

## Chapitre 2

# LES ATOUTS DE L'ALUMINIUM

<b>1. La légèreté</b> .....	<b>23</b>
<b>2. La diversité des demi-produits</b> .....	<b>26</b>
2.1 Les produits moulés .....	26
2.2 Les demi-produits laminés .....	26
2.3 Les demi-produits filés .....	27
2.4 Les produits spéciaux .....	29
<b>3. La facilité de mise en œuvre</b> .....	<b>30</b>
<b>4. La tenue à la corrosion en milieu marin</b> .....	<b>30</b>
<b>5. L'impact sur l'environnement</b> .....	<b>30</b>
<b>6. Le recyclage</b> .....	<b>31</b>
<b>7. L'innovation</b> .....	<b>31</b>

## 2. LES ATOUTS

**B** IEN QUE ce soit une évidence, il faut néanmoins le rappeler : le premier atout de l'aluminium est d'être un métal – comme l'acier.

Les règles de calcul de la résistance des matériaux métalliques s'appliquent sans aucune difficulté parce que les demi-produits en alliage d'aluminium sont isotropes et homogènes dans la masse. Les propriétés mécaniques des alliages d'aluminium employés en construction navale sont stables dans le temps. Il n'y a pas de phénomène de « vieillissement » de la structure interne du matériau, comme ce peut être le cas pour les « plastiques ».

La construction des navires en aluminium relevant des règles et des pratiques de la chaudronnerie classique, il est possible de construire des navires à l'unité, de les réparer ou les aménager sans difficultés particulières et ce, quelles que soient les conditions climatiques (1).

L'aluminium, comme la plupart des métaux usuels, est ductile, en ce sens qu'il est capable de subir des déformations qui restent élastiques, si les contraintes ne dépassent pas la limite d'élasticité.

(1) Pourvu que les règles de soudage sous atmosphère contrôlée soient respectées, cf. chapitre 6.

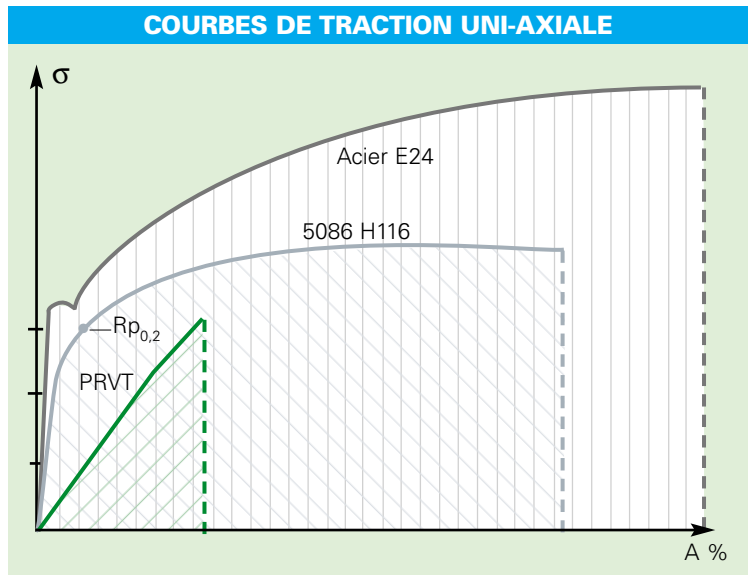


Figure 6

Si, par accident, la contrainte dépasse celle-ci, la déformation permanente (due à la plastification du métal) absorbe de l'énergie, proportionnellement à la surface hachurée de la courbe de la figure 6.

Il en résulte que, s'il y a choc, l'énergie est absorbée, en totalité ou en partie, par la déformation du métal, suivant l'intensité du choc et la masse de métal à l'endroit de l'impact. Le fait qu'il y ait une déformation possible avant rupture est un facteur de sécurité.

Mais le développement, continu depuis les années 1950, des appli-

cations marines de l'aluminium plus particulièrement dans la construction navale, s'explique par les atouts spécifiques qu'il présente :

- la légèreté,
- la disponibilité de demi-produits fonctionnels,
- la mise en œuvre,
- la tenue à la corrosion en milieu marin,
- le respect de l'environnement,
- le recyclage.

C'est pour ces raisons que l'aluminium contribue autant au développement des navires à grande vitesse et de nombreuses applications marines.

FEDERICO GARCÍA LORCA



# DE L'ALUMINIUM

## 1. LA LÉGÈRETÉ

L'aluminium est le plus léger des métaux usuels (tableau 3), sa densité est de 2,7, soit le tiers de celle des aciers. Une structure en alliage d'aluminium est donc toujours plus légère que son homologue en acier.

En théorie, la comparaison par rapport à l'acier peut être faite selon trois critères (tableau 4) :

■ à épaisseur égale, pour des structures non soumises à contraintes, le rapport des masses est égal à celui des densités :

$$\frac{m_{\text{alu}}}{m_{\text{acier}}} = \frac{2,70}{7,80} = 0,34$$

Si bien qu'une tonne d'acier est remplacée par 340 kg d'aluminium, le gain étant de 660 kg, soit 66 % par rapport à la structure en acier,

■ à rigidité égale, le rapport des modules d'élasticité est égal à 3, le rapport des épaisseurs des tôles dépend de la relation suivante :

$$E_{\text{acier}} \cdot e_{\text{acier}}^3 = E_{\text{alu}} \cdot e_{\text{alu}}^3$$

$$e_{\text{alu}} = e_{\text{acier}} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{acier}}}{E_{\text{alu}}}}$$

$$e_{\text{alu}} = \sqrt[3]{3} \cdot e_{\text{acier}}$$

Pour une surface unitaire de 1, le rapport des masses :

$$\frac{m_{\text{alu}}}{m_{\text{acier}}} = \frac{e_{\text{alu}}}{e_{\text{acier}}} \cdot \frac{d_{\text{alu}}}{d_{\text{acier}}}$$

$$\frac{m_{\text{alu}}}{m_{\text{acier}}} = \frac{2,70}{7,80} \cdot \sqrt[3]{3} = 0,499 \approx 0,50$$

est tel qu'une tonne d'acier est remplacée par 500 kg d'aluminium. Le gain en poids est de 50 % par rapport à l'acier,

■ à contrainte égale, pour des tôles, sur des structures non soudées, les limites d'élasticité étant de 220 MPa pour le *Sealium*<sup>®</sup> et de 355 pour un acier EH36, il faut vérifier que :

$$\sigma_{\text{acier}} \cdot e_{\text{acier}}^2 = \sigma_{\text{alu}} \cdot e_{\text{alu}}^2$$

$$e_{\text{alu}} = e_{\text{acier}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{acier}}}{\sigma_{\text{alu}}}}$$

$$e_{\text{alu}} = e_{\text{acier}} \cdot \sqrt{\frac{355}{220}}$$

$$e_{\text{alu}} = e_{\text{acier}} \cdot 1,27$$

Le rapport des masses :

$$\frac{m_{\text{alu}}}{m_{\text{acier}}} = \frac{2,70}{7,80} \cdot 1,27 = 0,44$$

est tel qu'une tonne d'acier est remplacée par 440 kg d'aluminium. Le gain en poids est de 560 kg, soit 56 % par rapport à l'acier.

SPiRiT OF ONTARIO



### PROPRIÉTÉS DE PLUSIEURS ALLIAGES D'ALUMINIUM ET MÉTAUX D'USAGE COURANT (\*)

Propriétés	5086 H111	5083 H111	Sealium® (**)	6082 T6	6005A T5	Acier E24	Acier E36	Acier inoxydable Z7CN18-09 État recuit	Cuivre État recuit M20
Masse volumique (kg.m <sup>-3</sup> )	2 660	2 660	2 660	2 710	2 700	7 820	7 820	7 900	8 940
Intervalle de fusion (°C)	585/640	574/638	574/638	570/645	607/654	1400/1530	1400/1530	1375/1400	1083
Coefficient dilatation linéique 20 à 100 °C (10 <sup>-6</sup> .K <sup>-1</sup> )	23,8	23,8	23,5	23,5	23,6	11,7	11,7	17,5	16,5
Module d'élasticité (MPa)	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	210 000	210 000	200 000	115 000
Limite d'élasticité, R <sub>p0,2</sub> (MPa)	120	125	220	260	260	240	360	300	70
Charge de rupture, R <sub>m</sub> (MPa)	240	275	305	310	285	410	550	660	235
Allongement A %	15	15	10	10	12	24	20	54	45

(\*) Les caractéristiques mécaniques indiquées dans ce tableau sont des valeurs, données à titre indicatif.

Tableau 3

(\*\*) 5383 H116.

### ALLÈGEMENT DES STRUCTURES EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

Comparaison	Critère	Aluminium	Acier	Gain potentiel
Épaisseur égale	Densité	2,7	7,8	66 %
Rigidité égale	Module d'élasticité	70 000 MPa	210 000 MPa	50 %
Contrainte égale	Limite d'élasticité	220 MPa	355 MPa	56 %

Tableau 4

**En pratique**, en tenant compte :

- du niveau de caractéristiques mécaniques des alliages d'aluminium employés dans les applications marines (2),

- de la limite d'endurance des joints soudés pour les structures soumises à chargement variable (3),

l'expérience montre que le gain de poids sur une structure en aluminium est de 40 à 50 % par rapport à la structure équivalente en acier E24 et de 30 à 40 % avec les aciers à haute limite d'élasticité (HLE) <sup>(1)</sup>.

Le gain de poids est d'autant plus important que les propriétés et les spécificités de l'aluminium sont prises en compte par le bureau d'étude et par le constructeur. L'expérience montre qu'une transposition « littérale » de structures en acier n'aboutit qu'à des résultats moyens, voire médiocres.

L'utilisation de profilés (et, aussi, des pièces en alliage d'aluminium moulées) est une bonne solution pour l'allègement des sous-structures, la tenue en fatigue des joints soudés et également l'esthétique, ainsi que l'illustrent les figures 10 à 17, pp. 28-29 et 48 à 50, pp. 66-67.

La comparaison des devis poids de deux navires à grande vitesse de 110 m de longueur montre que le gain de poids sur un navire tout aluminium est de 214 t, soit 34 % par rapport au navire équivalent en acier <sup>(2)</sup> (tableau 5).

À vitesse égale, ce gain de poids se traduit par une économie sur l'investissement de l'appareil propulsif, dont la puissance peut être inférieure de 20 % par rapport au navire équivalent en acier. L'économie sur la consommation de gazole est alors de l'ordre de 20 %.

La légèreté a plusieurs conséquences :

- lors de la fabrication : au chantier, les sous-structures en alliage d'aluminium, plus légères, sont plus faciles à manipuler et avec des engins de manutention moins puissants que pour celles en acier. Quand ils disposent de moyens de levage importants, certains chantiers mettent à profit cet allègement pour armer en atelier des sections de grands navires qui seront ensuite assemblées sur la forme (4),

(2) Cf. chapitre 3, tableau 18.

(3) Cf. chapitre 4, figures 48 à 50.

(4) Les zones de soudage sont alors soigneusement protégées par des bâches fixes de manière à éviter les courants d'air qui pourraient balayer les gaz de protection de l'arc.

### COMPARAISON DES POIDS DE NGV DE 110 MÈTRES EN ACIER ET EN ALUMINIUM (en tonnes)

	Navire aluminium	Navire acier (*)
Coque	280	504
Superstructure	70	70
<i>Sous-total</i>	<i>350</i>	<i>574</i>
Isolation	60	40
Peinture	5	15
Total	415	629
<b>Gain de poids</b>	<b>214</b>	

(\*) Coque acier et superstructure en aluminium.

Tableau 5

■ sur les propriétés nautiques du navire : l'allègement des masses dans les hauts du navire et les superstructures (que la coque soit en acier ou en alliage d'aluminium) a pour effet d'améliorer la stabilité du navire (5), donc de pouvoir diminuer sa largeur et de réaliser ainsi des navires plus fins, donc plus rapides, ■ en exploitation : à la même vitesse, le gain de poids sur un navire en aluminium se traduit par une économie de carburant appréciable. Cela est vrai quelle que soit la taille du navire.

Ce fait est confirmé par une étude comparative réalisée en 1990 par le Laboratoire d'hydrodynamique navale de l'École centrale de Nantes. La comparaison portait sur deux chalutiers ayant des puissances de capture équivalentes, c'est-à-dire ayant les même volume de cale, même appareil

propulsif et même équipement de pêche. L'un est construit en aluminium, l'autre en acier (tableau 6).

Les essais en bassin ont montré que la résistance de remorquage de la carène et la puissance correspondante sont nettement plus faibles pour le chalutier en aluminium que pour celui en acier (figure 7). Le gain total de performance du chalutier en aluminium augmente sensiblement avec la vitesse du navire, ces chiffres représentent aussi des économies sur la consommation par mille marin :

- à 8 nœuds, le gain est de 28 %,
- à 9 nœuds, le gain est de 39 %,
- à 10 nœuds, le gain est de 50 % (6).

Au-delà de 100 kW, on constate que, pour une même puissance de remorquage, le gain de vitesse est de 1 nœud avec le chalutier en aluminium.

L'amélioration des performances résulte de la combinaison de deux effets : l'effet direct de l'allègement et celui, indirect, apporté par l'aluminium dont la légèreté est mise à profit pour concevoir une carène plus fine. Quand on dissocie ces deux effets, on constate que l'élanement de la carène est responsable de la moitié du gain à 8 nœuds mais de 80 % à 10 nœuds.

Par ailleurs, des essais en autopropulsion ont montré que la finesse de la carène du chalutier en aluminium apporte une nette amélioration du sillage au niveau de l'hélice, ce qui permet d'espérer 3 à 5 points de rendement supplémentaires.

(5) Un gain de poids de 100 dans les « hauts » du navire se traduit par un gain de 700 sur la coque.

(6) Si tant est que le chalutier en acier puisse atteindre cette vitesse.

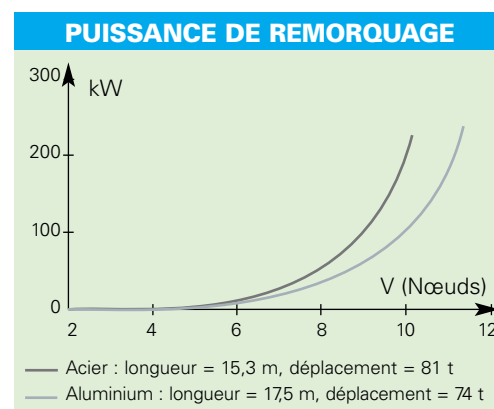


Figure 7

### CARACTÉRISTIQUES DES CHALUTIERS

Caractéristiques	Chalutier acier	Chalutier aluminium
Longueur hors tout (HT)	15,30 m	17,50 m
Longueur à la flottaison (LWL)	13,70 m	16,00 m
Largeur à la flottaison (BWL)	5,80 m	5,48 m
Tirant d'eau	2,05 m	1,78 m
Rapport LWL/BWL	2,36	2,52
Déplacement nominal (au départ à la pêche)	81 t	74 t

Tableau 6

## POIDS DE LA COQUE EN ALUMINIUM ET EN PRVT

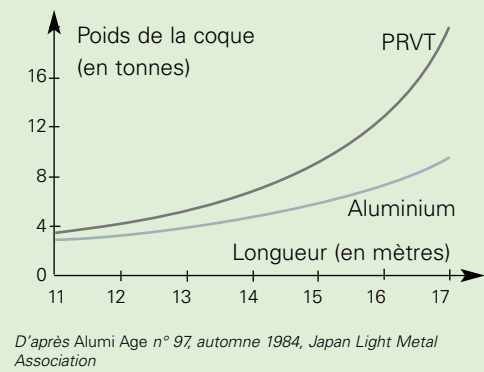


Figure 8

Par rapport aux matériaux composites, la comparaison ne porte que sur le polyester renforcé de fibres de verre (PRVT) (7). C'est le matériau le plus utilisé pour les navires utilitaires (pêche, service, etc.), sa densité est de l'ordre de 2,5. Pour ce type de bateaux, plus la longueur augmente, plus l'écart entre le PRVT et l'aluminium s'accroît (figure 8).

## 2. LA DIVERSITÉ DES DEMI-PRODUITS

Par rapport aux métaux usuels, l'aluminium a l'originalité et l'avantage d'offrir une large palette de demi-produits :

- moulés en fonderie de moulage,
  - laminés, tôles et bandes, tôles relief (8), tôles et bandes pré-laquées,
  - filés, standards ou personnalisés.
- Il est possible de réaliser à un coût raisonnable un outillage (filière) pour produire des profilés adaptés à un usage bien spécifique.

### 2.1 | Les produits moulés

Depuis 1950, la plupart des pièces d'accastillage qui équipent les bateaux de plaisance sont fabriquées en alliage d'aluminium à 3 ou 6 % de magnésium : 51100 (A-G3T) ou 51300 (A-G6).

En fonderie de moulage, il est possible de réaliser, en très petites séries, voire à l'unité, des pièces de structure aux formes complexes, dans des alliages présentant des caractéristiques mécaniques suffisantes pour des applications structurales, tels le 42100 (A-S7G03) ou le 42200 (A-S7G06). Ces alliages sont soudables et peuvent être assemblés avec des profilés en 6000.

Adaptées à des fonctions bien définies dans les trois directions de l'espace, les pièces moulées peuvent simplifier des assemblages.

### 2.2 | Les demi-produits laminés

Les gammes de laminage sont adaptées pour fournir aux chantiers navals des tôles minces, de moins de 12,7 mm, pour les bordés, les cloisons, etc., et des produits plus épais pour les fonds, les plats de quille, ou autres éléments de structure nécessitant de fortes épaisseurs.

La capacité des outils de laminage de nos usines de transformation permet de fabriquer des tôles jusqu'à 3 m de largeur et 15 m de longueur. Les dimensions maximales dépendent des états métallurgiques ainsi qu'il est indiqué, à titre d'exemple, dans le tableau 7 pour le 5083 et dans le tableau 8 pour le *Sealium*<sup>®</sup>.

Les moyens de parachèvement permettent de livrer des tôles planées, découpées à la scie avec des tolérances dimensionnelles confor-

mes aux exigences de la construction navale, en particulier pour l'accostage au soudage dont on connaît l'importance sur la tenue en fatigue des joints soudés (9).

Parmi les tôles spéciales, très utilisées en construction navale (planchers, marches d'escalier, etc.), il faut mentionner les tôles relief disponibles en 5083, 5086 et 5754 (figure 9).

(7) En anglais : FRP (fiber reinforced plastic).

(8) Encore appelées « tôles damier » ou « tôles plancher ».

(9) Cf. chapitre 6, paragraphe 7.

## MOTIFS DES TÔLES RELIEF



Figure 9

**EXEMPLE DE SPÉCIFICATIONS  
DES TÔLES EN 5083**

Épaisseur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	État métallurgique
$4 \leq e \leq 8$	2 500	15 000	F, O, H111, H112
$8 < e \leq 10$	2 500	12 500	
$10 < e \leq 12,7$	2 500	10 350	
$3,8 \leq e \leq 4$	1 830	15 000	H22, H32, H116, H321
$4 \leq e \leq 4,2$	2 100	15 000	
$4,2 \leq e \leq 4,5$	2 260	15 000	
$4,5 < e \leq 5,5$	2 400	15 000	
$5,5 < e \leq 8$	2 438	15 000	
$8 < e \leq 10$	2 438	12 500	
$10 < e \leq 12,7$	2 438	10 350	
$4 \leq e \leq 6,35$	2 000	15 000	
$6,35 < e \leq 8$	2 300	15 000	
$8 < e \leq 10$	2 300	12 500	
$10 < e \leq 12,7$	2 300	10 350	
$6 \leq e \leq 8$	2 500 à 2 800	8 000	F, O, H111, H112, H22, H24,
	2 800 à 3 050	6 000	
$8 < e \leq 10$	2 500 à 2 800	9 000	H34, H116, H 321
	2 800 à 3 050	8 000	
$10 < e \leq 12,7$	< 2 500	12 000	
	2 500 à 2 800	11 000	
	2 800 à 3 050	10 000	
$> 12,7$	$\leq 3 050$	12 000	

Jusqu'à 8 mm d'épaisseur et jusqu'à 15 000 mm de longueur, les tôles sont découpées à la cisaille.

Tableau 7

Pour les épaisseurs supérieures à 8 mm et jusqu'à 12 500 mm de longueur, les tôles sont sciées.

**EXEMPLE DE SPÉCIFICATIONS  
DES TÔLES EN SEALIUM®**

Épaisseur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)
$3,8 \leq e \leq 4$	1 830	15 000
$4 \leq e \leq 4,2$	2 100	15 000
$4,2 \leq e \leq 4,5$	2 260	15 000
$4,5 < e \leq 5,5$	2 400	15 000
$5,5 < e \leq 8$	2 438	15 000
$8 < e \leq 10$	2 438	12 500
$10 < e \leq 12,7$	2 438	10 350

Tableau 8

**2.3**
**Les demi-produits  
filés**

Contrairement à l'acier, l'aluminium se prête facilement à la mise en forme par extrusion. Alors que les profilés en acier, produits par laminage à chaud, n'ont que des formes très simples (en cornières, en T, en plats à boudin), les profilés en aluminium, pleins ou creux, peuvent avoir des formes très complexes bien adaptées à l'usage pour lequel ils sont prévus.

Le filage de l'aluminium est fait sur des presses à filer dont la puissance dépend de la forme, des dimensions des profilés et des alliages. C'est une opération discontinue faite à partir de billettes dont le diamètre dépend de l'encombrement du profilé.

Les profilés destinés à la construction navale et aux applications marines appartiennent principalement aux familles 5000 et 6000. Après filage, ils subissent les opérations de parachèvement (redressement, mise à longueur, etc.) et les traitements thermiques éventuels.

La forme et la géométrie du profilé sont données par une filière au travers de laquelle le métal est poussé. Chaque profilé doit avoir sa filière (en acier spécial). Contrairement à une idée reçue, le coût de la filière n'est pas excessif et peut être facilement amorti par les gains de poids et de productivité à l'assemblage.

Les équipements actuels permettent de sortir des profilés jusqu'à 700 mm de large.

Compte tenu de l'aptitude de l'aluminium à l'extrusion, *unique parmi les métaux usuels*, les profilés en aluminium ont pris une part de plus en plus grande dans

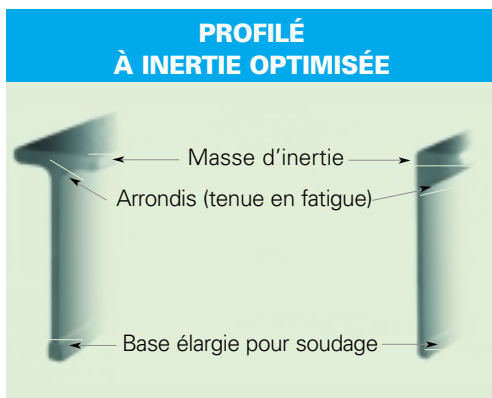


Figure 10

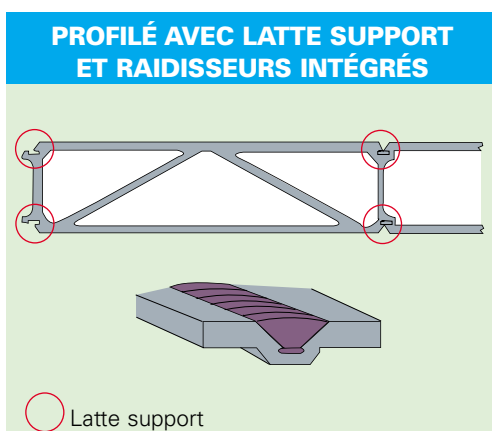


Figure 12

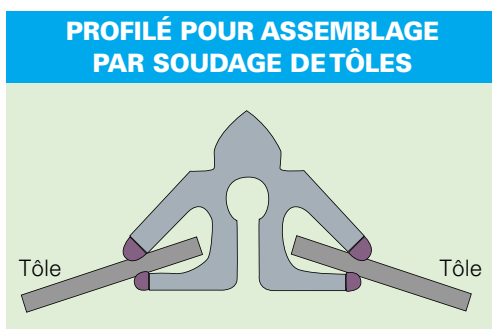


Figure 13

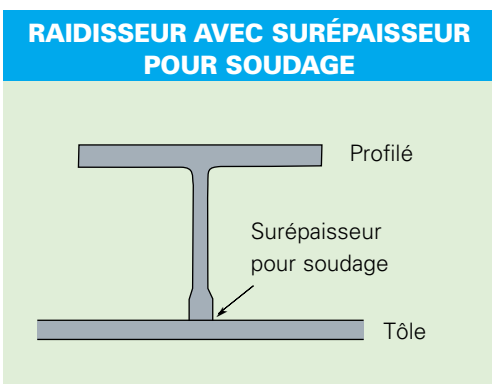


Figure 14

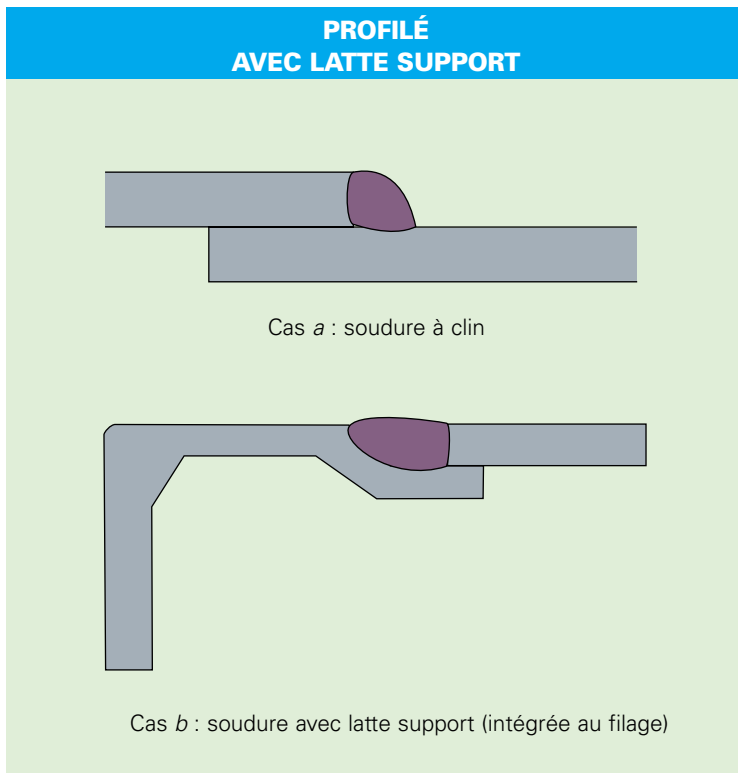


Figure 11

la construction navale. Ils apportent des avantages considérables en termes de réduction de poids (10), et de gain de temps et de précision à l'assemblage<sup>[3]</sup>.

Comme les produits moulés, mais sur une seule direction, il est possible d'intégrer des fonctions sur le profilé, par exemple :

- des masses d'inertie. La facilité de filage des alliages d'aluminium est telle qu'il est possible de répartir très finement les masses pour optimiser le poids unitaire du profilé (figure 10),

- des lattes support, pour le soudage de profilés entre eux ou de profilés avec des tôles. Ainsi que l'illustre la figure 11, avec un profilé comportant une latte support permanente, il est possible de remplacer une soudure d'angle (cas a) par une soudure bout à bout (cas b) dont la limite d'endurance

est supérieure. On peut combiner sur un profilé des lattes support et des raidisseurs (figure 12),

- des points de centrage ou d'alignement (figure 13),

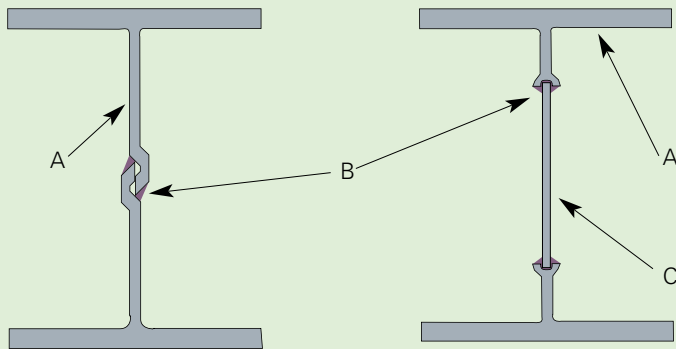
- des surépaisseurs localisées pour équilibrer les masses à souder (figure 14).

L'emploi de profilés permet de déplacer les soudures vers les zones les moins sollicitées (figures 15, 16 et 17). La tenue en fatigue des joints soudés en est ainsi nettement améliorée.

(10) Cf. l'exemple traité au chapitre 4.



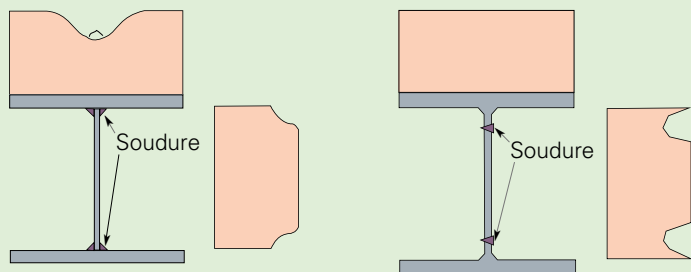
### POUTRE EN I RECONSTITUÉE À PARTIR DE PROFILÉS ET/OU DE TÔLES



- A : Profilés filés
- B : Soudure à clin
- C : Méplat filé ou tôle laminée

Figure 15

### CONTRAINTES SUR POUTRES EN I RECONSTITUÉES

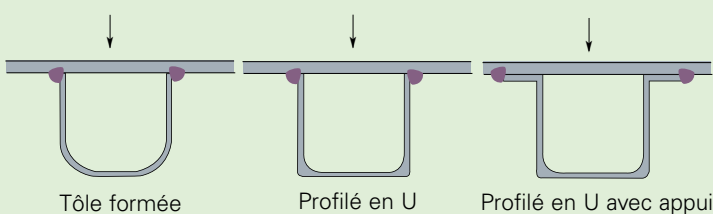


I reconstitué à partir de tôles

I reconstitué avec deux profilés en T et une tôle

Figure 16

### OPTIMISATION DE LA RÉPARTITION DES CONTRAINTES



Tôle formée

Profilé en U

Profilé en U avec appui

Figure 17

### PANNEAU SANDWICH EN NID D'ABEILLE

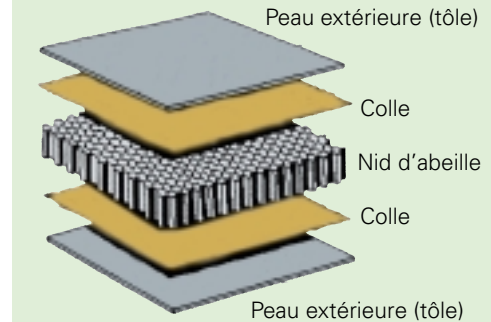


Figure 18

### 2.4 | Les produits spéciaux

Il ne s'agit pas de demi-produits, *stricto sensu*, mais de produits en alliage d'aluminium plus ou moins élaborés.

Les panneaux sandwich en nid d'abeille font partie de cette catégorie. Ils sont utilisés en construction navale comme panneaux intérieurs, murs rideaux, cloisons, etc. [4, 5].

Ces panneaux (figure 18) sont constitués de tôles entre lesquelles est disposé le « nid d'abeille » également en alliage d'aluminium (11). Ils présentent une très bonne rigidité du fait même de leur structure et, à condition de service identique, le gain de poids peut atteindre 30 % par rapport à des panneaux classiques en alliage d'aluminium sur lesquels sont soudés les raidisseurs.

Compte tenu de la minceur des constituants des structures en nid d'abeille et de la présence de la colle, ces produits ne sont pas soudables. Il en résulte qu'ils doivent être raccordés aux sous-structures classiques par vissage, rivetage, etc.

(11) La liaison étant assurée par un collage organique, pour être utilisées dans la construction navale, ces structures doivent subir les tests de tenue au feu suivant la résolution A.754 de l'OMI.

### 3. LA FACILITÉ DE MISE EN ŒUVRE

Sous réserve d'observer certaines règles spécifiques aux alliages d'aluminium, rappelées dans les chapitres suivants, leur mise en œuvre s'inscrit dans les pratiques habituelles de mise en forme, de pliage, de chaudronnage, d'emboutissage, d'usinage, en usage pour les autres métaux usuels tels que l'acier ordinaire, l'acier inoxydable, etc.

Pour travailler les alliages d'aluminium, dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire d'avoir des équipements ou des machines spécifiques. Par contre, il est recommandé d'affecter, autant que faire se peut, un atelier au travail des alliages d'aluminium, séparé de celui des aciers et surtout de celui des alliages cuivreux (12).

Tout comme les autres métaux usuels, les alliages d'aluminium se prêtent bien aux techniques d'assemblage telles que :

- le soudage,
- le boulonnage,
- le rivetage,
- le clippage,
- le collage, etc.

Du fait de sa bonne résistance à la corrosion, la surface de l'aluminium reste nette, elle ne tache pas ceux qui le manipulent.

### 4. LA TENUE À LA CORROSION EN MILIEU MARIN

Le milieu marin est connu pour être très éprouvant pour tous les matériaux. L'aluminium, comme le bronze, fait partie des rares métaux et alliages capables de résister dans ce milieu. Ils appar-

tiennent aux matériaux dits de « qualité marine », label qui marque une exceptionnelle résistance à la corrosion en milieu marin.

La légèreté et la tenue à la corrosion – dont les principaux aspects sont traités au chapitre 10 (13) – expliquent le développement des applications marines de l'aluminium depuis un demi-siècle.

Les alliages « marine », des familles 5000 et 6000 cumulent une excellente tenue à la corrosion en milieu marin et de bonnes caractéristiques mécaniques. Ils sont donc les plus appropriés pour les applications marines, dont la construction navale. Il n'est pas indispensable de les protéger par peinture ou par anodisation (14).

L'excellente tenue à la corrosion en milieu marin a plusieurs conséquences importantes pour les utilisateurs :

- l'intégrité dimensionnelle des composants, au point qu'il n'y a pas de « surépaisseur » de corrosion à prévoir sur la carène,
- la durée de vie des équipements ou des navires peut être très longue. Il n'est pas rare de trouver des pontons de ports de plaisance ou des bateaux qui ont plusieurs décennies de service. C'est l'obsolescence qui met un terme à leur service,
- l'aspect des équipements ou des navires est bien mieux conservé du fait de la très bonne tenue à la corrosion. La surface prend une « patine » qui s'intègre très bien dans l'environnement sans nuire à l'esthétique générale du milieu. Du fait que les produits de corrosion de l'aluminium sont blancs, si le métal vient à subir une corrosion par piqûres, il n'en résulte pas de dégradation d'aspect comme cela se voit sur l'acier, où la corrosion provoque des coulures de rouille,
- l'entretien est très réduit, même

si l'aluminium n'est pas protégé (ni peint, ni anodisé). Quand il est peint, la réfection des peintures est moins fréquente et moins urgente parce que le métal sous-jacent résiste bien à la corrosion.

### 5. L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La question de l'impact sur l'environnement est complexe. Elle dépend de plusieurs paramètres, dont par exemple :

- le matériau constitutif,
- la mise en forme du produit en chantier,
- les conditions d'exploitation,
- l'entretien,
- la fin de vie du produit.

Préalablement à la construction et à l'exploitation d'un navire ou d'un équipement, l'étude du projet est une étape importante dont va dépendre pour partie l'impact sur l'environnement. En arrêtant des dispositions constructives adaptées au matériau et aux conditions de service, la maintenance s'en trouve réduite, la tenue à la corrosion améliorée, etc. <sup>(6)</sup>.

La construction des équipements et des navires en alliage d'aluminium relève des opérations classiques de la chaudronnerie – découpage, mise en forme, soudage, etc. – qui sont décrites aux chapitres 5, 6 et 7 (15). Les progrès des techniques d'assemblage et des outils réduisent l'impact sur l'environnement.

(12) Pour éviter des risques ultérieurs de corrosion galvanique de l'aluminium.

(13) Cf. page 145.

(14) Sauf les œuvres vives qu'il faut peindre avec des peintures « antifouling » pour éviter l'accrochage des bio-salissures marines.

(15) Cf. pp. 73 à 128.

En allégeant les structures, dont celles des navires, l'aluminium induit une économie de carburant. Il a donc un impact positif sur les émissions de dioxyde de carbone.

La très bonne tenue à la corrosion des alliages marine dispense de peindre la majorité des surfaces intérieures du navire (16), des équipements du littoral ou de l'offshore. Ce faisant, l'économie faite sur la protection se traduit aussi par une forte réduction de l'impact sur l'environnement : pas de sablage, pas de rejet de composés organiques volatils (COV). Cela est valable pour toute la durée de vie du navire puisque les surfaces non peintes à l'origine ne le seront jamais.

La fin de vie des navires et des équipements (superstructures des navires en acier, des plates-formes pétrolières, etc.) en alliage d'aluminium s'insère parfaitement dans la pratique du recyclage de l'aluminium.

## 6. | LE RECYCLAGE

L'aluminium est l'un des métaux usuels dont le recyclage est le plus attractif tant pour l'aspect énergétique que pour l'aspect économique.

L'indice le plus probant de cette aptitude au recyclage est qu'on ne voit nulle part dans le monde du matériel ou des déchets en aluminium abandonnés ou mis en décharge. Cela est aussi vrai sur le littoral.

La re-fusion de l'aluminium ne coûte que 5 % de l'énergie d'élaboration du métal. La part de l'aluminium recyclé ne cesse de croître depuis 30 ans. Ainsi, elle atteint maintenant 30 % de la consommation mondiale.

Le recyclage de l'aluminium a toujours été une activité industrielle organisée (depuis les années 1930) et rentable parce que ses déchets ont une valeur intéressante. En Europe, quelles que soient les fluctuations du cours du métal de première fusion, la valeur des déchets triés est au moins de l'ordre de 600 euros la tonne.

Le recyclage de l'aluminium est organisé à chaque stade de la transformation (laminage et filage) et de la mise en œuvre dans les chantiers. Ainsi, tous les ateliers qui travaillent l'aluminium sont organisés pour récupérer les chutes de tôles et de profilés, qui sont revendues (17).

Le démantèlement des navires en aluminium n'est pas encore fréquent du fait de la faible ancienneté – moins de 30 ans – de la plupart d'entre eux.

Les rares expériences connues à ce jour montrent que le démantèlement d'un navire en alliage d'aluminium ne présente pas de difficulté particulière [7]. La valorisation des déchets sera d'autant plus facile que les alliages entrant dans la construction navale sont les mêmes partout, ils appartiennent aux familles 5000 et 6000.

## 7. | L'INNOVATION

La construction navale en aluminium bénéficie de la dynamique innovatrice de l'industrie de l'aluminium, que ce soit :

- pour l'amélioration des performances des alliages en cours depuis 1990 ; le *Sealium*® fait partie de ceux-là,
- pour les modes d'assemblages, dont le soudage par friction malaxage (FSW) et le collage,
- pour la diffusion des connaissances sur la mise en œuvre de l'aluminium, de la tenue à la corro-

sion en milieu marin ; cette brochure et la précédente [8] répondent aux besoins des professions concernées : architectes, armateurs, chantiers, etc.

(16) *Seules les œuvres vives doivent être peintes pour éviter la fixation des bio-salissures marines, cf. chapitre 11. Il est de tradition de peindre à la marque de l'armateur tout ou partie de la surface extérieure du navire, dans le seul but décoratif.*

(17) *En construction navale aluminium, la mise en œuvre n'est que de l'ordre de 115 %.*

### Références bibliographiques

- [1] « General considerations on high tensile steel versus aluminium alloy and technical aspects related to the aluminium construction », V. FARINETTI, Fincantieri, Naval Shipbuilding Division, *The Third International Forum on Aluminium Ships*, Haugesund, Norway, May 1998.
- [2] « L'utilisation de l'aluminium en construction navale », Christian GAUDIN, Alstom Leroux Naval Nantes, Conférence CETIM Senlis, nov. 1999.
- [3] « Development of value added aluminium extrusions for the marine market », J. GÖNNER, Corus Aluminium Extrusions, *4<sup>th</sup> International Forum on Aluminium Ships*, New Orleans, May 2000.
- [4] « Use of aluminium profile/honeycomb hybrid solutions in marine applications » R. J. DEAN, F. RITTER, Alusuisse, *The Third International Forum on Aluminium Ships*, Haugesund, Norway, May 1998.
- [5] « Aluminium honeycomb mezzanine ramps for Incat 95 metre high speed combination Ro-Pax catamarans », G. DAVIDSON, Incat Tasmania, M. TURNER, Hexcel Composites, *Third Conference Ausmarine*, Freemantle, Nov. 1998.
- [6] « Technologies for reduced environmental impact from ships – ship building, maintenance and dismantling aspects », B. HAYMAN, M. DOGLIANI, I. KVALE, A. MAGERHOLM FET.
- [7] « Research on aluminium ship recycling », N. ITOYAMA, Sky Aluminium Cie Ltd, *The Third International Forum on Aluminium Ships*, Haugesund, Norway, May 1998.
- [8] *L'Aluminium et la mer*, Pechiney Rhenalu, 1992.



HARD TOP YACHT