles dans les différentes nuances d'acier.

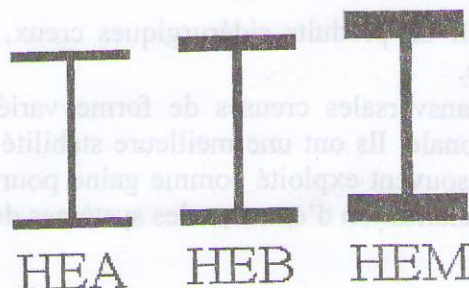
Les poutrelles IPE disponibles sont:

- Profilés IPE80 à IPE600: gamme standard
- Profilés IPE650 à IPE1000: commande spéciale.



Gamme HE

De forme en H, la section s'inscrit approximativement dans un carré (la largeur de l'aile est égale à la hauteur du profil). Leur section est compacte. Elles sont fabriquées avec le même train de laminage, d'où leur hauteur d'âme est la même pour un même type quelque soit la série. Elles ont des caractéristiques géométriques élevées dans les 2 directions principales d'inertie. Elles sont dotés d'ailes larges et offrent une bonne résistance au flambement dans les deux directions. Elles conviennent comme poutres travaillant en flexion déviée intense ou comme poteaux travaillant en flexion composée. Les HEA sont les plus légers et donc les plus économiques.



Pour une même hauteur de profil, la gamme HE existe en trois séries : HEA, HEB, HEM permettant une progression de la capacité portante par la variation des épaisseurs d'âme et d'aile.

Elles sont utilisées essentiellement comme poteaux. Elles ont un rendement moyen autour de l'axe d'inertie I_x G_x . Elles ont une bonne résistance au flambement suivant I_y G_y . Les poutrelles en H disponibles sont:

- Profilés HEA100 à HEA1000
- Profilés HEB100 à HEB1000
- Profilés HEB100 à HEB1000

Comparaison de quelques poutrelles

Profilé	A (cm ²)	I_{xx} (cm ⁴)	W_x (cm ³)	I_x (cm)	I_{yy} (cm ⁴)	I_y (cm)
IPE300	53,8	8356	557	12,5	604	3,35
HEA200	53,8	3692	389	8,28	1336	4,98
HEB160	54,3	2492	311	6,78	889	4,05

A aire presque équivalente, la poutrelle IPE a une plus grande inertie suivant xx que les HEA ou HEB et travaille donc mieux en flexion simple (sans déversement) suivant l'axe de forte inertie.

22. Les produits transformés

Les produits transformés comprennent

1. Produits profilés à froid,
2. Produits à profils creux,
3. Produits tréfilés,
4. Tôles nervurées ou ondulées,
5. Produits de moulage (peu utilisés en charpente),
6. Produits de forgeage (utilisé surtout en chaudronnerie).

...

Profilés formés à froid

Les profilés formés à froid sont employés dans les charpentes courantes mais surtout comme éléments secondaires.

Ces produits sont obtenus par formage de bandes mères, précisément par pliage sur une presse ou par profilage sur une machine à galets. Leurs sections transversales ont des formes variées : en Z (zed), en L (aile), en \cap (coulisse), en Ω (oméga), en sigma Σ ,... Ils sont constitués de parois minces (l'épaisseur des parois est faible et constante). A l'endroit des plis, leur résistance élastique est plus élevée que celle de la bande mère ayant servi à leur élaboration à cause de l'écrouissage subi par l'acier au cours des opérations de pliage ou de profilage.

Plusieurs gammes de profilés formés à froid sont disponibles.

Produits à profils creux

Ils sont obtenus à partir de produits sidérurgiques creux, par étirage à chaud, par formage ou par soudage.

Ils ont des sections transversales creuses de forme variée: circulaire O, carré □, rectangulaire ou hexagonale. Ils ont une meilleure stabilité vis-à-vis du flambement. Leur vide intérieur est souvent exploité comme gaine pour faire passer discrètement des câbles ou comme canalisation d'eau dans les systèmes de sécurité anti-feu.

Produits tréfilés

Ils sont produits à partir d'un fil d'acier dit fil machine, tiré à travers des filières successives réduisant ainsi sa section tout en augmentant sa résistance élastique. Les produits tréfilés servent à fabriquer des câbles (câbles toronnés ou parallèles).

Tôles nervurées ou ondulées

Les tôles nervurées ou ondulées sont souvent galvanisées et peuvent être utilisées en couverture (toitures avec pente ou terrasses), bardage (bâtiments industriels, agricoles; silos...) et coffrage perdu pour dalles en béton armé. Il existe une grande variété de tôles. Pour certaines tôles, la largeur utile est de 780mm et la largeur développée est de 1000mm. Sur commande la largeur utile peut être de 1000 mm. La longueur de livraison peut varier selon commande avec une longueur maximale de 12m. Le revêtement minimum de zinc est de

400 g/m² double face pour les tôles planes.

450 g/m² double face pour les tôles ondulées.

Pièces moulées, forgées ou chaudronnées

Certaines pièces de charpentes, par exemple les appareils d'appuis de ponts ou de charpentes lourdes, ont des sections variables, quelconques et de formes complexes. Ces pièces peuvent être obtenues par mécano soudage (pièces chaudronnées), par forgeage (pièces forgées) ou par moulage (pièces moulées) dans des fonderies.

Le moulage est un procédé de mise en forme des pièces, par coulée de l'acier liquide dans un moule, en sable ou bois, reproduisant, grâce à sa forme creuse en 'négatif', la forme en relief de la pièce à obtenir.

Les pièces moulées peuvent être remplacées par des pièces chaudronnées obtenues à partir de plats découpés dans de tôles, usinés, cintrés, forgés, etc. puis assemblés par soudage.

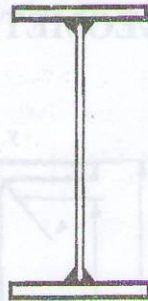
Le forgeage consiste à mettre en forme des pièces par un travail effectué sur presse (pilon) ou à la main (marteau et enclume), des plaques ou pièces épaisses en acier, préalablement chauffées jusqu'à une température qui rend l'acier malléable, pour leur donner la forme recherchée.

Globalement, les produits transformés sont peu employés dans les structures d'ouvrages.

23. Les produits dérivés

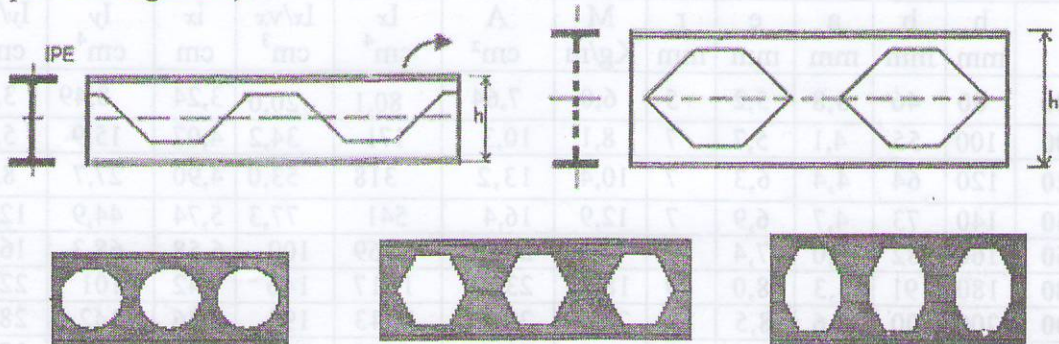
PRS :

Les poutrelles reconstituées soudées (PRS) sont des profils de forme classique (I ou H) réalisés par soudage d'éléments de tôles et/ou de larges plats. Souvent de grandes hauteurs, elles permettent de créer des produits sur mesure, en une nuance unique d'acier ou par combinaison de nuances.



Poutrelles alvéolaires

Les poutrelles alvéolaires sont des profils reconstitués par soudage, obtenus à partir de poutrelles laminées à chaud, IPE ou HE, découpées dans l'âme en 2 tronçons, suivant une ligne spécifique (brisée ou en arc). Les 2 tronçons en T sont ensuite décalés et soudés. Elles permettent d'élever les caractéristiques géométriques des profils pour un même poids d'acier. On distingue les poutrelles alvéolaires à ouvertures circulaires, à ouvertures hexagonales (ou à nid d'abeille) et à ouvertures octogonales (hexagonales + un plat rectangulaire).



Poutrelles alvéolaires.

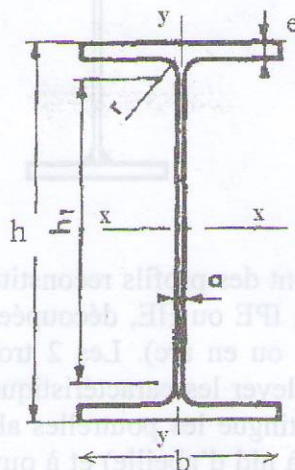
La fabrication des poutrelles alvéolaires peut être industrialisée. Les fabricants produisent alors plusieurs gammes et élaborent des catalogues qui sont mis à la disposition des utilisateurs.



Fabrication de poutrelles alvéolaires à ouvertures circulaires

III. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

POUTRELLES IPE



	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x ³ cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y ³ cm ³	i _y cm	J cm ⁴
80	80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,70
100	100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,3	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,10
120	120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,2	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,71
140	140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,4	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,54
160	160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,1	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,53
180	180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,9	1317	146	7,42	101	22,2	2,05	4,90
200	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,5	1943	194	8,26	142	28,5	2,24	6,46
220	220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,4	2772	252	9,11	205	37,3	2,48	8,86
240	240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,1	3892	324	9,97	284	47,3	2,69	11,60
270	270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,9	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	14,93
300	300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,8	8356	557	12,5	604	80,5	3,35	19,47
330	330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,6	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	25,70
360	360	170	8,0	12,7	18	57,1	72,7	16270	904	15,0	1043	123	3,79	36,20
400	400	180	8,6	13,5	21	66,3	84,5	23130	1160	16,5	1318	146	3,95	46,80
450	450	190	9,4	14,6	21	77,6	98,8	33740	1500	18,5	1676	176	4,12	63,80
500	500	200	10,2	16,0	21	90,7	116	48200	1930	20,4	2142	214	4,31	89,00
550	550	210	11,1	17,2	24	106	134	67120	2440	22,3	2668	254	4,45	118,4
600	600	220	12,0	19,0	24	122	156	92080	3070	24,3	3387	308	4,66	166,2

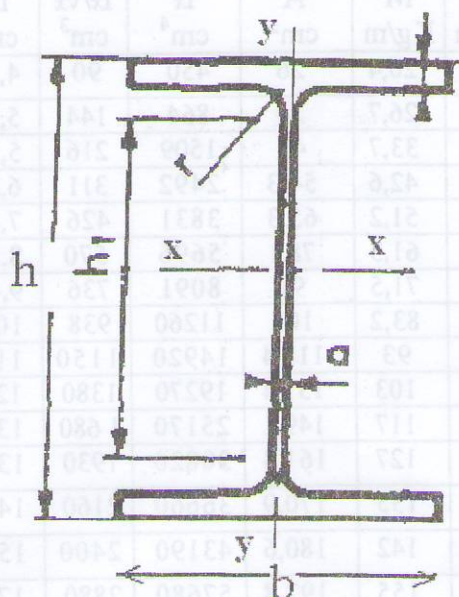
POUTRELLES IPN

	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x ³ cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y ³ cm ³	i _y cm	J cm ⁴
80	80	42	3,9	5,9	3,9	5,95	7,58	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,89
100	100	50	4,5	6,8	4,5	8,32	10,6	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	1,64
120	120	58	5,1	7,7	5,1	11,2	14,2	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	2,78
140	140	66	5,7	8,6	5,7	14,4	18,3	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	4,40
160	160	74	6,3	9,5	6,3	17,9	22,8	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	6,70

Les profils IPN de hauteur supérieure à 160 mm ne sont plus fabriqués actuellement.

POUTRELLES HEA

POUTRELLES HEB



	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y cm ³	i _y cm	J cm ⁴
100	96	100	5,0	8,0	12	16,7	21,2	349	73	4,06	134	27	2,51	4,69
120	114	120	5,0	8,0	12	19,9	25,3	606	106	4,89	231	38	3,02	5,63
140	133	140	5,5	8,5	12	24,7	31,4	1033	155	5,73	389	56	3,52	7,97
160	152	160	6,0	9,0	15	30,4	38,8	1673	220	6,57	616	77	3,98	10,9
180	171	180	6,0	9,5	15	35,5	45,3	2510	294	7,45	925	103	4,52	14,2
200	190	200	5,5	10	18	42,3	53,8	3692	389	8,28	1336	134	4,98	18,6
220	210	220	7,0	11	18	50,5	64,3	5410	515	9,17	1955	178	5,51	27,1
240	230	240	7,5	12	21	60,3	76,8	7763	675	10,1	2769	231	6,00	38,2
260	250	260	7,5	12,5	24	68,2	86,8	10460	836	11,0	3668	282	6,50	46,3
280	270	280	8,0	13	24	76,4	97,3	13670	1010	11,9	4763	340	7,00	56,5
300	290	300	8,5	14	27	88,3	112,5	18260	1260	12,7	6310	421	7,49	75,3
320	310	300	9,0	15,5	27	97,6	124,4	22930	1480	13,6	6985	466	7,49	102
340	330	300	9,5	16,5	27	105	133,5	2700	1680	14,4	7436	496	7,46	123
360	350	300	10	17,5	27	112	142,8	33090	1890	15,2	7887	526	7,43	147
400	390	300	11	19	27	125	159,0	45070	2310	16,8	8564	571	7,34	191
450	440	300	11,5	21	27	140	178,0	63720	2900	18,9	9465	631	7,29	257
500	490	300	12	23	27	155	197,5	86980	3550	21,0	10370	691	7,24	336
550	540	300	12,5	24	27	166	211,8	111900	4150	23,0	10820	721	7,15	386
600	590	300	13	25	27	178	226,5	141200	4790	25,0	11270	751	7,05	440

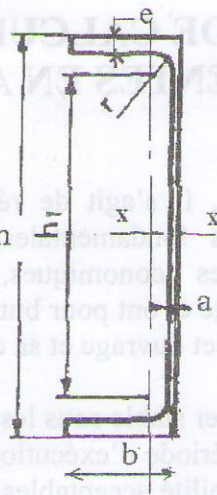
POUTRELLES HEB

	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y cm ³	i _y cm	J cm ⁴
100	100	100	6	10	12	20,4	26	450	90	4,16	167	33	2,53	9,05
120	120	120	6,5	11	12	26,7	34	864	144	5,04	318	53	3,06	14,4
140	140	140	7	12	12	33,7	43	1509	216	5,93	550	79	3,58	21,8
160	160	160	8	13	15	42,6	54,3	2492	311	6,78	889	111	4,05	32,2
180	180	180	8,5	14	15	51,2	65,3	3831	426	7,66	1363	151	4,57	45,1
200	200	200	9	15	18	61,3	78,1	5696	570	8,54	2003	200	5,07	61,4
220	220	220	9,5	16	18	71,5	91	8091	736	9,43	2843	258	5,59	81,8
240	240	240	10	17	21	83,2	106	11260	938	10,3	3923	327	6,08	107
260	260	260	10	17,5	24	93	118,4	14920	1150	11,2	5135	395	6,58	125
280	280	280	10,5	18	24	103	131,4	19270	1380	12,1	6595	471	7,09	148
300	300	300	11	19	27	117	149,1	25170	1680	13,0	8563	571	7,58	186
320	320	300	11,5	20,5	27	127	161,3	30820	1930	13,8	9239	616	7,57	233
340	340	300	12	21,5	27	135	170,9	36660	2160	14,6	9690	646	7,53	270
360	360	300	12,5	22,5	27	142	180,6	43190	2400	15,5	10140	676	7,49	310
400	400	300	13,5	24	27	155	197,8	57680	2880	17,1	10820	721	7,40	382
450	450	300	14	26	27	171	218	79890	3550	19,1	11720	781	7,33	485
500	500	300	14,5	28	27	187	238,6	107180	4290	21,2	12620	842	7,27	605
550	550	300	15	29	27	199	254,1	136690	4970	23,2	13080	872	7,17	679
600	600	300	15,5	30	27	212	270	171040	5700	25,2	13530	902	7,08	759

POUTRELLES HEM - HEC

	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y cm ³	i _y cm	J cm ⁴
100	120	106	12	20	12	41,8	53,2	1143	190	4,63	399	75	2,74	764
120	140	126	12,5	21	12	52,1	66,4	2018	288	5,51	703	112	3,25	105
140	160	146	13	22	12	63,2	80,6	3291	411	6,39	144	157	3,77	140
160	180	166	14	23	15	76,2	97,1	5098	566	7,25	1759	212	4,26	184
180	200	186	14,5	24	15	88,9	113,3	7483	748	8,13	2580	277	4,77	234
200	220	206	5	25	18	103	131,3	10640	967	9,00	3651	354	5,27	292
220	240	226	15,5	26	18	117	149,4	14610	1220	9,98	5012	444	5,79	360
240	270	248	18	32	21	157	199,6	24290	1800	11,0	8153	657	6,39	727
260	290	268	18	32,5	24	172	219,6	31310	2160	11,9	10450	780	6,90	821
280	310	288	18,5	33	24	189	240,2	39550	2550	12,8	13160	914	7,40	927
300C	320	305	16	29	27	177	225,1	40950	2560	13,5	13740	901	7,81	665
300	340	310	21	39	27	238	303,1	59200	3480	14,0	19400	1252	8,00	1634
320	359	309	21	40	27	245	312,0	68140	3800	14,8	19710	1280	7,95	1756
340	377	309	21	40	27	248	315,8	76370	4050	15,6	19710	1280	7,90	1763
360	395	308	21	40	27	250	318,8	84870	4300	16,3	19520	1270	7,83	1764
400	432	307	21	40	27	256	325,8	104100	4820	17,9	19340	1260	7,70	1773
450	478	307	21	40	27	263	335,4	131500	5500	19,8	19340	1260	7,59	1791
500	524	306	21	40	27	270	344,3	161900	6180	21,7	19160	1250	7,46	1803
550	572	306	21	40	27	278	354,4	198000	6920	23,6	19160	1250	7,35	1822
600	620	305	21	40	27	285	363,7	237400	7660	25,6	18980	1240	7,22	1835

POUTRELLES UAP



	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x cm ³	I _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y cm ³	I _x cm	J cm ⁴
80	80	45	5	8	8	8,38	10,7	107	26,8	3,16	21,3	7,38	1,41	1,98
100	100	50	5,5	8,5	8,5	10,5	13,4	209	41,9	3,97	32,8	9,95	1,57	2,76
130	130	55	6	9,5	9,5	13,7	17,5	459	70,7	5,13	51,3	13,8	1,71	4,34
150	150	65	7	10,25	10,25	17,9	22,9	797	106	5,90	93,3	21,0	2,02	6,76
175	175	70	7,5	10,75	10,75	21,2	27,0	1272	145	6,86	126,4	25,9	2,16	8,75
200	200	75	8	11,5	11,5	25,1	32,0	1946	195	7,80	169,7	32,1	2,30	11,69
220	220	80	8	12,5	12,5	28,5	36,3	2710	247	8,64	222,3	39,8	2,48	15,12
250	250	85	9	13,5	13,5	34,4	43,8	4136	331	9,72	296,7	49,1	2,61	21,30
270	270	95	9	14,5	14,5	39,4	50,1	5675	420	10,64	436,3	65,4	2,95	27,68
300	300	100	9,5	16	16	46	58,6	8170	545	11,81	562,1	79,8	3,10	38,46

POUTRELLES UPN

	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	M Kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _x /v _x cm ³	I _x cm	I _y cm ⁴	I _y /v _y cm ³	I _x cm	J cm ⁴
80	80	45	6	8	8	8,64	11,0	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,20
100	100	50	6	8,5	8,5	10,6	13,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,91
120	120	55	7	9	9	13,4	17,0	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	4,22
140	140	60	7	10	10	16,0	20,4	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	5,91
160	160	65	7,5	10,5	10,5	18,8	24,0	925	116	6,21	85,3	18,3	1,99	7,67
180	180	70	8	11	11,5	22,0	28,0	1350	150	6,95	114	22,4	2,02	9,80
200	200	75	8,5	11,5	11,5	25,3	32,2	1910	191	7,70	148	27,0	2,14	12,35
220	220	80	9	12,5	12,5	29,4	37,4	2690	245	8,48	197	33,6	2,26	16,67
240	240	85	9,5	13	13	33,2	42,3	3600	300	9,22	248	39,6	2,42	20,42
260	260	90	10	14	14	37,9	48,3	4820	371	9,99	317	47,7	2,56	26,62
300	300	100	10	16	16	46,2	58,8	8030	535	11,7	495	67,8	2,90	39,86

Exercice 1

1. Calculer la section efficace de la plaque représentée sur la figure 1, sachant que le diamètre du trou est de 22 mm et que l'épaisseur est de 6 mm.
2. Calculer l'effort que peut supporter cette pièce sans se rompre. L'acier utilisé E24. 24 daN/mm^2 .

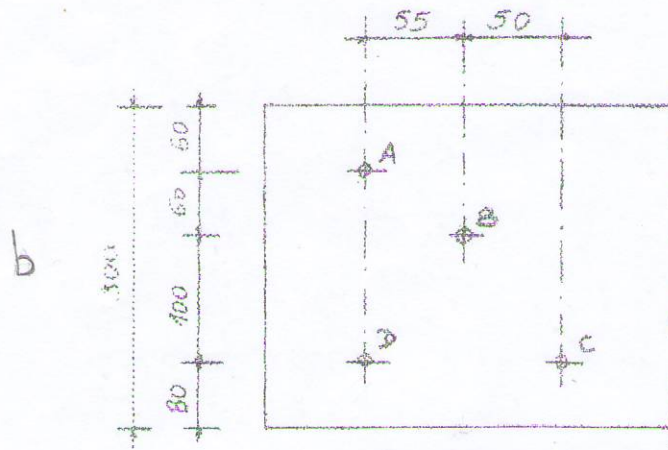


Figure 1

$$A_{\text{net}} = 1517 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{max}} = 36,4 \text{ t}$$

Exercice 2

Vérifier si le fer plat de la figure 2 résiste à un effort de traction pondéré égal à 200 kN, sachant que le diamètre des trous est de 24 mm et que l'épaisseur du plat est de 10 mm. Acier E24.

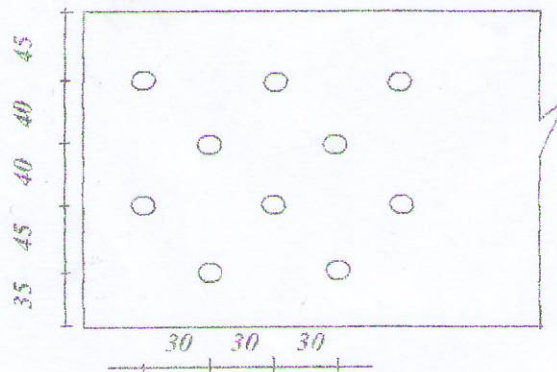


Figure 2

Exercice 3

Vérifier si la cornière L120x80x10 (figure 3) de 5 m de longueur peut supporter les charges de traction non pondérées $G = 40 \text{ kN}$ et $P = 80 \text{ kN}$; diamètre des trous $d = 20 \text{ mm}$. Acier E24

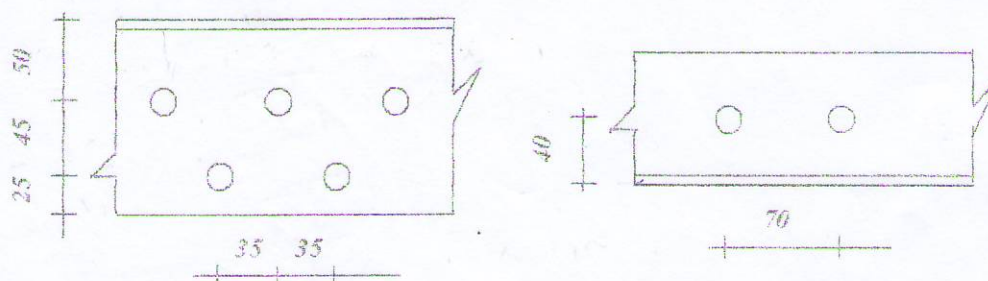


Figure 3