

# Chapitre 1

## L'ALUMINIUM, LE MÉTAL DE LA MER

1. Rappel historique .....	10
1.1 Les premiers balbutiements, de 1890 à 1900 .....	10
1.2 Allègement, sécurité et décoration des navires 1920-1950 .....	13
2. Le développement des alliages d'aluminium-magnésium de la famille 5000 .....	14
3. Les applications marines de l'aluminium .....	15
3.1 Les navires à grande vitesse .....	15
3.2 Le yachting et la plaisance .....	16
3.3 Les bateaux de service .....	16
3.4 Les superstructures des navires .....	16
3.5 L'offshore .....	17
3.6 L'équipement du littoral .....	17
4. L'innovation .....	17

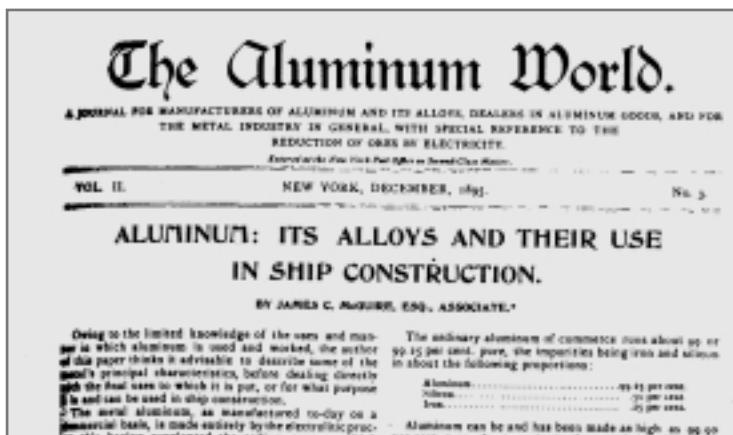
# 1. L'ALUMINIUM,

C'EST UNE vieille histoire qui date de plus d'un siècle, et qui est d'ailleurs concomitante à la naissance de l'industrie de l'aluminium.

L'industrialisation de la production de l'aluminium par électrolyse ignée commence en 1886 avec la mise en exploitation du brevet de Paul Louis Héroult en France et de Charles Martin Hall aux États-Unis.

Moins d'une décennie après, de 1891 à 1897, il y eut plusieurs tentatives d'utiliser l'aluminium dans la construction de bateaux en Europe et aux États-Unis. Bien qu'éphémères, ces expériences furent riches d'enseignement, les performances nautiques de ces bateaux dévoilèrent tout l'intérêt de l'aluminium pour les applications marines.

À partir des années 1930, l'aventure de l'aluminium dans la construction navale redémarre sur des bases nouvelles fondées sur des alliages adaptés et sur des modes d'assemblages qui n'ont cessé de progresser depuis.



The Aluminum World, décembre 1895<sup>[2]</sup>.

Figure 1

## 1. RAPPEL HISTORIQUE

Bien que beaucoup plus coûteux que l'acier, environ 30 fois plus en 1895<sup>[1]</sup> (1), les milieux de la mer s'intéressèrent très tôt à l'aluminium (figure 1). L'allègement fut d'abord la raison principale de l'utilisation de l'aluminium dans la construction navale.

(1) Ce rapport est de l'ordre de 4 à 5 en 2000, ramené entre 2 et 2,5 en tenant compte d'un allègement de 50 %.

### 1.1 Les premiers balbutiements, de 1890 à 1900

La première embarcation connue en aluminium, une « chaloupe à vapeur » de 5,50 m de longueur et de 1,28 m de largeur, avec un tirant d'eau de 0,61 m, fut construite en 1891 par le chantier suisse Escher Wyss à Zurich<sup>[3]</sup>. Elle pesait, coque nue, 440 kg. Ce bateau était propulsé par un moteur à vapeur fonctionnant au pétrole (figure 2).

L'AMPORELLÉ



# LE MÉTAL DE LA MER

Alfred Nobel, l'inventeur de la dynamite et le créateur du célèbre prix, commanda à ce même chantier un bateau, *Le Mignon*, de 13 m de longueur, 1,80 m de largeur et 0,61 m de tirant d'eau, qu'il amarra à quai devant sa villa à San Remo, en Italie. Ce bateau était aussi propulsé par un moteur à vapeur fonctionnant au pétrole. Lors des essais sur le lac de Zurich, *Le Mignon* atteignit la vitesse de 13 km/h<sup>-1</sup> (≈ 8 nœuds).

En France, un régatier fortuné, le comte Jacques de Chabannes de la Palice, fait dessiner par un architecte naval le premier voilier en aluminium de l'histoire : *Le Vendesne*. Il sera construit à Saint-Denis, près de Paris, et lancé le 6 décembre 1893.

C'est un voilier de 17,40 m de longueur hors tout, équipé d'une voile

de 180 m<sup>2</sup> pour un déplacement de 15 t. Le bordé en aluminium de 2 mm d'épaisseur, rivé sur des membrures en acier, fait économiser 40 % sur le poids de la coque.

S'inspirant de l'expérience du *Vendesne*, les tenants de la Coupe America firent réaliser en aluminium le bordé de leur bateau, *Le Defender*. Ainsi allégé, il gagna, sans coup férir, la Coupe America en septembre 1895 (figure 3).

Les marines militaires s'intéressèrent aussi à l'aluminium. C'est ainsi que la marine française commanda en 1894, au chantier anglais Yarrow & Co, le torpilleur *Le Foudre*. Ce navire mesurait 19 m de longueur, 2,80 m de largeur, et avait un tirant d'eau de 1,45 m pour un déplacement de 14 t. La coque nue ne pesait que 2 500 kg. Le bordé et les membru-



Chaloupe en aluminium (1891).

Figure 2

res avaient été fabriqués avec des tôles de 1 à 5 mm d'épaisseur [4].

Ce chantier construisit également, en 1895, un torpilleur pour la marine russe, *Le Sokol*, de 58 m de longueur (190 pieds). Propulsé par 4 000 CV, il atteignit la vitesse record pour l'époque de 32 nœuds [5].

Les superstructures de plusieurs navires de l'US Navy furent réalisées en aluminium et furent rapidement remplacées par... de l'acier [6].

## LE NGV ALISO



# The Aluminum World.

A JOURNAL FOR MANUFACTURERS OF ALUMINUM AND ITS ALLOYS, DEALERS IN ALUMINUM GOODS, AND FOR THE METAL INDUSTRY IN GENERAL, WITH SPECIAL REFERENCE TO THE REDUCTION OF ORES BY ELECTRICITY.

Entered at the New York Post Office as Second-Class Matter.

VOL. II.

NEW YORK, OCTOBER, 1895.

No. 1.

## THE ALUMINUM YACHT WON.

Aluminum came off triumphant in the yacht races at Sandy Hook, and whatever may be said about the Cup Committee's decision, not one word is heard that reflects upon the metal used for the Defender. Like a great white spirit the beautiful yacht danced upon the waves, and even under the tremendous pressure of heavy sails spreading over an area as large as City Hall Park, the noble metal hull was not strained. Not a seam gaped, not a plate loosened, and Defender lies at New Rochelle as trim and staunch as on the day she left the ways at Bristol. Now comes the day of the new metal.

The croakers in the metal world have contended that whatever else was claimed for aluminum it could not be used in naval construction. They have circulated stories that the metal disintegrated when immersed in salt water. The successful test of the Defender is sufficient reply to these baseless stories, but perhaps some will say even now that it was the mascot, the yellow dog on board Defender, that carried her through the ordeal, and that without the yellow dog the aluminum would have failed.

drew. It may be said, in passing this point, that it was manifestly too late for the committee to change the conditions of the race at that time. Everything possible had been conceded to Lord Dunraven. The races were first set for October, and Lord Dunraven, finding that he had a boat for light winds, asked to have the date set for September, the month of light winds. The committee did their full duty when they cleared the course of steamers.

Lord Dunraven is a just man, and it must be conceded that he had sufficient reason to complain of the excursion steamers, but it was too much to ask that the time and place of the race should be changed on the very night preceding the race. That is the only contention, as we understand it. There was a plain proposition for the committee to vote upon, and they decided against postponing the race. It is unfortunate and unsatisfactory that the great cup races of 1895 should end in a fizzle, but above all the bitterness and disappointment there is the cheerful shout of the aluminum enthusiast, who feels that a great victory has been won for the beautiful white metal.

## ANOTHER ALUMINUM YACHT.

As we go to press we learn of the intended construction of an aluminum steam yacht which when built will

The Aluminum World, octobre 1895 [7].

Figure 3

L'utilisation de l'aluminium dans la construction navale ne fut pas poursuivie au-delà de 1900 parce que la durée de service de ces navires était généralement très courte. Quelques semaines, au plus quelques mois, après leur lancement, les parties en aluminium présentaient de très fortes corrosions au contact du milieu marin [8].

Plusieurs raisons expliquent cet échec :

■ le métal lui-même. Afin de le durcir, pour obtenir des caractéristiques mécaniques acceptables, on ajoutait en Europe du cuivre, jusqu'à 6 % [9], et aux USA du nickel, jusqu'à 4 % [10]. Il est bien connu que ces éléments ne sont pas du tout favorables à la tenue à la corrosion, d'autant que l'on ne connaissait pas encore la métallurgie des alliages à durcissement structural (2),

■ les modes d'assemblages hétérogènes. Les parties en aluminium étaient rivetées (avec des rivets en acier et, même, en alliage cuivreux) sur des membrures en acier ! Rien de tel pour provoquer une corrosion galvanique rapide (en quelques semaines) et sévère de l'aluminium (déjà sensibilisé par la présence de cuivre ou de nickel),

■ les protections. Elles étaient inadéquates à l'aluminium, voire catastrophiques pour la tenue à la corrosion quand on utilisait du minium de plomb, comme ce fut le cas sur plusieurs bateaux, dont le torpilleur *Le Foudre*.

Par contre, en eau douce, la durée de vie des embarcations fabriquées à cette époque fut beaucoup plus longue. Cinq chaloupes en aluminium, de 12 m de longueur et de 3 m de largeur,

démontables pour être transportables à dos d'homme, furent construites en France en 1893, à l'initiative du ministère des Colonies. Elles étaient destinées à l'exploration des fleuves africains, le Congo et le Niger. Elles eurent une durée de service de plusieurs années, au-delà de 1900 [11].

(2) Le durcissement structural des alliages d'aluminium au cuivre, les « duralumins », fut découvert par Willem en 1908.

## 1.2

### Allègement, sécurité et décoration des navires 1920-1950

Les expériences de la dernière décennie du XIX<sup>e</sup> siècle avaient montré que l'aluminium permettait d'alléger significativement un bateau et donc d'accroître sa vitesse. Le triomphe du *Defender* dans la Coupe America de 1895 en fut la démonstration.

Pendant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, à partir de 1920, l'aluminium retrouva une place, de plus en plus importante, dans les marines civiles et militaires pour trois raisons essentielles :

- la disponibilité des alliages de corroyage aluminium-magnésium, de la famille 5000, parfaitement adaptés à la construction navale en particulier, et aux applications marines en général (cf. chapitres 2 et 3),
- la nécessité d'alléger les navires de guerre pour satisfaire aux obligations de la Conférence de Washington de 1922,
- la sécurité (et le confort) des passagers des paquebots.

Les premières applications, dans les années 1920, et probablement les plus nombreuses, furent des

pièces moulées en alliage à 13 % de silicium, alors appelé « Alpax », dans l'équipement des navires de guerre : carters de moteurs, de pompes, de ventilateurs, boîtiers électriques, ouvrants <sup>[12]</sup>, etc.

Pour des raisons de sécurité (bonne tenue en cas d'incendie) et d'allègement, les cabines d'officier furent progressivement équipées de mobilier en aluminium, généralement du Duralumin peint <sup>[13, 14]</sup>.

Sur les navires de « commerce », les paquebots, l'aluminium pénétra dans l'équipement intérieur :

- soit pour des raisons de sécurité, en remplaçant le mobilier en bois, qui est combustible et dégage des fumées en cas d'incendie,
- soit pour contribuer à la décoration (3) sur les paquebots de prestige. C'est ainsi que le mobilier des cabines du *Normandie* était en Duralumin <sup>[15]</sup>, que les parties communes (salons, salles à manger, etc.) de nombreux paquebots furent décorées de motifs en aluminium souvent commandés à des designers de renom <sup>[16]</sup>.

Associé au luxe, au prestige, au confort et à la sécurité (figure 4), l'aluminium était très répandu dans

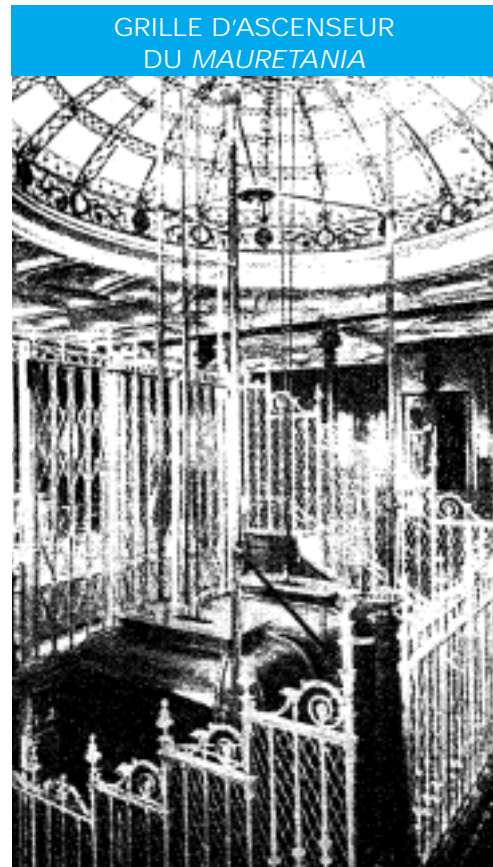


Figure 4

(3) Ce furent souvent de très belles réalisations dans le style Arts décoratifs.

### ASSEMBLAGE PAR RIVETAGE DU DIANA II

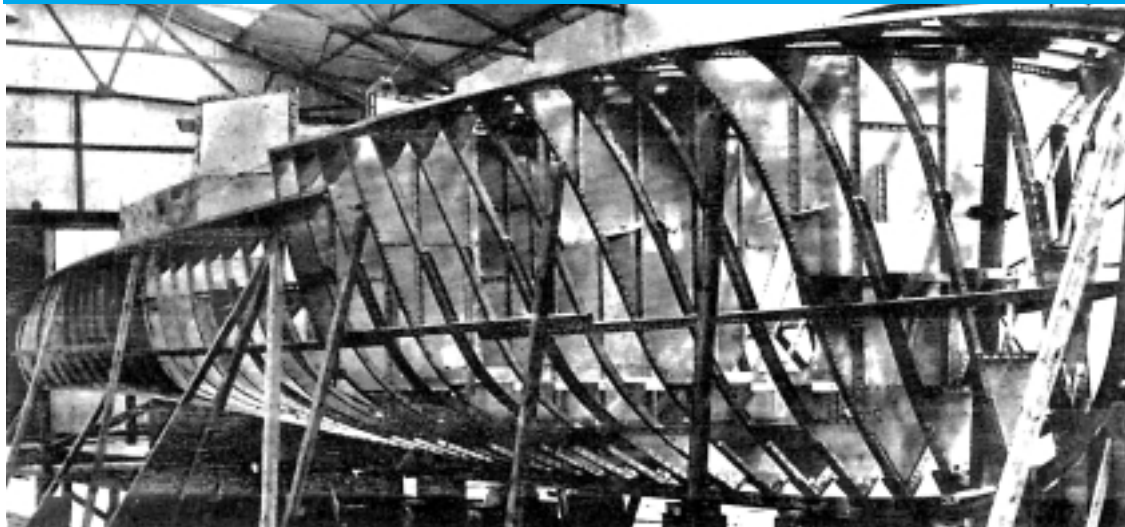


Figure 5

les derniers paquebots transatlantiques qui furent lancés. Ainsi, sur le *France*, lancé en 1962, 1 600 t d'alliages d'aluminium furent utilisées pour la réalisation des superstructures, des cheminées, des embarcations de sauvetage, etc. [17].

Au début des années 1930 furent lancés les premiers bateaux entièrement en aluminium. Ce furent les premières applications marines de l'alliage à 3 % de magnésium (4) dont la fabrication industrielle venait d'être mise au point : ■ en Grande-Bretagne, le premier yacht de croisière entièrement en aluminium, le *Diana II*, fut construit et mis à l'eau à Southampton en août 1931. Ce bateau mesurait 19 m de longueur, pour un déplacement de 10,5 t. Il fut assemblé par rivetage, conformément à ce qui se faisait à l'époque (figure 5). Réquisitionné par l'Amirauté britannique de 1939 à 1945, ce bateau finit sa carrière dans les années 1950 en très bon état [18], ■ au Canada, trois ans plus tard, en mai 1934, fut lancé le patrouilleur *Interceptor*, de 21,50 m de longueur.

## 2. LE DÉVELOPPEMENT DES ALLIAGES D'ALUMINIUM-MAGNÉSIUM DE LA FAMILLE 5000

Les études fondamentales des alliages aluminium-magnésium de la famille 5000 ont commencé en 1900 [19]. La mise au point des alliages de corroyage industriels tels que nous les connaissons aujourd'hui s'est faite dans la période 1930-1960. Plusieurs métallurgistes et corrosionnistes européens et américains de renom y ont contribué, parmi lesquels : E. H. Dix d'Alcoa [20, 21], P. Brenner de VAW [22, 23] et A. Guilhaudis de Pechiney [24, 25].

Ces études aboutirent à limiter la teneur en magnésium des alliages de corroyage à 5 % et à délimiter les domaines de température de sensibilisation (5) en fonction de la teneur en magnésium. L'état H116 résulte de ces travaux.

Les essais de corrosion en immersion eau de mer et aux embruns permirent de vérifier la bonne tenue à la corrosion des alliages de corroyage aluminium-magnésium (famille 5000) et aluminium-magnésium-silicium (famille 6000) dans le milieu marin [26, 27], même non protégés (ni peints, ni anodisés) [28].

De nombreux essais sur des assemblages soudés et sur des assemblages hétérogènes (avec d'autres métaux usuels) permirent d'étudier l'influence des modes d'assemblages, de mesurer l'ampleur des phénomènes de corrosion galvanique et de trouver les moyens pour les éviter.

Aux USA, un tronçon de bateau équipé d'un arbre de transmission avec son hélice et de divers appareils fut immergé en 1936 (6) [29, 30].

Le but était d'étudier sur une maquette représentative le comportement de l'aluminium dans la construction navale.

Les applications marines, en particulier à bord des navires de commerce ou des navires de guerre, furent suffisamment convaincantes pour qu'il soit reconnu, dès 1930, que l'aluminium a une excellente tenue à la corrosion en milieu marin [31]. Dès lors, l'utilisation de l'aluminium en construction navale étant admise, les organismes chargés du contrôle des navires, les associations d'architectes navals et les producteurs d'aluminium établirent des règles de mise en œuvre [32] et des conseils d'utilisation [33, 34].

L'expérience acquise depuis 1930, la mise au point de la métallurgie de transformation des alliages d'aluminium « marine », les progrès du mode d'assemblage par soudage à l'arc, qui remplace définitivement le rivetage traditionnel à partir de 1955, sont tels qu'à partir de la décennie 1960, l'aluminium fait obligatoirement partie des options possibles dans la construction navale et dans l'équipement du littoral.

De plus, compte tenu des avantages qu'il présente, légèreté, tenue à la corrosion, etc. (7), l'aluminium est devenu l'un des moyens privilégiés du développement de nombreuses applications marines.

(5) Précipitation préférentielle aux joints des grains de l'intermétallique  $BAl_3Mg_2$ .

(6) The Alumette, de 4,30 m de longueur, 3,30 m de largeur et 1,65 m de profondeur, fut mis en essai en janvier 1936 en immersion dans l'eau de mer à Newport.

(7) Cf. chapitre 2, Les atouts de l'aluminium.

(4) Équivalent du 5754.

## 3.

LES APPLICATIONS  
MARINES  
DE L'ALUMINIUM

Depuis 1960, la pénétration de l'aluminium s'est étendue à de très nombreux secteurs partout dans le monde <sup>[35]</sup> :

- les navires de transport de passagers à grande vitesse,
- le yachting et la plaisance,
- les bateaux de service et de surveillance,
- les bateaux de pêche,
- l'offshore,
- l'équipement du littoral, dont les ports de plaisance,
- les superstructures de tous types de navires, etc.

## 3.1

Les navires  
à grande vitesse

À partir de 1960, beaucoup de bateaux conventionnels de transport de passagers ont été construits en aluminium. C'étaient généralement des monocoques dont la longueur ne dépassait pas alors 25 à 30 m. Les premiers navires à grande vitesse, des catamarans, furent lancés en Scandinavie au début des années 1970. Il s'agissait de navires de 20 à 25 m de longueur affectés au transport de passagers, dont la capacité était de 100 à 200 sièges suivant l'aménagement.

Ce type de navire doit être aussi léger que possible. C'est la raison pour laquelle la plupart des NGV lancés depuis 30 ans sont en aluminium (tableau 1).

Devenus un mode de transport rapide, ils assurent des services réguliers de transport de passagers, de véhicules (automobiles, cars, camions, etc.).

La taille et la capacité des navires à grande vitesse n'ont pas cessé d'augmenter depuis 1980 pour dépasser aujourd'hui les 100 m, qu'il s'agisse de catamarans ou de monocoques.

## LANCEMENTS ANNUELS DES NGV (\*)

Type de navire/années	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	Total
Catamarans	17	29	38	25	26	32	28	46	44	39	46	52	36	39	33	33	46	609
Wave Piercers		1	3	5	4	1	3	3	2	4	5	3	6		3	3	1	47
Hydrofoils/Hovercrafts	6	8	6	12	12	18	8	4	5	10	1	1	6		1	1	5	104
Monocoques	14	12	16	7	13	8	7	12	10	13	22	11	15	17	5	5	9	196
Navires à effet de surface	5		7	5	7		3	1	4	2				1			1	36
SWATH				2	1												1	4
Total	42	50	70	56	63	59	49	66	65	68	74	67	63	57	42	42	63	996

(\*) Statistiques de Fast Ferry International.

Tableau 1

## CAPACITÉ DES NGV EN NOMBRE DE SIÈGES (\*)

Nombre de sièges/années	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	Total
50-99	7	13	18	5	5	6	7	5	1	4	2	6	5		1	6	11	102
100-149	10	4	6	4	4	12	1	4	8	7	4	5	2	8	7	7	7	100
150-199	1	1	5	8	5	8	4	6	10	3	7	16	10	6	5	5	16	116
200-249	6	7	8	15	10	7	2	8	7	6	9	3	8	4	2	1	5	108
250-299	5	10	10	8	16	10	5	9	9	6	1	5	2	2		4	6	108
300-349	5	1	12	10	13	7	11	18	10	12	14	11	8	2	6	2	1	143
350-399	1	4	4	12	3	7	11	8	9	6	5	2	5	5	3	6	3	94
400-449		7	5	4	4		2	3	4	7	5			3	4	5	9	62
450 et +	2		2	1	1		1		1	7	3	4	7	9		1	1	40

(\*) Statistiques de Fast Ferry International.

Tableau 2

Parmi les navires en aluminium de plus de 100 m lancés dans la décennie 1990, on peut citer :

- les quatre catamarans de HSS 1500 de Stena mis en service sur la mer d'Irlande à partir de 1996 <sup>[36]</sup>. Ces bateaux de 126,6 m de longueur et 40 m de largeur, construits par Finnyards en Finlande, pèsent à vide 1 500 t. Ils ont une capacité de 1 500 sièges et sont capables d'emporter 375 voitures, 120 cars et 50 camions, à la vitesse maximale de 40 nœuds,

- les catamarans de 122,5 m de longueur et 25,8 m de largeur <sup>[37]</sup> que le chantier canadien CFI a construits pour BC Ferry en 1999. Ces navires pèsent 1 281 t. Ils ont une capacité de 1 018 sièges, et sont capables d'emporter 250 voitures et 242 camions (ou 242 cars), à la vitesse de 34 nœuds,

- les onze Aquastrada TMV 115 du chantier italien Rodriquez, de 115,25 m de longueur <sup>[38, 39]</sup>, capacité 900 passagers, 200 voitures, vitesse 36 nœuds,

- les MDV de Fincantieri de 100 m de longueur <sup>[40]</sup>, capacité 782 passagers, 175 voitures, vitesse 40 nœuds,

- les Alhambra de Bazàn de 125 m de longueur <sup>[41, 42]</sup>, capacité 1 200 passagers, 244 voitures, vitesse 40 nœuds,

- les deux Corsaires 11000, Aliso et Asco, construits par Alstom Leroux Naval <sup>[43]</sup> et lancés en 1996 et 1997, longueur 102 m, capacité 500 passagers, 148 voitures et 112 cars, vitesse 37 nœuds.

### 3.2 | Le yachting et la plaisance

L'aluminium y occupe une place privilégiée. Il offre la possibilité de construire des bateaux à l'unité, sur mesure, conforme aux préférences de l'acquéreur qui, très souvent, choisit son architecte naval et le chantier, et suit la construction.

La flotte des yachts de plus de 24 m de longueur est en forte expansion, à la fois en nombre d'unités et en taille des navires. Ainsi, sur les 282 yachts lancés en 1999, 48 avaient plus de 46 m de longueur, tandis que sur les 482 yachts lancés en 2003, 98 dépassaient les 46 m (8). Plus de la moitié des yachts ont leur coque en aluminium.

La mâture et l'accastillage des voiliers sont en alliage d'aluminium apte à l'anodisation afin de répondre aux critères très exigeants de l'esthétique de ce matériel.

### 3.3 | Les bateaux de service

Bien qu'en concurrence avec l'acier et surtout avec le PRVT (polyester renforcé de verre textile), l'aluminium occupe une place très importante – au moins la moitié des unités en service – dans tous les types de bateaux de service affectés à la pêche, aux cultures marines, à la surveillance du littoral, aux douanes et à la police, ou à la desserte des installations pétrolières offshore.

En plus de l'allègement, et de la facilité de faire des bateaux à l'unité (pas de moule), l'aluminium apporte la sécurité (tenue au feu, pas de dégagement de fumées en cas d'incendie) et la longévité du service (sans modification des propriétés du matériau).

Les bateaux en aluminium répondent aux besoins des exploitants de l'offshore : capacité, rapidité et sécurité. Il est courant de trouver des bateaux en aluminium de plus de 40 m de longueur, capables de transporter 50 à 100 personnes et d'emporter plus de 200 t de fret <sup>[44, 45]</sup>.

### 3.4 | Les superstructures des navires

L'idée d'installer des superstructures en aluminium sur des navires civils ou militaires remonte au début des années 1930. L'allègement des « hauts » d'un navire a pour conséquence directe d'alléger le reste du navire et d'améliorer sa stabilité (9).

Aujourd'hui, les superstructures en aluminium sont très répandues sur les navires à grande vitesse de plus de 120 m de longueur, sur les navires de croisière, etc. Mais il n'est pas rare de voir des chalutiers de 20 à 30 m dont la timonerie est en aluminium.

Quand des navires à grande vitesse monocoques ont une coque en acier, leurs superstructures sont toujours en aluminium, tel est le cas des Pegasus de Fincantieri, de 95 m de longueur <sup>[46]</sup>, du Jupiter de Fincantieri de 145,6 m de longueur <sup>[47]</sup>, du Liamone (134 m de longueur) et du Æolos Express (119 m de longueur) de Alstom Leroux Naval <sup>[48]</sup>.

La liaison entre les structures en acier et les superstructures en aluminium a été beaucoup simplifiée depuis l'introduction des « joints de transition » aluminium-acier au début des années 1970 (10).

(8) Source : Order Book of ShowBoats International.

(9) Par effet sur le « r - a ».

(10) Cf. chapitre 7.



### 3.5 | L'offshore

Les applications de l'aluminium dans l'industrie pétrolière étaient assez limitées tant que subsistait la prévention des milieux pétroliers sur la tenue à l'incendie de l'aluminium.

De nombreuses expériences dans les années 1950 (tiges de forage, équipements divers dont des échangeurs) ont montré tout l'intérêt de l'aluminium dans cette activité : légèreté, bonne tenue aux milieux chargés en dioxyde de soufre  $SO_2$ , à l'ambiance marine, etc. [49, 50, 51].

Les premières applications connues dans l'offshore ont été réalisées sur le champ pétrolifère vénézuélien de la lagune de Maracaibo en 1957 [52]. Dans ce milieu aquatique particulièrement agressif du fait de la présence d'eaux saumâtres (généralement plus agressives que l'eau de mer naturelle), les structures en aluminium des plates-formes pétrolières ont très bien résisté à la corrosion [53].

Depuis, l'aluminium a pénétré dans l'offshore, d'abord les plates-formes pour hélicoptères, les « Helidecks », ensuite les quartiers de vie [54, 55, 56].

Compte tenu de l'évolution de l'exploitation pétrolière offshore vers de plus grands fonds, l'emploi de l'aluminium est appelé à se généraliser sur les plates-formes pour les alléger, augmenter leur charge utile, améliorer leur stabilité, faciliter leur mobilité et leur mise en place (qui nécessite des engins de levage moins puissants).

L'excellente tenue à la corrosion des alliages d'aluminium en milieu marin réduit fortement les coûts de maintenance (pas de peinture,

par exemple). Enfin, la valeur résiduelle de ces installations s'en trouve accrue.

Certains engins de recherche sous-marine, beaucoup de balises de repérage sont en aluminium. C'est ainsi que l'un des sous-marins de recherche océanographique américains a été réalisé en alliage d'aluminium [57].

### 3.6 | L'équipement du littoral

Le développement de la navigation de plaisance a été suivi par la création de nombreux ports de plaisance pour y accoster les bateaux. En France et en Europe depuis 1970, tous ces équipements sont en alliage d'aluminium. Ainsi, on compte plus de 300 km de pontons sur le littoral atlantique et méditerranéen en France pour plus de 500 000 places (« anneaux »). Les plus anciennes « marinas » françaises en aluminium ont maintenant plus de 30 ans.

Ce type d'application illustre l'intérêt de l'aluminium en milieu marin, le surcoût de l'aluminium par rapport à d'autres matériaux (acier ou béton) étant très largement amorti par l'absence d'entretien.

L'aluminium est très utilisé dans la signalisation routière et urbaine, dans le mobilier urbain des villes et agglomérations du littoral. L'esthétique, l'absence d'entretien (du fait de l'excellente tenue à la corrosion) expliquent le choix des urbanistes.

## 4. | L'INNOVATION

Le développement des applications marines de l'aluminium, dont la construction navale depuis 1950, tient principalement à ses propriétés : légèreté et tenue à la corrosion en milieu marin.

L'aluminium a été, depuis le début des années 1970, le support du développement des navires à grande vitesse parce que les innovations en termes d'alliages, de demi-produits, ont répondu à l'attente des architectes navals et des constructeurs de navires et leur ont ainsi permis de réaliser des navires plus grands, plus performants en qualités nautiques.

Cela est si vrai que la plupart des grands projets de développement du transport rapide des personnes et des marchandises, avec de nouveaux concepts d'architecture navale, reposent sur l'utilisation de l'aluminium [58, 59, 60]. Tel est le cas du projet japonais de navire de grande longueur TSL (11) et du projet BGV (12) de l'architecte naval Gilles Vaton.

La métallurgie de l'aluminium s'est enrichie de nouveaux alliages plus performants en termes de propriétés mécaniques [61].

Les modes d'assemblages par soudage à l'arc, au laser ou par friction évoluent vers une optimisation de l'apport énergétique en vue de réduire les déformations, d'améliorer la qualité des joints soudés dont dépend la tenue en fatigue des structures soudées dans les zones les plus sollicitées.

(11) TSL = *Techno Super Liner de MES (Mitsui Engineering & Shipbuilding)*.

(12) BGV signifiant à la fois *Bateau de Grande Vitesse et Bureau Gilles Vaton*.

Le développement du collage structural avec des colles adaptées au milieu marin permet de réaliser des assemblages mixtes et de s'affranchir de la baisse des caractéristiques mécaniques de la zone affectée thermiquement.

Les codes de calculs devraient évoluer vers des concepts ULS (13) et LFRD (14) déjà utilisés en aéronautique, qui permettent d'optimiser le dimensionnement des structures tout en associant allègement et sécurité.

Enfin, contrairement à une idée reçue, rien n'indique qu'il y ait une longueur limite à la réalisation de bateaux « tout aluminium » (coque et superstructures).

En 1970, les premiers catamarans lancés par les chantiers scandinaves mesuraient de 25 à 30 m. À la fin de la décennie 1990, des catamarans et des monocoques en aluminium atteignent 120 m et plus, et leur capacité n'a cessé d'augmenter (tableau 2).

---

(13) ULS = *Ultimate Limit State design*.

(14) LFRD = *Load Resistance Factor Design*.

## Références bibliographiques

- [1] « Notes on the yacht *Defender* and the use of aluminum in marine construction », RICHMOND PEARSON HOBSON, Assistant Naval Constructor, US Naval Institute, *Proceeding 1897*, pp. 523-562.
- [2] « Aluminum : its alloys and their use in ship construction », *The Aluminum World*, volume 2, n° 3, Dec. 1895, pp. 49-56.
- [3] « Le métal de l'Ange », CORINE RENIE et DANIEL CHARLES, *Voiles et Voiliers*, n° 229, mars 1990, pp. 70-75.
- [4] « La possibilité d'application de l'aluminium et de ses alliages dans la Marine », R. GUÉRIN, *Revue de l'Aluminium*, n° 12, avril 1926, pp. 204-209.
- [5] « Fastest in the World », *The Aluminum World*, volume 2, n° 1, Oct. 1895, p. 9.
- [6] « The History of aluminum as a deckhouse material », ROBERT A SIELSKI, *Naval engineering Journal*, May 1987, pp. 165-172.
- [7] « The Aluminum yacht won », *The Aluminum World*, volume 2, n° 1, Oct. 1895, pp. 1-2.
- [8] « 100 years of the use of aluminum in shipbuilding », D. J. HOWARTH, J. C. HUSKINS, *Lloyd's Register of shipbuilding*, Conference Ausmarine 1994, pp. 114-126.
- [9] *The Journal of the Society of Chemical Industry*, May 31, 1895, pp. 487-489.
- [10] « Aluminum for boat building », *The Aluminum World*, volume 1, n° 11, Aug. 1895, pp. 201-202.
- [11] « L'aluminium et ses alliages dans les constructions navales », A. DE BIRAN, *Revue de l'Aluminium*, n° 42, 1931, pp. 1371-1396.
- [12] « L'évolution des applications des alliages légers et notamment de l'Alpax dans les marines de guerre », R. DE FLEURY, *Revue de l'Aluminium*, n° 19, 1927, pp. 464-465.
- [13] « Mobilier et marine », J. DUMONTEY, *Revue de l'Aluminium*, n° 111, 1939, pp. 1695-1699.
- [14] « Notes on the development of certain materials used in ships of the U.S. Navy », REAR ADMIRAL GEORGE H. ROCK (CC) U. S. Navy, Vice President, *Transactions of Society of Naval Architects Marine Engineers*, 1931, pp. 215-249.
- [15] « L'aluminium et les alliages légers dans les moyens de transport », M. PUBELIER, *Revue de l'Aluminium*, n° 77, 1936, p. 32.
- [16] « Aluminium and its alloys », G. O. TAYLOR, *The Metal Industry*, April 1943.
- [17] « Le paquebot *France*, 1 600 tonnes d'aluminium », *Revue de l'Aluminium*, n° 297 et 299, 1962.
- [18] « The applications of aluminum alloys to marine uses », *The Aluminium Development Association*, London, 1948.
- [19] « Sur les alliages d'aluminium et de magnésium », Note de M. BOUDOUARD, *Compte Rendu Académie des Sciences*, volume 132, 1901, p. 325.
- [20] « Equilibrium relations in aluminum-magnesium alloys of high purity », E. H. DIX, F. KELLER, *Transactions A.I.M.E.*, vol 83, 1929, pp. 351-372.
- [21] « Development of wrought aluminum-magnesium Alloys », E. H. DIX, JR. W. A. ANDERSON, M. BYRON SHUMAKER, *Technical Paper n° 14*, Aluminum Company of America, 1958.
- [22] « Korrosionsversuche mit Hydrolanium », *Zeitschrift für Metallkunde*, vol 25, 1933, pp. 252-258.
- [23] « Recent developments in corrosion resistant aluminum-magnesium alloys », P. BRENNER, W. ROTH, *Journal Institute of Metals*, vol. 74, 1948, pp. 159-190.
- [24] « Traitements thermiques de stabilisation des alliages d'aluminium-magnésium à 5 %, contre les effets de chauffage à basses températures », *Revue de l'Aluminium*, 1955, n° 223, pp. 717-725 et n° 224, pp. 795-801.

- [25] « Addition de chrome et de manganèse dans les alliages légers à 3 et 5 % de magnésium », A. GUILHAUDIS ET R. DEVELAY, *Revue de Métallurgie*, n° 4, 1957, pp. 288-298.
- [26] « La tenue des alliages légers à la corrosion marine », A. GUILHAUDIS, *Revue de l'Aluminium*, n° 186, mars 1952, pp. 85-91, n° 187, avril 1952, pp. 127-133, et n° 188, mai 1952, pp. 192-198.
- [27] « Corrosion behaviour of aluminium alloys in seawater », H. P. GODARD, F. F. BOOTH, *Conférence Centre Recherches Etudes Océanographiques*, vol. 6, 1965, pp. 37-52, .
- [28] « État d'un radeau en alliages d'aluminium en mer depuis 25 ans », A. GUILHAUDIS, *Revue de l'Aluminium*, n° 433, 1974, pp. 565-574.
- [29] « Resistance of Aluminum-Base alloys to Marine exposure », R. B. MEARS, R. H. BROWN, *Transactions of Society of Naval Architects Marine Engineers*, 1930, pp. 27-42.
- [30] « Performance of aluminum alloys in marine environments », C. J. WALTON, E. T. ENGLEHART, Alcoa, *Meeting of The Society of naval Architects and Marine Engineers*, Nov. 1949.
- [31] « Uses aluminum in shipbuilding », PAUL V. FARAGHER, *Transactions of Society of Naval Architects Marine Engineers*, vol. 52, 1944, pp. 91-113.
- [32] « The Use of aluminum Alloys in Vessels of the United States Navy », S. N. PYNE, P. W. SNYDER, H.D. MCKINNON, *Technical Bulletin*, n° 1, 1940.
- [33] « Practical Problems Relative to the Use of Aluminum Alloys in Ship Construction », C. V. BOYKIN, M. L. SELLERS, *Transactions of Society of Naval Architects Marine Engineers*, 1953, pp. 358-409.
- [34] « L'utilisation de l'aluminium et de ses alliages en construction navale », *L'Aluminium français*, Brochure 1962, p. 60.
- [35] « L'Aluminium et la mer », C. VARGEL, *Matériaux et Techniques*, mai 1986, pp. 233-245.
- [36] « First Stena HSS 1500 delivered by Finnyards », *Fast Ferry International*, April 1996, pp. 15-24.
- [37] « CFI delivers second Pacificat to BC Ferries », *Fast Ferry International*, Nov 1999, pp. 15-28.
- [38] « Rodriquez delivers TMV 115 Aquastrada to Spanish operator », *Fast Ferry International*, July 2001, pp. 19-22.
- [39] « New Aquastrada and R & D contracts for Rodriquez », *Fast Ferry International*, Nov 2000, pp. 15-17.
- [40] « Fincantieri delivers three MDV 1200 Monohulls », *Fast Ferry International*, June 1997, pp. 19-23.
- [41] « First Bazan Alhambra completes trials programme », *Fast Ferry International*, Dec. 1996, pp. 15-19.
- [42] SILVIA ANA, TONY WILSON, *Speed at Sea*, vol. 3, issue 1, 1997, pp. 8-13,
- [43] « SNCM Ferytterraneé introduces Corsaire 11000 », *Fast Ferry International*, July 1996, pp. 19-25.
- [44] « New generation crew/supply vessel for the Gulf of Mexico », *Work Boat World*, Dec. 1994.
- [45] « Magic Tide, 135'Aluminium Crew/Supply boat », *Work Boat World*, July 1995.
- [46] « First Fincantieri Pegasus monohull leased to Stena Line », *Fast Ferry International*, June 1996, pp. 17-22.
- [47] « Fincantieri Jupiter monohulls complete first season », *Fast Ferry International*, Oct 1998, pp. 15-20.
- [48] « ALN monohulls enter service in France and Greece », *Fast Ferry International*, June 2000, pp. 22-28.
- [49] « L'aluminium dans l'industrie du pétrole », *Revue de l'Aluminium*, n° 243, 1957, pp. 531-534.
- [50] « New uses for aluminum », B. J. FLETCHER, *Petroleum Processing*, vol. 4, 1949, pp. 1105-1108.
- [51] « Les tiges de forage en aluminium », M. FROSSARD ET J. P. LAMOTTE, *Revue de l'Aluminium*, n° 320, 1964, pp. 554-558,
- [52] « Tentative recommended Practice for Use of aluminum in Lake Maracaibo », H. P. GODARD, W. L. PERKINS, *Materials Protection*, Oct. 1963, p. 105.
- [53] « Engouement pour l'aluminium sur la lagune de Maracaibo », J. J. BERREBY, *Revue de l'Aluminium*, n° 264, 1959, pp. 445-447.
- [54] « Development of an offshore aluminium living quarter », I. SAETRE, S. T. STRANDLIE, STATOIL, *Conference Offshore Mechanics and Artic Engineering*, Stavanger, Norway, June 1991, vol. III-A, pp. 247-253.
- [55] « A Light weight giant », *Aluglobe*, vol. 2, 1999, pp. 10-11.
- [56] « Application of aluminium to offshore topside structures », M. J. BAYLEY, *First International Offshore and Polar Engineering Conference*, Edinburgh, UK, Aug. 1991, pp. 11-16.
- [57] « Aluminum alloys for pressure hulls », C. L. BROOKS, *Metals Engineering Quaterly*, ASM, vol. 5, 1965, pp. 19-23.
- [58] « Study confirms fast freight potential », *Speed at Sea*, Feb. 1998.
- [59] « Companies join forces to promote SES concept », *Fast Ferry International*, November 1998, pp. 23-26.
- [60] « Mitsubishi releases details of surface effect ship range », *Fast Ferry International*, Oct. 1996, pp. 24-25.
- [61] « New alloy development at Pechiney, a new generation of 5383 », ALEXANDRE DURAN, ROMAN DIF, *FAST 2001: Sixth International Conference on Fast Sea Transportation*, Southampton, UK, Sept. 2001, volume 3, pp. 223-230.



THE PRINCESS