

Construction mince

par **Anna SOKOL-PALISSON**

Ingénieur Conseil – SOKOL PALISSON Consultants

et **Léopold SOKOL**

Docteur ingénieur

Professeur CHEM – SOKOL Consultants

1. Spécificités des éléments minces	C 2 517 – 2
1.1 Définition de cette classe	— 2
1.2 Types de sections des éléments formés à froid	— 2
1.3 Avantages et inconvénients des éléments formés à froid	— 2
2. Fabrication	— 2
2.1 Matériaux – Produits de base	— 2
2.2 Mise en forme	— 2
2.3 Traitement de surface	— 2
3. Particularités du comportement mécanique des éléments formés à froid	— 4
3.1 Effets du formage à froid	— 4
3.2 Efficacité de la section comprimée et/ou fléchée	— 5
3.3 Résistance de la section à l'action d'une charge transversale concentrée	— 5
3.4 Déformation transversale de la section	— 5
4. Exigences normatives pour l'exécution des structures à partir des produits formés à froid	— 6
5. Mise en application	— 7
5.1 Principes généraux de conception	— 7
5.2 Question du choix optimal des produits	— 7
5.3 Assemblages	— 7
5.4 Manutention	— 9
5.4.1 Transport	— 9
5.4.2 Stockage	— 9
5.4.3 Montage	— 9
5.5 Secteurs d'application, exemples de produits	— 9
6. Conclusion	— 11
Pour en savoir plus	Doc. C 2 517

L'évolution des connaissances dans le domaine du comportement mécanique des produits de bâtiment en acier formés à froid (dits « éléments minces ») dans le dernier quart du vingtième siècle a permis une avancée considérable sur le plan normatif. Tout d'abord, ont été publiées les recommandations européennes, ensuite la version expérimentale « ENV » d'une première norme européenne et, finalement, une série de normes définitives sur le calcul et l'exécution des structures en éléments formés à froid.

Ces divers documents ont fortement contribué à la vulgarisation et au développement du marché de ces produits, qui, grâce à leurs nombreux avantages, trouvent désormais des applications dans pratiquement tous les secteurs du bâtiment.

Cependant, une connaissance lacunaire des différences de comportement des produits formés à froid par rapport aux produits classiques empêche souvent de tirer pleinement profit des avantages offerts par les premiers.

L'objet de ce dossier est donc de familiariser le lecteur avec les particularités qui accompagnent les produits formés à froid dans toutes les phases de leur mise en œuvre.

1. Spécificités des éléments minces

1.1 Définition de cette classe

Deux aspects de comportement conduisent à la qualification d'un élément structural dit « mince » :

- **sous l'effet de la compression** : l'élément est considéré « à parois minces », lorsque, sous l'effet de la compression, certaines de ses parties sont susceptibles d'instabilités locales avant que la limite d'élasticité ne soit atteinte. De telles instabilités sont notamment le voilement de paroi, l'instabilité par distorsion de la section (flambement des raidisseurs) et l'écrasement local sur appuis ;
- **sous l'effet de la torsion** : l'élément est considéré « à parois minces », lorsque, sous l'effet de la seule torsion, les contraintes normales créées par celle-ci dans la section ne sont plus négligeables. Cette situation se rencontre pour une charge appliquée en dehors du centre de cisaillement, lorsque chacune des trois dimensions de la section – à savoir longueur L , largeur B et épaisseur t – est d'un ordre différent de celui des deux autres, c'est-à-dire, si, approximativement, $L/B \geq 10$ et $B/t \geq 10$.

1.2 Types de sections des éléments formés à froid

En fonction du comportement mécanique des éléments, on distingue :

- **les profils dits « larges »** : plaques nervurées et plateaux (figure 1).

Ces profils sont utilisés comme coffrage et armature de planchers mixtes acier-béton ou encore pour la réalisation de couvertures de bâtiment et de bardages. Sous l'action des charges transversales, ces profils travaillent généralement en flexion. Les parties soumises à la compression et au cisaillement sont propices à des instabilités de voilement local ;

- **les profils dits « longs »** : pannes, lisses, poutres, solives, poteaux (figure 2). Ces profils sont utilisés pour des structures à barres où ils peuvent être soumis à une ou plusieurs des sollicitations suivantes :

- flexion dans une ou deux directions perpendiculaires à leur axe,
- torsion,
- compression.

Ils sont principalement exposés à des instabilités locales (voilement) ou d'ensemble (flambement par flexion ou par flexion-torsion, déversement).

Ces deux types de profil sont formés à froid par différents procédés tels que profilage, pliage, cintrage, développés dans le chapitre 2.2.



Figure 1 – Exemples de profils « larges »



Figure 2 – Exemples de profils « longs »

1.3 Avantages et inconvénients des éléments formés à froid

■ Par rapport aux produits laminés à chaud, les produits formés à froid présentent de nombreux **avantages**, tels que :

- facilité de réalisation de formes géométriques optimales par rapport aux exigences mécaniques et fonctionnelles ;
- légèreté ;
- meilleures performances mécaniques des éléments par unité de poids ;
- durabilité (résistance à la corrosion), grâce à la protection systématique efficace (zinc, pré-laquage, revêtement plastique) appliquée dans l'usine sur le matériau de base (les différents procédés sont détaillés dans le chapitre 2.3) ;
- facilité de recyclage ;
- facilité du transport (souvent les produits sont empilables, donc occupent un faible volume lors du transport) ;
- facilité et rapidité de mise en œuvre grâce à la « manu portabilité » et à la précision des dimensions ;
- possibilité de correction acoustique ;
- aspect esthétique grâce au revêtement durable et harmonieux, facile à adapter en fonction de l'environnement et des exigences architectoniques.

■ Quant aux **inconvénients** des produits formés à froid, ils résultent essentiellement de leurs particularités dont il y a lieu de tenir compte. Il s'agit des propriétés mécaniques citées dans le chapitre 3, ainsi que des conditions à respecter lors du transport, stockage et manipulation lors du montage, étant donné que ces produits sont plus sensibles à des endommagements et altérations du fait de leur faible épaisseur et d'une certaine sensibilité des revêtements.

2. Fabrication

2.1 Matériaux – Produits de base

Les produits de base sont des bandes laminées à chaud ou à froid adaptées au formage à froid et à la galvanisation, d'épaisseur 0,45 à 15 mm et de largeur allant jusqu'à 2 000 mm.

Dans la pratique courante, les produits larges sont réalisés en épaisseurs de 0,5 à 1,5 mm ; les produits longs le sont en épaisseurs de 1,5 à 4 mm.

Les limites d'élasticité du matériau de base vont de 235 à 420 N/mm², pour des aciers ordinaires, et jusqu'à 700 N/mm², pour des aciers à haute limite d'élasticité (HLE). On remarque que l'emploi des aciers HLE est peu fréquent dans la pratique courante.

2.2 Mise en forme

La mise en forme des produits se fait par des opérations de :

- **pliage** (figure 3) ;
- **profilage en continu** (figure 4) ;
- **cintrage** (figure 5) ;
- **bossage** (figure 6).

2.3 Traitement de surface

La corrosion est un processus électrochimique qui, sous l'effet de l'oxygène et de l'eau, transforme l'acier en hydroxyde de fer (rouille). En raison de sa structure poreuse, la rouille permet une progression de l'oxydation vers l'intérieur et la détérioration progressive de l'élément.



Figure 3 – Opération de pliage dans l'usine PRIVE S.A. à Chalons en Champagne



Figure 4 – Entrée de la tôle en ligne de profilage dans l'usine PRIVE S.A. à Chalons en Champagne



Figure 5 – Cintrage lisse de la tôle à la sortie de la ligne de profilage dans l'usine PRIVE S.A. à Chalons en Champagne

L'acier est un matériau corrosif. À ce titre, sa surface doit être protégée. Une telle protection est en général réalisée, avant le profilage, à l'aide des moyens suivants :

- revêtements métalliques ;
- pré-laquage (réalisé avant le profilage à froid) ;
- revêtement plastique ;
- émaillage.

■ On distingue le **revêtement métallique** à base de zinc et le revêtement allié (zinc + autre métal), tous deux réalisés par immersion à chaud en continu (méthode appelée Sendzimir, du nom de l'ingénieur polonais, inventeur du procédé).



Figure 6 – Opération de bossage dans l'usine ArcelorMittal à Strasbourg

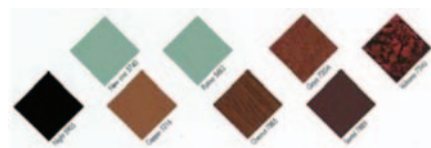


Figure 7 – Exemple d'un coloris en tôle prélaquée (Crédit : « Colorissime by Arval », ArcelorMittal)



Figure 8 – Bardage en tôle pré-laquée. Cité du Train Mulhouse. Architecte : Atelier F. Seigneur & S. De La Sure (Crédit : ARVAL-Guide des Matières)

La durabilité des protections métalliques est de l'ordre de 20 à 50 ans, en fonction du type et de l'épaisseur du revêtement.

■ Le **pré-laquage** et le **revêtement plastique** sont appliqués en complément des revêtements métalliques. Ils présentent une grande variété d'options en ce qui concerne les épaisseurs, les coloris et les textures (figures 7 et 8). En dehors des aspects architectoniques et esthétiques, ils augmentent considérablement la durabilité des produits vis-à-vis de la corrosion.

■ L'**émail**, vitrifié par cuisson au four à 830°, apporte une résistance très durable à la corrosion, ainsi qu'aux UV et graffitis. Il permet d'obtenir des couleurs et des motifs très variés sur la surface de la tôle (figure 9).



Figure 9 – Façade de la maison d'étudiants à Rüsselsheim.
Architecte : Wendelin Wolf, artiste : Herbert Martius

Toutefois, la teinte des différents types de revêtement évolue dans le temps sous l'influence de facteurs vieillissants, tels que les intempéries (pluies acides) et les rayons UV. Le vieillissement de la teinte est un phénomène naturel qui n'est pas préjudiciable à la durabilité de la surface, mais qu'il importe de garder à l'esprit lorsqu'il s'agit de remplacer certains éléments abîmés ou détériorés par des éléments neufs.

3. Particularités du comportement mécanique des éléments formés à froid

3.1 Effets du formage à froid

Lors du profilage à froid, on profite d'une des propriétés les plus importantes de l'acier : la ductilité. Celle-ci permet au matériau de subir des déformations plastiques importantes au cours du processus de fabrication puis, au terme de celui-ci, de conserver des déformations permanentes, sans que la structure interne du matériau soit significativement altérée.

La relation entre la contrainte σ et la déformation ε d'un élément sous la traction est montrée sur la figure 10 où on distingue les phases suivantes.

■ Phase élastique

La déformation est réversible, c'est-à-dire qu'après le déchargement il y a un retour à la dimension initiale de l'élément. La relation σ/ε reste quasi constante et est appelée « module d'élasticité » (voir figure 10) :

$$E = \tan \alpha = \sigma / \varepsilon$$

Pour la pratique des calculs, on admet que cette linéarité vaut jusqu'à une contrainte maximale f_{yb} appelée « limite d'élasticité du matériau de base ».

■ Phase d'écoulement plastique

L'allongement de l'élément croît, tandis que la contrainte oscille légèrement autour d'une valeur pratiquement constante. À titre de

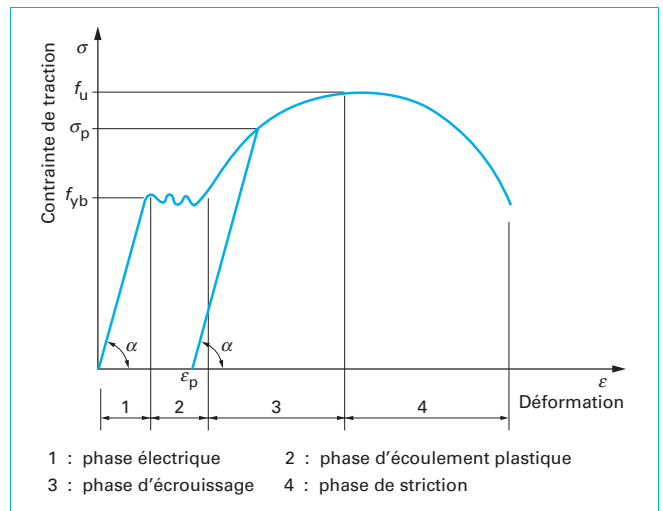


Figure 10 – Relation contrainte de traction σ - déformation ε

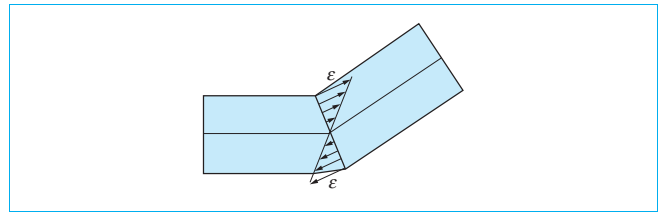


Figure 11 – Distribution des déformations (ε) dans l'angle de pliage

simplification, on y substitue un plateau horizontal d'ordonnée f_{yb} (voir figure 10).

■ Phase d'écrouissage

Au terme de la phase précédente, tout nouvel allongement ne peut être obtenu qu'en accroissant le chargement (voir figure 10).

Le déchargement à partir d'un niveau de contrainte σ_p atteint au cours de cette phase entraîne un retour élastique suivant la même pente α que celle observée en phase 1, de sorte qu'au terme du déchargement complet, il subsiste une déformation permanente irréversible ε_p .

Au cours d'un chargement à partir de l'état ainsi obtenu, il y a, tout d'abord, un comportement élastique suivant la pente α jusqu'à la contrainte σ_p , qui devient donc la nouvelle limite d'élasticité du matériau écroui, puis suivant la courbe de déformation du matériau vierge (matériau de base). La contrainte maximale que l'on peut atteindre au cours de cette phase est appelée « résistance ultime » f_u .

On note que celle-ci n'est pratiquement pas modifiée par l'écrouissage. Il en résulte que l'écrouissage a pour effet de réduire l'écart entre la résistance ultime f_u et la limite d'élasticité f_y (ductilité) du matériau ; la ductilité s'en trouve donc réduite.

Dans le cas du formage à froid, les déformations plastiques se produisent dans les angles de pliage avec pour résultat un écrouissage et un relèvement de la limite d'élasticité des zones correspondantes (figure 11). Ce phénomène constitue une des principales particularités des produits formés à froid.

■ Phase de striction

L'allongement croît, alors que la contrainte, calculée sur base de l'aire initiale de la section transversale, décroît. Ceci est dû à la réduction substantielle de la section de l'élément (voir figure 10).

3.2 Efficacité de la section comprimée et/ou fléchi

Avant de parler de la « section efficace », référons-nous à la section formée à froid du type de la figure 12.

Une **membrane libre** est une partie soumise à un flambement provoquant une distorsion de la section.

En raison de leur élancement, mesuré par le rapport largeur/épaisseur, les parois planes, totalement ou partiellement comprimées sur leur largeur, sont propices à une instabilité par voilement.

C'est **par exemple** le cas de la semelle supérieure de la section « en chapeau » soumise à flexion positive autour de son axe principal yy , illustrée sur la figure 13.

Les fibres longitudinales de la semelle comprimée les plus affectées par les déplacements transversaux de voilement se situent au voisinage de la mi-largeur de cette paroi. En raison de leur courbure, elles perdent une part plus importante de leur rigidité longitudinale que les fibres voisines des bords de la paroi. La partie centrale contribue donc moins à la résistance de la section et, par conséquent, est négligée dans le calcul. Ceci conduit à la notion de « largeur efficace » des parois.

Les raidisseurs et les membrures libres sont soumis à l'instabilité par flambement. Pour les raidisseurs, la perte de résistance qui en résulte est prise en compte au travers d'une réduction des épaisseurs ; ceci conduit à la notion d'« épaisseur efficace » des parties correspondantes de la section. L'instabilité des membrures libres est prise en compte en calculant leur longueur de flambement et le coefficient de flambement qui en résulte.

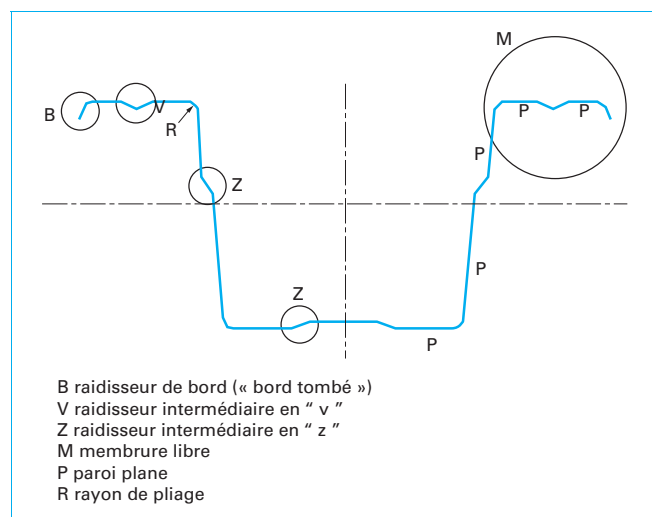


Figure 12 – Terminologie pour la description de la section

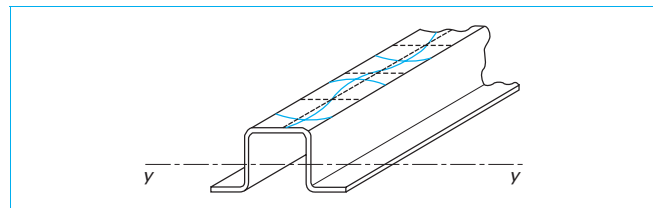


Figure 13 – Voilement d'une paroi plane comprimée sous l'effet de flexion autour de l'axe y

En résumé, pour définir la section efficace, on calcule :

- les **largeurs efficaces des parois planes** (totalement ou partiellement) comprimées « p » en fonction de leur instabilité locale (voilement) ;
- les **coefficients de flambement et épaisseurs efficaces des raidisseurs comprimés** « a », « b » et « c » en fonction de leurs instabilités transversales (flambement par flexion) ;
- la **capacité des membrures libres** « m » à la compression en fonction de leurs instabilités latérales (flambement par flexion).

On attire l'attention sur le fait que les épaisseurs nominales des profils galvanisés formés à froid sont des épaisseurs hors-tout, c'est-à-dire y compris le revêtement en zinc. La section résistante et, en particulier, la section efficace, est une section en acier. Elle est donc définie sur la base de l'épaisseur « nette », c'est-à-dire à l'exclusion des couches de galvanisation.

Exemple, pour le revêtement couramment pratiqué à raison de 275 g/m² de zinc, il convient d'enlever 0,04 mm au total des deux faces de l'épaisseur nominale pour obtenir l'épaisseur nette.

3.3 Résistance de la section à l'action d'une charge transversale concentrée

Sous l'action d'une charge concentrée transversale (par exemple, la réaction sur appui, il y a lieu de vérifier la résistance de l'âme) l'écrasement, aussi appelé « poinçonnement », est illustré sur la figure 14.

3.4 Déformation transversale de la section

Lorsque la semelle d'un élément fléchi est large, elle est soumise à une déformation transversale « u » illustrée sur la figure 15, provoquant une distorsion de la section (phénomène dit « poussée au vide »). Cette déformation peut conduire à un changement significatif des caractéristiques géométriques et mécaniques de la section.

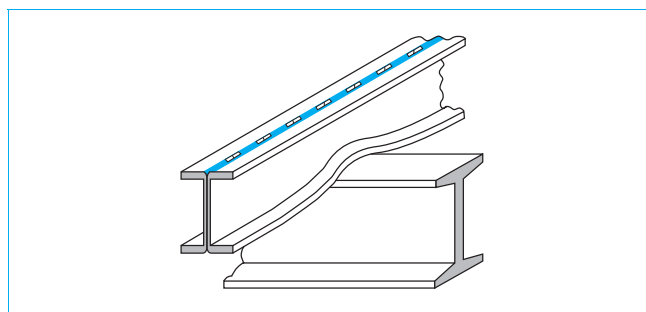


Figure 14 – Écrasement (poinçonnement) d'âme sur appui

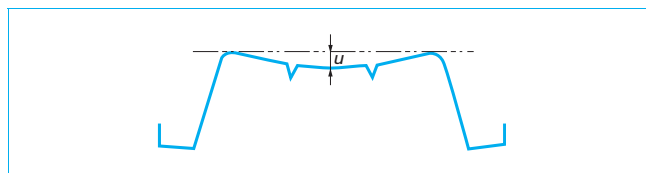


Figure 15 – Déformation transversale de la section d'un élément fléchi

4. Exigences normatives pour l'exécution des structures à partir des produits formés à froid

Sur le plan européen, les exigences pour l'exécution des structures en acier, en général, et celles fabriquées à partir des produits formés à froid, en particulier, font l'objet des normes européennes EN 14782, EN 14783 et EN 1090-2 (voir [Doc. C 2 517]). La conformité à ces normes conditionne l'obtention des marquages CE.

Les deux premières normes définissent la terminologie, les exigences et les méthodes d'essais relatives aux plaques nervurées utilisées pour la mise en œuvre des couvertures sèches et supports d'étanchéité. La 3^e norme s'applique aux structures calculées selon la partie appropriée de la NF EN 1993. Concernant les éléments

formés à froid, il s'agit de la partie 1-3, désignée NF EN 1993-1-3. On y traite notamment :

- les classes d'exécution ;
- les normes pour les aciers utilisés pour le formage à froid ;
- les tolérances sur l'épaisseur ;
- les exigences relatives à l'état de surface ;
- les exigences vis-à-vis des fixations mécaniques ;
- les prescriptions concernant les phases :
 - de fabrication : formage, coupage, perçage (tolérances et jeux des boulons), soudage,
 - de manutention et de stockage,
 - de montage ;
- le traitement de surface ;
- les contrôles, les essais et les réparations ;
- les tolérances géométriques (il s'agit bien entendu de tolérances à l'état de livraison) :
 - tolérances requises pour répondre aux critères de la résistance mécanique et de la stabilité de la structure, appelées « **tolérances essentielles** », (voir tableau 1),
 - tolérances requises pour répondre à d'autres critères, par exemple bonne concordance d'assemblage ou aspect, appelées « **tolérances fonctionnelles** » (voir tableau 2).

Tableau 1 – Exemples de tolérances essentielles	
Spécificités	Schéma
Largeur d'élément interne (largeur <i>A</i> entre les plis) $\Delta = A/50$	
Largeur d'élément en saillie (largeur <i>B</i> entre un pli et un bord libre) $\Delta = B/80$	
Rectitude des éléments non maintenus latéralement $ \Delta = L/750$	
Planéité des semelles ou des âmes raidies ou non $\Delta = b/50$	
Courbure des semelles ou des âmes $\Delta = b/50$	

Tableau 2 – Exemples de tolérances fonctionnelles	
Spécificités	Schéma
Planéité (convexité ou concavité) : $ \Delta = D/50$ (classe 1) ou $D/100$ (classe 2)	
Rayon de pliage $ \Delta = 2$ mm (classe 1) ou 1 mm (classe 2)	
Angle de pliage $ \Delta = 3^\circ$ (classe 1) ou 2° (classe 2)	
Déviations de fixation du bac sur la semelle de la panne par rapport à la position visée $ \Delta = b/10$, $ \Delta = 5$ mm	
Rectitude des pannes dans le plan de la toiture $ \Delta = L/300$	

La 2^e norme spécifie trois « classes de construction » associées aux conséquences d'une ruine, définies comme suit (NF EN 1993-1-3) :

- **classe de construction I** : construction dans laquelle des profilés et des plaques, formés à froid, sont calculés pour contribuer à la résistance et à la stabilité globale d'une structure (lorsque, par exemple, la couverture remplace une poutre au vent grâce à la rigidité dans son plan – effet appelé « diaphragme ») ;
- **classe de construction II** : construction dans laquelle des profilés et des plaques, formés à froid, sont calculés pour contribuer à la résistance et à la stabilité d'éléments structuraux individuels (lorsque, par exemple, le bac acier stabilise les pannes vis-à-vis du déversement) ;
- **classe de construction III** : construction dans laquelle les plaques formées à froid sont utilisées comme élément assurant uniquement un transfert de charges à la structure.

Cette distinction doit être prise en compte dans les conditions d'assurance et de responsabilités des intervenants dans l'acte de construire.

5. Mise en application

5.1 Principes généraux de conception

■ **D'une manière générale**, il convient d'abord, lors de la conception d'un ouvrage en produits formés à froid, d'observer l'ensemble des informations données précédemment, que l'on peut résumer ainsi :

- **dans le calcul, prendre en compte les phénomènes suivants** :
 - torsion,
 - voilement local,
 - déformabilité transversale des sections,
 - résistance des âmes sous des charges concentrées ;
- **tirer profit de l'interaction entre l'enveloppe et les éléments de structure** due à ce qui est connu sous l'appellation « effet diaphragme »).

■ **Dans la conception de l'ouvrage**, il doit être tenu compte du fait que le zinc (ou alliage de zinc) peut subir une corrosion plus ou moins importante lorsqu'il est associé (au contact direct) à certaines matières, telles que :

- carbone ;
- fonte ;
- chrome ;
- cuivre ;
- bronze ;
- aluminium (dans une moindre mesure).

■ **Un point particulier concerne l'intégrité sous l'action de feu**. Les dispositifs de protection sont, en général, les mêmes que ceux utilisés pour les structures métalliques classiques, à savoir une protection rapportée sur l'acier par le biais de :

- peinture intumescente ;
- produits projetés (flocage) ;
- produits en plaque (plâtre, fibrociment) ;
- laines de roche ;
- protection par écran (cloisons, plafonds suspendus) ;
- irrigation ;
- enrobage de béton.

Il est à noter que les planchers collaborants, conformément à la norme NF EN 1994-1-2 et aux principes des Avis Techniques du CSTB, présentent une résistance au feu d'une demi-heure, sans moyens de protection supplémentaires. Au delà d'une demi-heure, des barres d'armature doivent être prévues dans les creux de nervures pour assurer cette résistance.

■ **Dans la conception des toitures**, l'architecte a le choix entre deux systèmes équivalents :

- toiture composée de pannes posées sur les traverses de portiques et de bacs de faible portée (environ 3 m) posés sur les pannes ;
- toiture en bacs de grande portée (environ 5 – 6 m), posés directement sur les traverses de portiques.

La tradition et l'expérience du passé veulent que, sur le marché français, soit pratiqué le premier de ces systèmes, tandis que, par exemple, en Allemagne le second est le plus souvent rencontré.

5.2 Question du choix optimal des produits

D'habitude, les produits formés à froid sont destinés à être fabriqués industriellement, en grosses quantités. Cela veut dire que, raisonnablement, l'optimisation de ces produits doit se faire par rapport à des modalités d'emploi représentatives, susceptibles de se reproduire le plus fréquemment. Il ne peut donc pas y avoir de produit universellement performant, indépendamment des conditions de son utilisation, qui, en général, sont très variées.

L'utilisateur n'a normalement pas d'influence sur la forme et les caractéristiques du produit qu'il cherche. Pratiquement, sur le marché des produits existants, il doit choisir (dans les catalogues des profileurs) celui qui correspond le mieux à ses critères de choix, tels que :

- prix ;
- facilité de transport ;
- conditions de stockage ;
- conditions de mise en œuvre :
 - possibilité de découpes et d'ajustements des dimensions des éléments,
 - tolérances géométriques,
 - dispositifs de fixations et d'assemblages,
 - poids des éléments (« manu portabilité »),
 - utilisation requise ou non d'engins de levage,
 - temps de montage, etc. ;
- performances :
 - mécaniques,
 - acoustiques,
 - thermiques ;
- qualités esthétiques ;
- exigences architectoniques ;
- durabilité ;
- facilité de modifications, de reconstruction, de démontage, etc.

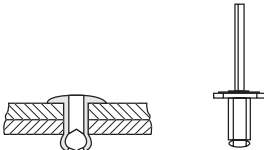
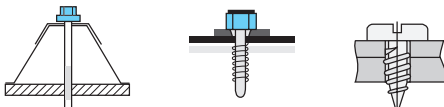

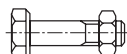
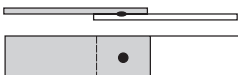
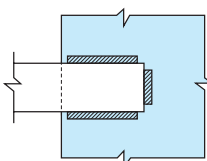
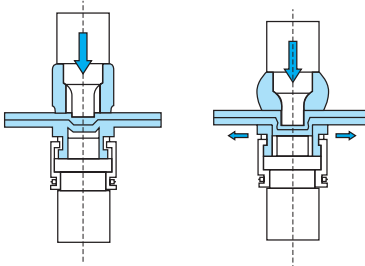
Souvent, lors du choix, il faut trouver un compromis, étant donné qu'il peut être difficile, voire impossible, de satisfaire parfaitement toutes ces exigences à la fois.

Dans le cas de commandes de tonnages importants, on peut imaginer qu'un fabricant accepte de produire un produit hors catalogue aux dimensions expressément précisées par le client ou le bureau d'études. Il va sans dire que le délai de livraison de tels produits à la demande s'en trouve souvent allongé.

5.3 Assemblages

Les principes de calcul des assemblages des éléments formés à froid sont donnés dans la norme européenne NF-EN 1993-1-3. Les assemblages peuvent être réalisés au moyen des dispositifs du tableau 3.

Tableau 3 – Schémas de dispositifs d'assemblage suivant la norme NF-EN 1993-1-3

Assemblages	Schémas
Fixations mécaniques : <ul style="list-style-type: none"> • Rivets aveugles 	
<ul style="list-style-type: none"> • Vis auto-taraudeuses 	
<ul style="list-style-type: none"> • Clous à scellement 	
<ul style="list-style-type: none"> • Boulons 	
Soudures par points	
Soudures à clin	
Clinchage (par exemple ATTEXOR Clinch Systems)	
Collage	

5.4 Manutention

5.4.1 Transport

Le colisage des produits avant l'expédition est réalisé par l'industriel sur le site de production, avec tous les soins qui s'imposent pour garantir un maximum de protection contre des détériorations et endommagements lors de la manutention en usine et sur site, ainsi que durant le transport (figure 16).

En cas de besoin, une protection du revêtement organique est réalisée à l'aide de films auto-adhésifs. Néanmoins, pour le transport des aciers à revêtement métalliques, des précautions élémentaires, mais indispensables, doivent être prises. Il s'agit en particulier :

- d'éviter les chocs mécaniques ;
- d'éviter les expositions aux intempéries climatiques ;
- de proscrire l'exposition des produits à la condensation ou à l'humidité ;
- de respecter l'espacement des points de levage lors des déplacements des fardeaux (figure 17).

5.4.2 Stockage

Lorsque les produits formés à froid se trouvent empilés ou colisés, leur surface galvanisée, qu'elle comporte ou non un prélaquage, est sensible au contact prolongé de l'eau pouvant provenir de pluies ou de condensation de l'humidité lors du stockage sur chantier.

Les mesures de protection à mettre en œuvre sont les suivantes :

- les produits ne peuvent pas se trouver au contact direct du sol, mais doivent être posés sur des cales ;
- les produits doivent être stockés en position inclinée afin d'éviter toute retenue d'eau ;
- on doit éviter tout contact des produits afin que l'air puisse circuler librement entre eux.



Figure 16 – Bacs collaborants Cofraplus 60 préparés à l'expédition dans l'usine d'ArcelorMittal à Strasbourg



Figure 17 – Exemple d'espacement des points de levage du déplacement des aciers

À cet égard, un point particulier réside dans l'apparition de rouille blanche. La présence d'eau stagnante et d'oxygène sur les surfaces galvanisées favorise la formation de taches blanchâtres constituées d'hydroxyde et d'oxyde de zinc, matériaux pulvérulents peu adhérents et non protecteurs. Ces tâches ont l'inconvénient de nuire à l'aspect, sans toutefois diminuer généralement la résistance à la corrosion. Elles s'éliminent avec le temps sous l'effet des intempéries. Cependant, elles doivent impérativement être éliminées avant application de toute peinture éventuelle.

5.4.3 Montage

Les règles de l'art en matière de montage des éléments métalliques formés à froid sont, en général, similaires à celles des éléments métalliques « classiques ». Cependant, il est utile de rappeler que :

– avant le montage :

- il doit être vérifié que l'ossature porteuse est réalisée conformément aux tolérances prévues et que les éléments ne présentent pas de défauts, ni de forme, ni d'aspect (absence de déformations locales et générales, de rouille blanche, de rayures ou de marquage de la surface revêtue),
- au cas où les éléments sont livrés avec un film de protection, il doit être retiré au fur et à mesure de la pose ;

– en cas de découpe et d'usinage sur chantier, il convient de :

- protéger le revêtement de peinture pour éviter tout dépôt de particules chaudes particulièrement nuisibles à l'aspect de la surface qui se verra corrodée ultérieurement,
- éliminer les bavures ;

– pour la sécurité du personnel, tout élément servant de plateforme de travail pendant le montage (par exemple, plaque de couverture ou de coffrage, solive), doit être au préalable fixé sur les supports. Toute circulation sur des éléments non fixés ou, le cas échéant, non étayés, est strictement proscrite ;

– il importe d'éviter le stockage des fardeaux en milieu de travée.

Il est recommandé de les disposer au droit des poutres, à condition toutefois de rester dans les limites de résistance de celles-ci ;

– avant de fixer les plaques de couverture sur les pannes, il convient de s'assurer que celles-ci restent sensiblement rectilignes. Cela concerne en particulier les profils en Z, qui sont généralement sollicités en « flexion déviée »).

5.5 Secteurs d'application, exemples de produits

Les éléments en acier formés à froid trouvent leurs applications principalement dans les constructions ressortissant aux domaines suivants :

- bâtiment ;
- stockage ;
- transport ;
- secteur automobile ;
- aéronautique ;
- construction navale.

Ci-après, on passe brièvement en revue des exemples de produits et de leurs applications dans le domaine du bâtiment (figures 18, 19, 20, 21, 22, 23 et 24).

■ Couvertures sèches (figures 18 et 19)

De telles plaques peuvent être cintrées à l'usine ou sur chantier (figure 19).

■ Supports de couverture (figure 20)

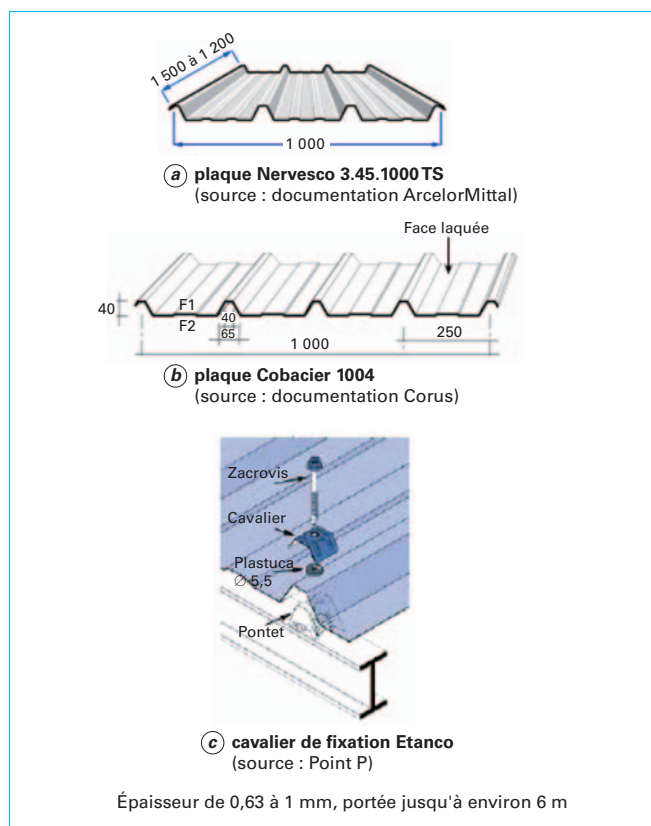


Figure 18 – Exemples de couvertures sèches

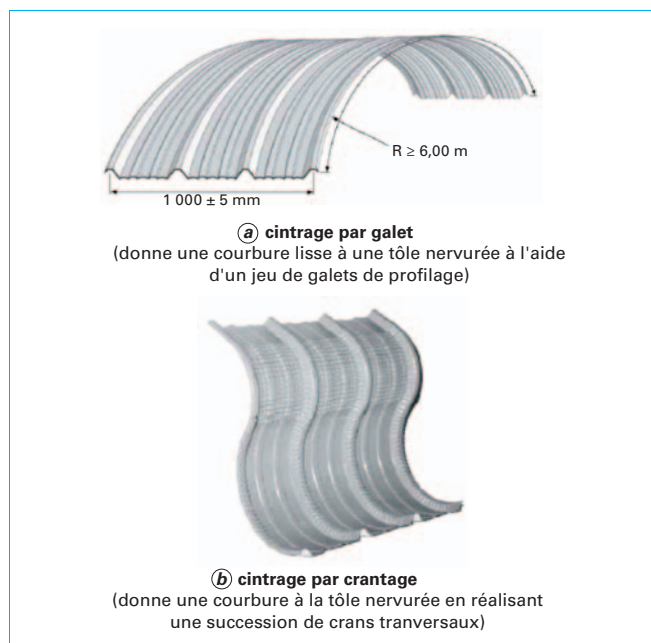


Figure 19 – Deux techniques de cintrage pratiquées à l'usine (Crédit : documentation ArcelorMittal)

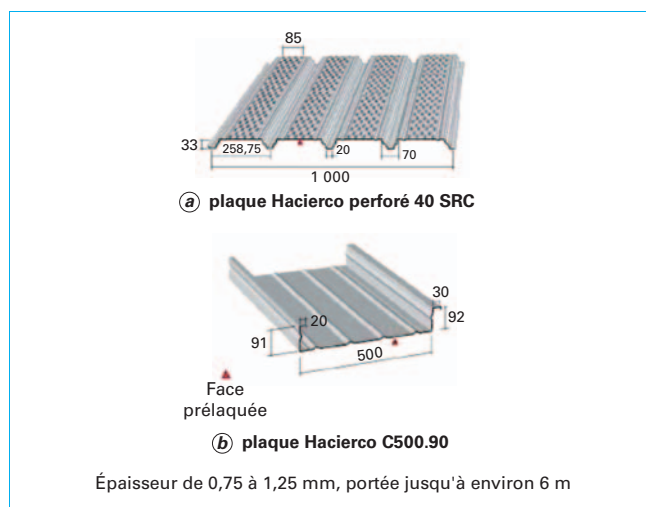


Figure 20 – Exemples de supports de couverture (Crédit : Arval)

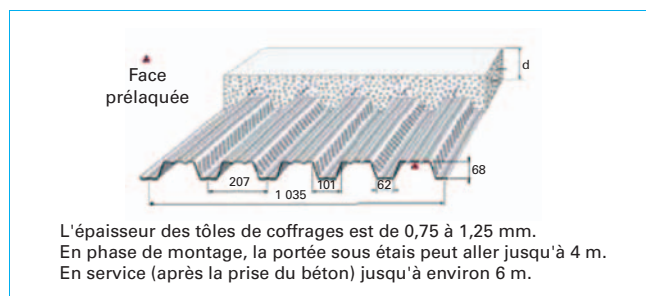


Figure 21 – Bac collaborant Cofraplus 60 (Crédit : Arval, Planchers Collaborants)

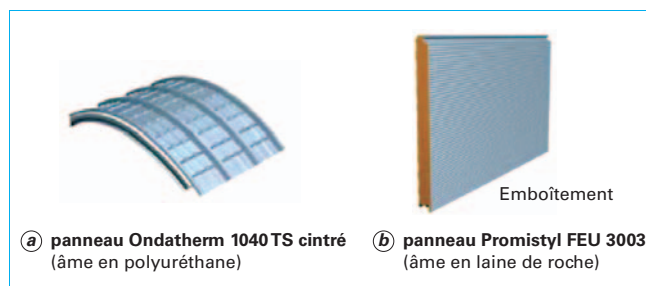
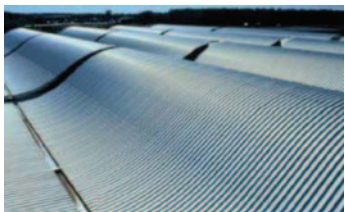


Figure 22 – Exemples de panneaux isolants (Crédit : Arval. Panneaux Sandwichs couverture)



Figure 23 – Profil Multibeam, PSB (Crédit : Arval-Empannage, Arval-Lissage)



(a) technocentre Renault
Architecte : Jean-François Schmit



(b) bâtiment ZENITH de Rouen
Architecte : Bernard Tschumi



(c) CNAM - Saint Denis (93)
Architecte : F / Delaugiers

Figure 24 – Exemples de bâtiments (Crédit : Arval)

■ Coffrages collaborants

Les coffrages collaborants sont des plaques nervurées munies de bossages sur les flancs et/ou sur les sommets de nervures (figure 21). Le coffrage constitue une plate-forme de travail pendant le coulage du béton. Après la prise du béton, l'acier s'accroche au béton grâce aux bossages et collabore avec celui-ci en travaillant comme l'armature inférieure du plancher.

Les planchers collaborants relèvent de la norme européenne NF EN 1994-1-1.

■ Panneaux isolants (« panneaux sandwichs »)

Les panneaux isolants sont utilisés pour les couvertures, les bardages et les parois intérieures (en particulier pour réaliser des enceintes frigorifiques). Ils sont constitués de parements extérieurs en acier et de l'âme à partir de :

- mousse de polyuréthane injectée ou contrecollée (figure 22a) ;
- mousse de polystyrène expansée ou extrudée ;
- laine de roche collée (figure 22b).

■ Pannes et lisses (figure 23)

■ Exemples d'application (figure 24)

6. Conclusion

Les informations données dans ce dossier sur les produits en acier formés à froid ne sauraient être exhaustives ni détaillées. Elles ont simplement pour objectif, d'une part, de familiariser le lecteur avec ces produits et, d'autre part, de faciliter et d'optimiser leur utilisation.

Tout d'abord, la définition des produits, la description de leurs propriétés mécaniques et la mise en évidence de leurs avantages et inconvénients doivent contribuer à faire connaître et à comprendre les différences de comportement par rapport aux produits classiques.

À partir de la présentation des exigences normatives et des principes de conception et de mise en œuvre, on peut tirer un profit optimal des nombreux avantages des divers produits formés à froid.