

DOMINIQUE **PAULET** • DOMINIQUE **PRESLES** • FRÉDÉRIC **NEUMAN**

ARCHITECTURE NAVALE

CONNAISSANCE ET PRATIQUE

Nouvelle édition

DUNOD

Image de synthèse du projet Grain de Sail 2 (arch. Loys Leclercq - L2Onaval)
@ Grande Sail - L2O Naval

Mise en page : Lumina Datamatics

NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

© Dunod, 2018, tirage corrigé 2020, 2023
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-085196-6

« Le bateau a été pour notre civilisation depuis le xvi^e siècle jusqu'à nos jours, à la fois le plus grand instrument de développement économique et la plus grande réserve d'imagination. Le navire, c'est l'hétérotopie par excellence. Dans les civilisations sans bateau, les rêves se tarissent, l'espionnage remplace l'aventure et la police, les corsaires. »

Michel Foucault

Table des matières

AVANT-PROPOS DE LA NOUVELLE ÉDITION	13
INTRODUCTION – LE MÉTIER D’ARCHITECTE NAVAL	15
PARTIE 1	
PROJET DE NAVIRE. NOTIONS FONDAMENTALES	
CHAPITRE I – REPÈRES	31
Repères chronologiques	31
Catégories de navires	37
Architecture navale : contenu du projet, mission de base de l’architecte	41
Informatique : la conception assistée par ordinateur (CAO)	44
CHAPITRE II – LE NAVIRE. DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES	57
Terminologie, définitions	58
Sécurité, réglementation	73
Évolution des navires	77
CHAPITRE III – HYDROSTATIQUE	85
Principe d’Archimède	85
Conditions d’équilibre	86
Conditions de stabilité	86
Métacentre	89
Stabilité initiale	90
Poids suspendu	93
Carène liquide	94
Courbes hydrostatiques	95

————— CHAPITRE IV – HYDRODYNAMIQUE —————	99
Rappel	99
Résistance à l'avancement du navire	100
Célérité, énergie d'une houle	101
Résistance de vague, nombre de Reech-Froude	102
Mouvements du navire à la mer	106
Tangage, slamming, pilonnement	107
Roulis, période propre, stabilité	108
Lacet, stabilité de route	111
Bassins d'essais des carènes et études numériques (CFD)	112
————— CHAPITRE V – PLAN DES FORMES —————	117
Représentation	118
Échelle des plans	120
Balancement, lissage, calcul	120
Devis de tracé	120
Repères	120
Finesse globale. Notion de lourd, léger	121
Coefficient de bloc	122
Coefficient prismatique	123
Courbe des aires des couples	123
Tracé d'un arc de courbe élémentaire	125
Évaluation approchée d'une aire sous-tendue par une courbe	126
Tracé du plan des formes	127
Surface mouillée	133
Cas particulier des coques à formes développables	134
————— CHAPITRE VI – PLANS DE CONSTRUCTION. COUPE AU MAÎTRE —————	147
Matériau	147
Terminologie, définitions	152
Principes constructifs généraux	158
Bruits et vibrations	160
Autres points particuliers	161
Représentation	162
Devis de masse coque	165

CHAPITRE VII – PLAN D'ENSEMBLE	175
De l'esquisse au projet	175
Représentation	178
CHAPITRE VIII – PLAN DE VOILURE	191
Description, terminologie, définitions	192
Aéro-hydrodynamique : fonctionnement du voilier	198
Types de gréement	204
Représentation	205
Surface de voilure	208
Repères	209
Surface de dérive, appendices	210
Mât et gréement, calcul et tracé	210
CHAPITRE IX – DOSSIER TECHNIQUE	215
Spécification	216
Devis de masse	223
Données hydrostatiques	225
Cas de chargement et critères à l'état intact	226
Étude de stabilité après avarie	227
Autres éléments (éventuels)	227
Au-delà des études	228
PARTIE 2	
MÉTHODES DE CONDUITE DU PROJET. ÉTAPES PRINCIPALES	
CHAPITRE X – MISE EN ROUTE DU PROJET	233
Introduction	233
Étapes principales de l'élaboration d'un projet	235
La spirale du projet	235
Programme du navire	238
Les fonctions spécifiques	239
Usage relatif de la documentation	240
Parti architectural. Tracé du premier schéma	241
Évaluation des espaces. Imbrication des longueurs, surfaces, volumes	245

————— CHAPITRE XI – DÉPLACEMENT. DEVIS DES MASSES —————	255
La coque. Échantillonnage par calcul direct localisé	255
Matériaux composites	266
Efforts d'ensemble auxquels est soumise la poutre-navire	274
Méthode des éléments finis	277
Différentes approches du total de la masse de coque	279
Autres éléments du devis des masses conduisant au déplacement léger	283
Réglage du déplacement en charge	290
————— CHAPITRE XII – CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES —————	299
Coefficients de remplissage fonction de la vitesse à atteindre	300
Réglage des dimensions en vue d'une stabilité correcte	304
Considérations sur le franc-bord et la tenue à la mer	307
Contrôle de stabilité et d'assiette – notions de base	312
Règles de sécurité concernant la stabilité	316
Méthode de calcul	321
Minute de vérité : l'expérience de stabilité	322
Au-delà de l'hydrostatique	323
————— CHAPITRE XIII – PUISSANCE PROPULSIVE —————	325
Introduction	325
Comparaison des différents types de carburants	326
Résistance à l'avancement, méthodes approchées d'avant-projet	334
Résistance à l'avancement, méthodes les plus rigoureuses	358
L'hélice	360
Propulseurs spéciaux	375
Recoupement global puissance/déplacement/vitesse	376
Propulsion vélique	378
————— CHAPITRE XIV – GIRATION ET ÉQUILIBRE DE MARCHÉ —————	385
Rôle du gouvernail	385
Forces en jeu dans la giration	388
Équilibre de route	391

CHAPITRE XV – ÉNERGIE À BORD	397
Sources d'énergie. Transformation et conservation de l'énergie	397
Bilan électrique	399
Organisation de la distribution d'énergie	403
CHAPITRE XVI – COHÉRENCE DU PROJET	405
Implications réglementaires	405
Contrôle final. Remise en cause éventuelle des options	421
Essai de rationalisation du choix des caractéristiques	422
CHAPITRE XVII – DOSSIER DE PROJET	435
Étendue du dossier suivant les circonstances	435
Plan d'ensemble	436
Spécification générale	438
Autres plans et documents	440
ANNEXES	
Annexe A – Notions de mécanique (rappels)	445
Annexe B – Résistance et principales caractéristiques des matériaux	449
Annexe C – Devis de masse	457
Annexe D – Inerties de masse du navire	463
Annexe E – Tableaux des résistances résiduelles	467
Annexe F – Aile portante. Notions de base	475
Annexe G – Aéro-hydrodynamique : moyens de recherche numériques et expérimentaux pour la conduite d'un projet de navire	485
SYMBOLES ET UNITÉS	489
BIBLIOGRAPHIE	497
SIGLES ET ABRÉVIATIONS UTILES	502
CRÉDITS ICONOGRAPHIQUES	505
INDEX	506

Biographies succinctes des auteurs

Dominique Paulet, architecte naval, ingénieur, chevalier dans l'Ordre du Mérite Maritime, a notamment travaillé pour les Chantiers de La Perrière et Dubigeon-Normandie avant de fonder le cabinet SBERN. Il a dirigé des réalisations très variées, du ferry *Guerveur* au chalutier *Cézembre* en passant par des navires de travail, vedettes rapides et voiliers dont le légendaire *Pen Duick IV*. Il a enseigné à l'ECN et à l'ENSTA. Sollicité pour des expertises judiciaires, il a été consulté suite au naufrage de l'*Erika*.

Dominique Presles, architecte naval, lauréat de la Fondation de la vocation, a conçu de nombreux voiliers dont les célèbres *Petrouchka*, *Grand-Louis*, *Fernande*... puis, avec son agence CPA, *Lady Barbaretta* (catamaran de 32 mètres). On lui doit aussi des navires de pêche hauturiers dont la série *La Houle*. Chevalier dans l'Ordre du Mérite Maritime, il fut membre fondateur de l'IFAN, administrateur de l'ATMA, enseignant à l'ENSAPLV, et a reçu une Médaille d'argent de l'Académie d'Architecture.

Frédéric Neuman, ingénieur et architecte naval, a travaillé plusieurs années avec Dominique Presles au sein de CPA avant de créer sa propre agence d'ingénierie et d'architecture navale. Il y conçoit des navires variés de plaisance ainsi que des navires professionnels. Maître-assistant à l'ENSAPLV, il enseigne aussi à l'ENSTA Bretagne. Il est, entre ces deux écoles, responsable d'un double diplôme en architecture navale.

Avertissement

Les données et informations contenues dans ce livre ont été recueillies à partir des meilleures sources disponibles. Cependant leur valeur dépend toujours du contrôle que l'on peut en faire, qui implique en général la connaissance d'un grand nombre de paramètres, et leur application à des problèmes concrets dépend en grande partie de la compétence et de l'expérience de ceux qui les utilisent. La responsabilité de l'éditeur ou celle des auteurs ne saurait donc être engagée, à quelque titre que ce soit, directement ou indirectement, pour des résultats obtenus par d'autres à partir de ces données ou informations. En particulier si les exemples chiffrés, sélectionnés avec soin, peuvent suggérer des indications générales, il n'en reste pas moins que, concernant des cas d'espèces, ils en sont des éléments spécifiques.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les personnalités qui ont bien voulu apporter leur soutien et souvent leurs précieux conseils pour la rédaction de cet ouvrage, et sans lesquels ils n'auraient pu le mener à bien de façon aussi complète. Ils remercient aussi de leur coopération, notamment par la mise à disposition de plans et documents pour les illustrations, ou leur contribution par une relecture attentive, spécialement celle des chapitres traitant de questions techniques ou scientifiques, tous ceux qui, de près ou de loin, les ont aidés dans leur tâche. En particulier : MM. François Axisa (ENSTA), Christophe Balley (MMT), Jacques Binot (IFREMER), Gérard Cattalano (EAPLV), François Chalain (Chantiers Bénéteau), Gérard Chenus (EAPV), Jean Claude Dern (Bassin d'Essais des Carènes, DGA), Jean François Devillers (ENSTA), Pierre Devinoy, Frédéric Durand, architectes (EAPLV), Jean Marie Finot, architecte naval (IFAN), Michel Garguet (Chantiers de l'Atlantique), Christian Gaudin, architecte naval (Chantiers Leroux et Lotz), Alain Lemeurly (Chantiers et Ateliers de la Perrière), Pierre Livory (DCN), Didier Marchand, architecte naval (ECN), Marc Pommellet (Sistre), Franck de Rivoyre (Rivoyre Ingénierie), François Séguret (EAPVL), André Suzan (Chantiers de l'Atlantique), Yannick d'Armancourt (Transsonique), Christophe Barreau, architecte naval, Aurélie Cauvin, Laurent Clavery (Arco marine), Pierre Delion, architecte naval, Guillaume Lagree et Anne Guinhut (STX Europe), Jean-Claude Hazera, Lionel Huetz (A2V), Jean-Marc Laurens (ENSTA-Bretagne), Pascal Lemesle et Jean-Charles Nahon (BE Mauric), Laurent Mermier (ShipST), Caroline Neuman (DGAMPA), Christophe Paulet, Myriam Raingeard, Marc Van Peteghem ainsi que Vincent Lauriot-Prevost (VPLP) et Guillaume Verdier, architectes navals. Et pour cette nouvelle édition : Jacques Perret (MAN Energy Solutions), Lauranne Maisonneuve (EIRL Neuman), Jérôme Presles, Vincent Rudelle (LMG Marin), Erwan Jacquin (MEET2050).

Avant-propos de la nouvelle édition

Le monde maritime est aujourd'hui en suspens. La période actuelle est passionnante pour les architectes navals. Le transport maritime est en passe d'être bouleversé. Il n'est désormais plus possible d'envisager l'utilisation de carburants issus de l'industrie pétrolière comme cela a été le cas depuis environ 100 ans, en considérant cette ressource comme illimitée. La problématique du réchauffement climatique et des émissions de gaz à effet de serre est désormais une contrainte de conception majeure. Des alternatives énergétiques doivent être trouvées, des optimisations sur la consommation indispensables (sobriété, baisse de vitesse, optimisation hydrodynamique, etc.).

Le retour à un appui de voilure est souvent envisagé pour répondre à tout ou partie de la propulsion. Cela impose de nouvelles contraintes : les navires doivent être d'autant plus stables, la visibilité depuis la timonerie travaillée, les effets anti-dérives analysés, les routages deviennent indispensables, etc.

De nombreuses recherches sont en cours sur des carburants alternatifs. Qu'ils soient gazeux, liquides ou électriques, qu'ils soient directement injectés dans des moteurs à combustion interne, ou utilisés pour produire de l'électricité, soit leur encombrement et leur masse ne sont pas comparables à l'historique pétrole (gaz en particulier), soit leur coût énergétique (cas des e-carburants) ou les exigences en matière de sécurité sont très importants. L'architecte doit alors réfléchir à de nouvelles solutions, ainsi qu'à de nouvelles proportions de navires pour les rendre utilisables.

Le transport maritime mondial consomme aujourd'hui autour de 3 000 TWh d'énergie primaire. Avec les rendements globaux de la chaîne de production (besoin en particulier d'un apport électrique décarboné important en amont) de ces nouveaux carburants, l'énergie totale nécessaire serait bien plus importante qu'actuellement, ce qui nécessiterait environ 600 réacteurs nucléaires de 1 500 MW ou 4 000 champs éoliens de 500 MW. Est-ce réaliste sans diminution du volume de marchandises transportées ? Les progrès techniques, même s'ils sont pertinents, performants et à encourager, suffiront-ils ?

Dans l'univers de la course, plusieurs changements majeurs sont également en cours. Début 2024, sera donné à Brest le premier tour du monde en solitaire sur des multicoques (« Ultim ») tous capables de voler. Les bateaux devraient revenir de leur tour du monde au bout d'une quarantaine de jours si on se réfère au record actuel, établi par François Gabart en 2017 (42 jours et 16 heures). En comparaison, la première course du tour du monde en solitaire, entre 1968 et 1969 (appelée *Sunday Times Golden Globe Race*) vit la victoire de Robin Knox-Johnston sur son Suhaili 32 de 9,80 m en 312 jours. Notons que c'est lors

de cette fameuse course que Bernard Moitessier a décidé de continuer à naviguer sur son *Joshua*, franchissant le cap Horn, avant de repartir vers un second tour des mers du Sud et finir à Tahiti pour « sauver son âme »... Des régates inshore de catamarans à ailes rigides et foils (F50) voient s'affronter des bateaux dont la vitesse frôle régulièrement les 100 km/h... véritable révolution en à peine 5 à 10 ans. Éric Tabarly avait-il en tête de telles vitesses quand il décida d'installer des foils sur son *Pen Duick VII* (Paul Ricard) en 1975 ?

L'industrie de la plaisance, quant à elle, revoit ses priorités. De plus en plus de constructions utilisent des fibres alternatives au verre (basalte, lin, etc.) afin de limiter leur impact en CO₂, des résines « recyclables » voient le jour. Les solutions hybrides ou 100 % électriques sont de plus en plus courantes. Les architectes doivent mettre leur talent au service de la qualité de l'espace, de l'optimisation de la matière, du lien avec le milieu et le paysage, plutôt que dans un « hyper confort » où tout est fait pour vivre en mer comme à la maison.

Pour chacune de ces catégories, dans ces évolutions majeures, le rôle de l'architecte naval s'annonce fondamental. Par sa vision globale de la conception des navires en lien avec son programme, sa connaissance du milieu, sa maîtrise des ordres de grandeurs et sa créativité, il possède toutes les clés pour innover et penser les bateaux de demain. Son rôle sera d'intégrer l'ensemble des contraintes liées au programme pour aboutir à un projet cohérent, et efficient, où il aura su trouver la meilleure synthèse.

Cette nouvelle édition d'*Architecture navale, connaissance et pratique* est revue et actualisée pour prendre en compte ces changements. Cependant, les modifications restent mineures : les bases de l'architecture navale (dont le fameux principe d'Archimède) sont inchangées, et le contenu de ce livre est pour l'essentiel fondamental et universel. Couvrant l'ensemble des aspects du métier, nous espérons qu'il restera attractif dans sa présentation, que les questions techniques resteront accessibles au plus grand nombre et qu'il sera ainsi apprécié d'un large public, professionnel ou non du monde de la mer.

Frédéric NEUMAN – juillet 2023

Introduction

Le métier d'architecte naval

Pour la première parution d'*Architecture navale, connaissance et pratique* en 1998, les auteurs étaient conscients de la difficulté de présenter leur métier à des non-spécialistes, certains motivés par le développement de la plaisance, les performances des nouveaux bateaux – en particulier les voiliers océaniques de compétition et la médiatisation qui en est faite – et d'autres plus généralement par les grands événements de mer ou traitant de l'environnement maritime. Couvrant un champ beaucoup plus vaste que celui des seuls navires de plaisance, l'ouvrage devait être attractif dans sa présentation, et les questions techniques rester accessibles à un large public, professionnel ou non du monde de la mer. Au fil des années, le métier a changé pour s'adapter à l'évolution du monde et de sociétés de plus en plus organisées, complexes et réglementées, et à des outils, notamment numériques, de conception et d'accès à l'information toujours plus performants et sophistiqués. Les éditions successives, revues, corrigées et épurées, mais aussi enrichies, actualisées et mises à jour, rendent largement compte de ces changements. Le contenu n'en reste pas moins fondamental et universel.

Comme nous l'écrivions à l'origine, ce livre n'est pas un traité de « théorie du navire » : il existe sur ce sujet d'excellents ouvrages, souvent d'un haut niveau scientifique¹, et de nombreuses publications qui font périodiquement le point des connaissances sur tel ou tel problème particulier : comptes rendus ou minutes de colloques, conférences, communications, séminaires, etc., auxquels le lecteur soucieux d'en savoir plus pourra se référer. Il n'est pas non plus une histoire de la marine, même si un rappel de repères chronologiques a semblé utile, ni un traité de construction navale, petite ou grande. Les publications en langue française sur ce sujet sont rares, mais le simple bon sens et un minimum de connaissances des lois générales de la physique (mécanique, résistance des matériaux, etc.) comme l'observation du savoir-faire des constructeurs suffisent souvent à comprendre, à partir d'une bonne

¹ Par exemple dans notre pays, ceux des Écoles nationales supérieures de techniques avancées (ENSTA), ou encore de l'Association technique maritime et aéronautique (ATMA, *Bulletins annuels*)...

culture des principes constructifs traditionnels, l'évolution des techniques actuelles. Celle-ci suit l'évolution des connaissances, chaque jour un peu plus approfondies, des phénomènes qui intéressent le comportement du navire à la mer et par voie de conséquence sa structure et sa sécurité. Depuis la nuit des temps, on a construit, pour transporter des marchandises, pour combattre ou simplement pour le plaisir, des navires finalement assez bien adaptés à leur fonction, parfois même dotés de qualités exceptionnelles. Ils étaient autrefois l'œuvre d'artisans, charpentiers de marine qui amélioraient sans cesse leurs « modèles » selon leur propre expérience et celle des marins qui les entouraient.

« Art de concevoir des navires répondant à des programmes imposés »¹ l'architecture navale consiste à établir un « projet » du navire, c'est-à-dire l'ensemble des plans et documents généraux de conception (on dit parfois « plans directeurs ») qui seront ensuite nécessaires à l'élaboration des dossiers complets et détaillés d'exécution pour sa construction. Art mais aussi science, car la conception d'un navire fait appel dans une large mesure à des lois et principes de la physique qui relèvent des sciences de l'ingénieur. Étant donné l'infinie variété des navires qui se construisent, tant par les dimensions que par la fonction, on peut imaginer que les métiers qui touchent à leur conception sont aussi très variés. De ce point de vue, il est intéressant de mettre en relief ce qui fait la singularité du métier d'architecte naval en précisant – ce qui n'est pas une évidence – ce qu'il y a de commun dans la conception de tous les navires, grands, petits, de guerre, de commerce, de service, de pêche, de plaisance, à voile, à moteur, etc. par application des lois et principes universels de la physique qui constituent la théorie du navire. Sans oublier les difficultés liées à l'évolution de nos sociétés et à leurs pratiques complexes dans les domaines techniques, administratifs, réglementaires, juridiques (responsabilité, propriété intellectuelle, etc.) sur le plan national et maintenant européen et mondial, qui imposent pour la quasi-totalité des projets, le respect de normes et règlements élaborés par les organismes de normalisation et autres sociétés de classification...

Art ou science ? Intitulé du premier chapitre de *Basic ship theory*², tout le monde, probablement, s'accorde à considérer que « pour la plupart des projets, on distingue généralement une phase exploratoire qui conduit à un concept de base suivi d'une étude préliminaire. À ce stade plus qu'à tout autre, l'art de l'architecte prédomine de beaucoup sur sa science »³, ou encore que « La recherche de l'harmonie et de l'élégance ne doit jamais être perdue de vue dans la conduite du projet et donne à l'œuvre de l'architecte naval l'aspect d'un art aussi bien que d'une technique »⁴. On peut, par ailleurs, trouver la définition suivante sur l'encyclopédie en ligne Wikipédia : « Dans sa conception moderne, l'architecture navale relève de deux grands domaines : l'architecture et l'ingénierie ». Pour mémoire enfin, on rappellera l'intéressante exposition organisée au Centre Pompidou à Paris en 1997, intitulée *L'Art de l'Ingénieur*, à rapprocher de la définition du petit Larousse illustré (2007) : « Architecture : science de l'architecte ». Par tradition dans notre pays, la conception des grands navires est en

1 R. Servières et M. Bénicourt, « Architecture navale », *Encyclopaedia Universalis*, 1990.

2 K. J. Rawson et E. C. Tupper, *Basic ship theory: Ship dynamics and design*, 3e édition, Longman Scientific & Technical, 1993, ouvrage de référence (tous types de navires) dans les pays anglo-saxons.

3 Th. G. Gillmer, *Modern ship design*, United States Naval Institute, 1972.

4 IGA Pascal, *Conception du navire de surface*, ENSTA, 1975.

général l'œuvre d'ingénieurs des constructions navales travaillant dans les bureaux d'études des chantiers qui les construisent, tandis que l'architecte naval exerçant au sein de petites structures à caractère libéral, parfois autodidacte, s'occupe plus de petites ou moyennes constructions navales. Cependant même si pour des navires de fort tonnage « l'intervention de l'architecte [...] ne peut se faire qu'en s'appuyant sur des éléments de dimensionnement qui échappent au champ habituel de son travail, une fois les contraintes techniques prises en compte et clairement identifiées, il reste un champ d'analyse et de créativité très vaste pour ce qui concerne le parti architectural, les emménagements et la ligne générale du bâtiment »¹. L'accumulation des connaissances et l'esprit de synthèse permettent de concevoir, quelle qu'en soit la taille, des navires de types résolument nouveaux.

On parlera donc ici surtout et pour l'essentiel d'architecture, dans un manuel qui s'adresse à tous ceux qui, par formation ou par goût, s'intéressent aux bateaux, à leur conception, et finalement à l'architecture navale en tant que domaine d'architecture à part entière. Et naturellement, d'abord aux étudiants qui suivent les enseignements correspondants, créés en France dans quelques écoles d'architecture dont l'ENSAPLV² qui en a pris l'initiative dans les années 1970. Enseignements choisis, pour certains parce que fortement motivés par une pratique, parfois de haut niveau, de sports nautiques (voile en particulier) avec peut-être l'idée, avouée ou non, de voir dans cette activité la perspective d'une possible ouverture professionnelle. D'autres s'y intéressent par simple curiosité intellectuelle, car « [...] en des sens très divers, le bateau est une excellente école d'architecture. C'est un exceptionnel apprentissage de l'espace... »³, mais aussi parce que notre discipline est d'une grande richesse pédagogique tant les domaines qui y sont abordés sont vastes. Ils vont de la représentation graphique, qui exige une vision très fine de la forme et des objets dans l'espace, aux techniques les plus élaborées pour la mise en œuvre de matériaux parfois sophistiqués comme le sont aujourd'hui les composites, en passant par la nécessaire maîtrise de l'outil informatique... Autant de domaines qui suscitent l'intérêt des architectes et de nombreux ingénieurs.

Naturellement, on présentera dans ce cadre les connaissances spécifiques jugées indispensables pour comprendre par exemple « Comment ça flotte ? Comment ça marche ? Comment ça tient ? Pourquoi un voilier peut aller plus vite que le vent ? etc. » sans s'étendre sur leur justification, scientifique ou non. Compte tenu du public auquel ce livre s'adresse, certains exposés paraîtront évidents, voire puérils à ceux qui en ont déjà la connaissance ou la pratique. Pour d'autres, ils pourront paraître – à tort croyons-nous – trop savants. N'ayant pas toujours affaire à des spécialistes avertis ou expérimentés, on se limitera ici à ce qui intéresse les navires dits « de surface – ou archimédiens », laissant volontairement de côté les problèmes particuliers des navires spéciaux : navires techniques ou systèmes navals complexes, navires rapides ou de hautes performances à propulsion mécanique ou éolienne (voiliers), navires à effet de surface, à hydrofoils, submersibles, etc. Si une bonne culture

1 X. Reydellet, TPFE (diplôme d'architecture DPLG) – EAPLV (1996).

2 École nationale supérieure d'architecture de Paris La Villette, ex-UP6.

3 « Le pullman des mers », enquête Le Monde sans visa, *Le Monde*, 14 février 1987. Architecte, designer, Marc Held œuvra notamment aux emménagements intérieurs et mobiliers des paquebots (à voile) de la compagnie américaine Windstar Cruise construits par les ACH (Ateliers et Chantiers du Havre).

scientifique facilite la compréhension de ces connaissances, la pratique architecturale quant à elle ne demande guère plus dans un premier temps et dans la plupart des cas que des calculs élémentaires, mais qui obligent à de la méthode et à de la rigueur : tout ici n'est pas possible, encore faut-il en permanence y veiller.

La construction des navires présente de réelles similitudes avec le bâti terrestre. On peut noter d'ailleurs qu'en marine, on appelle parfois bâtiment un navire de fort tonnage, tandis qu'en architecture, un vaisseau est défini comme le « grand espace intérieur d'un bâtiment, le plus souvent voûté, de plan allongé et dont l'élévation correspond à plus d'un étage de l'édifice. Une nef d'église peut comporter un ou plusieurs vaisseaux. Par analogie, le bâtiment peut être comparé à un navire¹ ». Pour autant, elle s'en différencie sur bien des points. Par la fonction, elle couvre un domaine qui va de l'aéronef au submersible, à voile ou à moteur, du plus petit engin flottant au plus grand navire, où une communauté allant de quelques personnes jusqu'à plusieurs milliers – par exemple sur les grands paquebots ou navires de croisière – peut être amenée à vivre en totale indépendance, coupée physiquement pour un temps plus ou moins long du reste du monde. Du fait de l'environnement dans lequel ils se situent – le milieu marin, souvent hostile et en perpétuel mouvement – tous ont au moins en commun d'être des corps flottants, en général mobiles (le bateau peut alors être considéré comme l'assemblage d'un flotteur et d'un propulseur), non des édifices figés dans un environnement lui-même figé – hormis les saisons. Elle s'en différencie aussi par les espaces (intérieurs-externes) qui ne sont pas ici délimités par des murs verticaux permettant d'en représenter l'organisation par de simples vues en plan, complétées de quelques coupes et dessins de façades. Pour les navires, et d'autant plus s'ils sont petits, les espaces épousent des formes qui peuvent être complexes : celles de la coque. Les surfaces utiles ne sont pas identiques à tous les niveaux, y compris éventuellement d'un même local. Elle s'en différencie encore par les matériaux : la plupart des coques de navires (en quelque sorte le « gros œuvre »), mais aussi dans une large mesure leurs cloisonnements intérieurs, sont réalisés en bois, en métal (acier ou alliages d'aluminium) et plus récemment en matériaux dits « composites » au sens large (stratifiés de verre, carbone... simples peaux, sandwiches...). Enfin, elle s'en différencie par le vocabulaire, ce qui n'est pas anodin.

Ces corps flottants sont l'objet de la théorie du navire qui est, si l'on peut dire l'architectonique² de notre discipline. Elle comporte d'une part l'hydrostatique, qui étudie le navire immobile (flottabilité, stabilité) et d'autre part l'hydrodynamique, qui considère le navire en mouvement (propulsion, manœuvrabilité). La connaissance des phénomènes décrits dans la théorie du navire est utilement complétée pour l'architecte naval par la perception qu'il peut en avoir en situation réelle, dont le vécu constitue pour lui une expérience irremplaçable. En plus de ces dernières, et de ses connaissances en matière de construction, il doit avoir un minimum de compétences sur le fonctionnement et les contraintes d'installation d'équipements techniques plus ou moins spécifiques et parfois complexes (utilisation, implantation à bord, encombrement, assujettissement à la structure, masse, etc.). Cela lui permettra de préciser son projet (le navire) dans sa réalité physique (et en premier lieu la coque résistante ou d'étanchéité, souvent confondues, puis les équipements), en tenant compte le cas échéant

1 www.wiktionary.org.

2 « Architectonique : ensemble des règles techniques propres à l'architecture », *Petit Larousse illustré*, 1989.

(c'est-à-dire à peu près inévitablement) des dispositions réglementaires imposées pour le type de navire considéré, qui d'ailleurs « intelligemment interprétées, laissent une large place à l'invention et à la nouveauté »¹.

La coque qui constitue le flotteur, éventuellement surmontée de superstructures, doit être construite de façon qu'elle soit suffisamment solide pour résister aux agressions auxquelles elle sera soumise dans son milieu hostile. L'architecte naval doit en imaginer les formes et en particulier la carène, et y organiser l'espace – en tenant compte d'une répartition appropriée des masses – pour répondre au mieux au programme imposé et aux conditions de navigation prévues. C'est de ses formes dont dépendront en grande partie le comportement du navire à la mer, sa sécurité et ses performances. Beaucoup de ces questions relèvent de la mécanique au sens large : mécanique rationnelle classique et des structures pour ce qui concerne la construction de la coque – étudiée par les méthodes traditionnelles de la résistance des matériaux et de nos jours si besoin grâce à des codes de calculs du type éléments finis – qui ne sont pas à proprement parler des sciences navales, mécaniques des fluides pour l'étude des interférences entre l'objet navire et le milieu dans lequel il évolue : air et eau, plus directement liées au « tracé et calcul » des carènes qui sont des domaines plus spécifiquement navals.

Reste à imaginer l'architecture du navire, dans une approche rationnelle (ou analytique, souvent largement empirique) pour répondre au mieux aux impératifs fonctionnels du cahier des charges, autant qu'intuitive (ou synthétique, et sensible), propre de l'art, où l'esthétique qui, relevant ici comme ailleurs du domaine culturel, aura autant que possible la place majeure qui caractérise toute architecture de qualité. Sans jamais perdre de vue que « la meilleure solution est la seule qu'on ait le droit d'appliquer, [...] qu'un bon bateau résulte d'une bonne combinaison, d'un bon équilibre entre divers paramètres, [...] qu'il y a ni recettes, ni secrets. Pas de règles simples. Pas de mystères non plus... les projets les plus réussis sont ceux qui combinent harmonieusement proportions générales et détails... »². L'essentiel pour l'architecte naval – ou non – est donc de trouver précisément le bon équilibre dans une vision globalement cohérente du projet. Les spécialistes maîtrisent bien aujourd'hui un grand nombre de problèmes techniques. Il est toujours instructif et souvent passionnant, de travailler avec les scientifiques pour améliorer la résistance à l'avancement d'une carène (simulation numérique, études en bassin d'essai des carènes, etc.), avec les ingénieurs pour optimiser une structure (calcul par éléments finis...) ou un système propulsif. On peut, partant de là, faire un « *patchwork* » de solutions reconnues les meilleures dans tel ou tel domaine. Le résultat en sera décevant (les exemples hélas ne manquent pas) si ces solutions ne servent pas une architecture globale, qui prend en compte des priorités clairement identifiées pour répondre au mieux au programme fixé. C'est à l'architecte naval qu'il appartient, avec le recul nécessaire, de faire le tri entre l'important et ce qui l'est moins, et en conséquence, par un dosage subtil, les choix qui seront ceux de l'optimum ou du meilleur compromis. Le programme comporte souvent des impératifs contradictoires, mais on ne peut avoir la chose et son contraire, et certains problèmes n'ont que de mauvaises solutions. C'est à l'architecte naval de choisir en fin de compte la moins mauvaise. La démarche, guidée par le bon sens, n'est en général ni linéaire ni continue. Certains auteurs la présentent comme une « spirale » décrivant une

1 P. Rice, *Mémoires d'un ingénieur*, Le Moniteur, 1998.

2 O. J. Stephens, *Symposium yacht architecture*, Hiswa Amsterdam, 1979.

logique qui ne correspond pas toujours à la réalité de la conduite du projet. Il s'agit plutôt d'un processus itératif : celui de nos incessants allers-retours du général au particulier, du particulier au général, en essayant de ne rien omettre (il existe pour cela des documents de référence : par exemple devis de masse, spécification types ... qui constituent d'excellents guides) dans un ordre qui n'est pas toujours celui de la logique ? Pour autant, la spirale sera décrite dans ce livre, dans la mesure où elle constitue une aide ou une indication de méthode précieuse pour la conduite du projet.

Les navires sont aujourd'hui de plus en plus sophistiqués pour des clients de plus en plus exigeants, ce qui peut en rendre la conception – et la mise en œuvre – d'une grande complexité. Mais on ne peut demander à l'architecte naval d'être expert en tout. Il doit du moins avoir des principales disciplines qui intéressent son art une intelligence suffisante pour intégrer au mieux dans son projet les propositions des spécialistes, scientifiques, ingénieurs, etc., qui peuvent déployer par ailleurs et le cas échéant un arsenal de moyens considérables pour l'étude d'un problème particulier. Sauf cas d'espèce, ou au-delà d'un avant-projet sommaire pour les très grands navires, il est bien rare que l'architecte naval dispose de tels moyens (qui correspondraient souvent à des budgets hors de proportions avec l'objet même de ses études sans qu'ils soient forcément justifiés, et sans parler d'ailleurs du temps nécessaire à leur mise en œuvre, rarement compatible avec les exigences de délais imposés pour l'élaboration d'un projet !) Il lui faut donc en général « faire » le travail amont avec des moyens plus modestes, en prenant si besoin l'avis de techniciens – constructeur, équipementiers... (qui disposent eux-mêmes pour la plupart de leur propre bureau d'études) – dont la compétence et l'expérience l'aideront à régler efficacement bien des problèmes. D'ailleurs, qu'il s'agisse de navire grand ou petit, sophistiqué ou non, ce travail de l'architecte naval est d'abord celui d'une réflexion, basée si besoin sur une bonne documentation, en tout cas sur sa propre expérience, qui conduit en premier lieu à la définition des grands choix architecturaux. C'est, à ce stade (celui des études préliminaires et des premières esquisses), un travail créatif et de synthèse le plus souvent mené par un seul individu. Il constitue le point de départ d'une série d'approximations successives qui conduiront ensuite à l'élaboration complète du projet. Cette phase est importante – même si des moyens informatiques sont très tôt mis en œuvre – car « l'architecte naval et son équipe [...] savent [...] que les plus grosses erreurs, les plus lourdes de conséquence et les plus difficiles à corriger, sont celles qui se commettent au début des études, dans la phase où se prennent toutes les grandes décisions d'architecture »¹.

Après avoir pris connaissance du programme, la question se pose : « par où commencer ? » (éternelle angoisse du créatif devant sa feuille blanche). Ici comme ailleurs, on peut « distinguer deux modes de création : l'imitation qui reproduit ce qui est vu, et l'imagination qui (re)produit ce qui n'est pas vu »². Le génie étant rare, on se réfère souvent à l'existant. C'est-à-dire penser à telle ou telle réalisation qui aurait, de près ou de loin, un rapport avec le programme qui nous occupe. Et rassembler là-dessus un maximum d'informations : c'est la

1 N. Hochman, P. Quinchon et F. Dupont, *Le Triomphant*, Éditions du Perron, 1994. Libres propos de l'architecte naval : IGA G. Boisrayon.

2 Ph. Boudon, Ph. Deshayes, F. Pousine et F. Schatz, *Enseigner la conception architecturale*, Les Éditions de La Villette, 1994.

phase documentaire. D'abord documentations techniques que l'on trouve dans des livres et publications diverses. On se méfiera de ne pas considérer comme vérité « vraie » tout ce qui est écrit, au seul prétexte que « c'est écrit » ! Puis, sur les équipements et leurs installations... Enfin documentation sur des navires répondant à des programmes plus ou moins similaires, naturellement en premier lieu si l'on a déjà derrière soi un peu de métier, références à d'éventuelles précédentes réalisations. Celles des autres également, ce qui n'a rien d'une démarche inavouable (de vilain plagiaire), pour autant qu'on sache trouver ici – avec le regard critique qui convient – ce qu'on cherche : elle est une nécessité. Il existe d'excellentes publications qui reproduisent des plans plus ou moins détaillés de navires et leurs caractéristiques. D'excellentes publications photographiques aussi, dont certaines sont de véritables œuvres d'art, desquelles on peut tirer une moisson d'enseignements parfois accompagnés d'un émerveillement sur les qualités architecturales des navires qui y sont présentés. Mais on peut aussi aller chercher son inspiration dans des régions ou dans des passés lointains qui ont pu voir naître (bien avant qu'on connaisse les bases mêmes de la théorie du navire ou de la résistance des matériaux) des réalisations remarquables. Une fois recensées les réalisations plus ou moins voisines – et après avoir pris avec elles si besoin quelque distance – on s'efforce de rechercher des solutions nouvelles : « On place le calque du nouveau plan sur le tirage d'un plan plus ancien de dimensions comparables et l'on s'interroge : plus ou moins long ? Plus ou moins lourd ?... »¹.

Au sens large, « l'architecture organise les espaces réalisés pour abriter la vie et les travaux des hommes, pour servir de cadre à leurs divertissements »². Ainsi considérée, elle se traduit par la perception qu'on a de ces espaces. Perception sensible et d'abord visuelle, qui ne peut s'exprimer au stade du projet que par l'image. De ce point de vue, la qualité de la représentation graphique – dans un premier temps celle du dessin manuel – est primordiale : comment peut-on faire partager ou faire comprendre mieux et autrement que par le dessin (qui peut être simple croquis, pour autant qu'il en donne une image « honnêtement » fidèle) l'idée qu'on a de tout ou partie d'un espace. Dès les premières esquisses, les outils numériques de conception 3D permettent aujourd'hui des *rendus* très – voire trop – (froide)ment réalistes, en même temps que de produire des dessins techniques d'une qualité parfaite et d'une précision redoutable. Mais l'ordinateur ne restitue jamais que ce qu'on lui donne. Seuls des croquis préalable puis des plans ou perspectives à main levée, d'ensemble et de détails, complétés si besoin par des dessins plus précis, permettent une saisie informatique efficace.

Outil numérique de conception 3D ou CAO (conception assistée par ordinateur), l'ordinateur a largement fait évoluer le métier. Génial auteur des logiciels Circé3D, aujourd'hui MAAT, qui permirent vers les années 1980 de régler les délicates questions du « tracé et calcul des carènes », Marc Pommellet rappelait que « les problèmes afférents à la conception d'un navire découlent tous, plus ou moins directement, de sa géométrie propre »³. C'est-à-dire qu'ils découlent de ses « formes » dont l'élaboration, subtile pour tout navire quelle qu'en soit la dimension, peut être d'une grande complexité. On distingue : la partie visible située,

1 cf. note 2, p. 19.

2 *Grand dictionnaire encyclopédique Larousse*, 1982.

3 M. Pommellet, *Modélisation géométrique unifiée du navire*, ATMA 1990.

lorsqu'il flotte, au-dessus de l'eau : les œuvres mortes ; celle qu'on ne voit pas, située au-dessous : la « carène » et ses « appendices » appelées œuvres vives. Dans la conduite d'un projet, l'architecte naval doit gérer en permanence l'équilibre des forces et les moments auxquels le navire sera soumis dans ses incessants mouvements à la mer, environnement lui-même en perpétuel mouvement. Autrefois, le travail de dessin – et calculs associés – étaient si laborieux qu'il fallait bien se résoudre, à un moment donné, à les finaliser même s'ils n'étaient pas aboutis autant qu'on pouvait le souhaiter. Aujourd'hui, une modélisation numérique très tôt mise en œuvre permet un travail plus approfondi et précis. Mais ces moyens informatiques restent des outils (de représentation, c'est-à-dire de dessin et de calcul) qui ne changent rien à la démarche « créative » et donc à la qualité architecturale du projet. On pourrait croire volontiers qu'il suffit à l'architecte naval de se mettre devant un écran et appuyer sur un bouton pour produire un bateau parfait. Dans une interview à l'UNCL, à la question « L'ordinateur a-t-il révolutionné l'architecture navale ? », Jean Sans répondait : « [...] les logiciels d'aide à la conception sont d'excellents outils. Mais n'oublions pas que le piano ne fait pas un Mozart, et que l'ordinateur ne donne pas de génie à son utilisateur [...] il y a surtout [dans la conception des bateaux] une petite part de génie et de créativité et une grande part de travail et de sueur¹ ».

Les formes d'un navire posent donc deux problèmes singuliers : leur tracé et le calcul de la carène. Pour le tracé, élaboré à son époque par les techniques traditionnelles du dessin (lattes flexibles et plombs à bec), Jean Angeli expliquait : « On croit volontiers que le tracé d'une carène est une opération qu'un peu d'application permet de mener à bien. L'aisance, parfois miraculeuse, avec laquelle filent certaines lignes contribue largement à accréditer ce sentiment. Quelques heures passées à besogner sur un plan de formes qui se refuse obstinément à filer dans les trois vues suffisent à dissiper cette illusion, et quand bien même la rectification heureuse de quelques lignes donne, par approximations successives, un plan géométriquement correct, rien ne prouve que la carène ainsi définie soit bien appropriée à la destination envisagée [...] Les anciens constructeurs allaient plus droit au but et, attaquant résolument la troisième dimension, modelaient la carène dans un bloc de bois avant tout tracé détaillé. Il faut humblement reconnaître l'excellence de ce procédé primitif qui a permis à de nombreux hommes de talent ... de produire des carènes en tous points impeccables... »². Problème aujourd'hui résolu grâce aux outils numériques qui permettent de créer des « modèles » en trois dimensions, non plus dans un bloc de bois, mais si on peut dire dans un bloc numérique, réglant du même coup les questions du balancement et du lissage des formes comme celles de l'analyse géométrique des volumes et surfaces modélisés, et bien plus encore. Le tracé est traditionnellement la représentation graphique des formes, effectué par projection du contour d'un certain nombre de coupes dans les trois vues d'un repère orthonormé. On en extrait les informations nécessaires au constructeur pour la réalisation de la coque. Autrefois un « tableau des cotes » (*offsets* en anglais) des lignes correspondantes, qui doivent être d'une précision suffisante pour donner de la surface extérieure la définition la plus régulière, la plus « lisse » possible. Les modeleurs 3D qui représentent aujourd'hui le projet comme un

1 UNCL, *30 ans de course au large*, éditions Jacob-Duvernet, 2002.

2 J. Angeli, *Tracé et calcul des carènes*, librairie nautique du yacht, 1942.

« navire virtuel » permettent d'en créer un fichier numérique qui peut lui-même être transmis au constructeur sous cette forme.

Le tracé des formes n'est pas la seule donnée à devoir être précise, mais il conditionne le reste. La nécessaire économie de l'espace conduit à une extrême imbrication des différents éléments qui constituent le navire : emménagements, équipements, structure, etc. Tous les plans correspondants doivent être établis avec une égale précision : dans ce métier « il ne faut pas se contenter de mettre les points sur les « i », il faut mettre un rond autour du point »¹ !

Le calcul des carènes est un problème plus spécifiquement naval. Il consiste à évaluer les principales caractéristiques du flotteur en tant que tel, afin d'apprécier les conditions de flotabilité et de stabilité puis les performances du futur navire. Il existe différentes méthodes traditionnelles qui permettent d'effectuer, avec plus ou moins de précision, ce travail. Très laborieuses, elles conduisent en fin de compte à des résultats souvent douteux, spécialement lorsqu'il s'agit d'étudier la carène inclinée. Ce problème est là encore résolu grâce à des programmes spécialisés de « CAO navale » qui comportent, outre le modéleur surfacique (3D), des utilitaires adaptés au calcul de la carène, laquelle peut être mise et visualisée en temps réel dans n'importe quelle situation (de chargement, d'inclinaison, d'envahissement, voire de mouvements, etc.). L'ordinateur permet ici d'opérer rapidement autant de simulations que l'on veut pour atteindre les objectifs fixés (par l'architecte naval lui-même, par son client, par le programme et ses contraintes, y compris réglementaires, etc.).

Tracé et calcul des carènes sont les fondements de l'architecture navale. Que serait un navire sans « formes » ? On pourrait croire que la science est en mesure aujourd'hui d'apporter « la » réponse à cette question pour un programme donné. Le comportement d'un navire à la mer est en fait d'une telle complexité qu'il faut admettre que cette question n'est pas – et ne sera sans doute jamais – réglée : des formes répondant à des critères considérés scientifiquement corrects peuvent s'avérer peu convaincantes sinon mauvaises, tandis que d'autres, tracées plus intuitivement – ordinateur ou non – peuvent se montrer exceptionnelles : il reste bien encore une magie des formes. D'ailleurs, si le client a en général des idées précises sur ce qu'il souhaite – parfois exprimées par des plans et/ou croquis joints à son cahier des charges, listes détaillées d'équipements, documentation... – il se déclare volontiers incompetent sur les formes de carène et ses caractéristiques, et laisse en conséquence carte blanche à l'architecte naval sur ces questions. On peut dire qu'elles constituent véritablement son domaine réservé, celui qui, exprimant son art, porte finalement le plus sa signature.

L'ordinateur et ses outils plus classiques de bureautique trouvent encore bien d'autres applications : devis de masse, aussi essentiel que l'élaboration des formes (Archimède), calculs des structures et divers... sont traités efficacement avec un « tableur », notices, spécifications... avec un « traitement de texte », le tout géré éventuellement à partir de « bases de données » ... L'ordinateur est donc devenu indispensable : il permet, sinon de réussir un projet à coup sûr, du moins de lever un certain nombre d'incertitudes et en tout cas de s'affranchir dans une large mesure de ce qu'on pouvait nommer l'intendance, c'est-à-dire de tâches (souvent répétitives et, il faut bien le dire, pas vraiment passionnantes) qui prenaient

1 Propos de Ch. Baudouin rapportés par A. Mauric, architecte naval, dans *Mémoires marines*, Éditions AGEF, 1989.

autrefois un temps considérable. Cela laisse à l'architecte naval une plus grande disponibilité pour réfléchir et pour travailler l'architecture du navire proprement dite. Enfin, l'ordinateur a aussi transformé les techniques de construction des navires et leur mise en œuvre. Autrefois, les plans de l'architecte étaient entièrement redessinés en vraie grandeur dans la salle à tracer du chantier. Le maître-traceur avait pour mission d'abord de s'assurer du lissage correct des formes (le cas échéant d'y apporter les rectifications nécessaires, ce qu'on appelait le balancement des formes), puis d'intégrer au tracé ainsi arrêté certains détails d'exécution (en tenant compte éventuellement d'usages propres au chantier). Ce métier a aujourd'hui pratiquement disparu : les outils de CFAO permettent de produire des dessins en vraie grandeur, et de pré-fabriquer directement à partir de fichiers numériques extraits du projet un certain nombre d'éléments de la construction par découpe sur des machines à commande numérique : gabarits de montage, pièces de structure, d'emménagements... qu'il restera ensuite à assembler.

Cette introduction survole l'essentiel des questions soulevées par la conception d'un navire, et singulièrement le tracé de sa carène qui conserve toujours un côté intuitif un peu magique. Bien d'autres problèmes se posent, et d'autres connaissances sont nécessaires. Par exemple et pour mémoire : la théorie de l'aile portante (avec les connaissances qu'on en a en aéronautique) qui y a de nombreuses applications : voilure et dérive, gouvernail, pales d'hélice, plans porteurs (foils) etc., ainsi que les nouveaux matériaux (composites), en constante évolution... Les questions aussi se posent toujours de savoir jusqu'où aller, jusqu'à quel niveau de détail, qui fait quoi... Le talent de l'architecte naval est d'intégrer en un juste équilibre l'ensemble des données de son projet dans une vision globale, ici alliance parfaite de la science et de l'art. Quelles qu'en soient la fonction, la destination et la taille, le bateau est un ouvrage dont la conception est l'archétype du « design ». Lorsqu'on s'occupe d'objets techniquement évolués, il existe souvent dans notre pays une confusion entre les rôles de l'architecte, de l'ingénieur, du maître d'œuvre... C'est moins vrai chez les Anglo-Saxons dans ces domaines où le projet s'appelle toujours *design*, et singulièrement en construction navale : *ship design*, *boat design*, *yacht design*, etc., et le concepteur-architecte-ingénieur *designer*¹.

Comme nous l'écrivions en introduction du dossier « architecture et design naval » publié dans la revue *Architectures à vivre*² : « Le métier d'architecte naval est extrêmement complexe. Beaucoup plus que celui – et sauf pour quelques ouvrages d'exception – de son homologue du bâti terrestre. *Design* (au sens anglo-saxon du terme), on ne travaille pas ici des lignes droites avec une règle et une équerre, mais tout en courbes, avec des contraintes techniques (celles de la « théorie du navire » : hydrostatique et stabilité, aéro-hydrodynamique et performances, puis des structures pour la mise en œuvre de matériaux de plus en plus sophistiqués...) et fonctionnelles d'organisation de l'espace où le moindre recoin est utile... Il faut de plus être familiarisé avec l'environnement marin et la conduite du navire à la mer... Peu de personnes [...] imaginent le travail minutieux et le temps considérable que tout ceci

1 Mais les Anglo-Saxons utilisent aussi les termes architecte et ingénieur : voir p. ex. RINA (The Royal Institute of Naval Architects, Royaume-Uni), SNAME (The Society of Naval Architects and Marine Engineers, États-Unis).

2 *À vivre* – sept.oct.2016

demande, et qu'il faut passer pour élaborer un projet de navire. Même si l'ordinateur permet maintenant, par une modélisation 3D et des routines de calcul approprié, de résoudre parfaitement les délicates questions du « tracé et calcul des carènes » et bien plus encore, il n'en reste pas moins un outil (de représentation, c'est-à-dire de dessin, et de calcul) qui ne change rien à la démarche « créative » et donc à la qualité architecturale d'un projet (on peut réaliser d'excellents bateaux sans ordinateur et de très mauvais avec !).

En observant un plan ou sa réalisation, on entend parfois demander : pourquoi comme ça et pas autrement ? Pourquoi ci, pourquoi ça ? À quoi il est bien difficile de répondre car, en dehors des contraintes fonctionnelles – cahier des charges du client futur propriétaire – et techniques, le projet reste une œuvre d'architecture, équilibre entre divers éléments qui font un navire réussi, résultat de l'inspiration – ou de la mode – du moment, propre de l'art : « la conception architecturale comme travail, jusque récemment perçue de manière empirique et intuitive [est] le plus souvent tenue pour indicible »¹. Ce livre a pour ambition de présenter, analyser puis expliquer de façon didactique, c'est-à-dire aussi simplement que possible un exercice finalement complexe (comme l'est toute architecture ?), qui se situe au carrefour du *design* et de l'ingénierie, des techniques avancées et d'une culture séculaire : le projet de navire. C'est une compilation – pragmatique et non exhaustive – de connaissances que des années de métier et d'enseignement ont amené les auteurs à glaner aux sources les plus diverses, et à considérer dans la pratique comme essentielles.

Pour une meilleure compréhension, le livre est présenté en deux parties. La première intitulée « Projet de navire, notions fondamentales », est de nature descriptive : description du navire avec les termes qui lui sont propres et ses caractéristiques, puis description de ce qui constitue principalement le projet au sens de la conception architecturale. La seconde partie : « Méthodes de conduite du projet, étapes principales », montre plus précisément le cheminement qui conduit au projet, et les contraintes à prendre en compte au fur et à mesure de son élaboration. Ces deux parties, d'abord la connaissance puis la pratique, sont suivies d'annexes techniques : rappels succincts de mécanique et de résistance des matériaux, tableaux de références et coefficients divers, tables de symboles et principales unités, complétées d'une bibliographie, d'une table de sigles et abréviations utiles, et un index.

Nous espérons qu'il apportera des éléments de réponse aux interrogations des étudiants, et saura intéresser des ingénieurs, des architectes – les exemples ne manquent pas de ceux qui, parmi eux, ont trouvé quelque part dans les bateaux une source d'inspiration inépuisable – ainsi que tous ceux qui portent quelque intérêt aux navires et à l'architecture navale, métier dont la difficulté tient finalement peut-être à la seule mais impérative nécessité d'avoir ici à penser à tout à la fois, pour articuler au mieux, dans la plus grande harmonie, l'extrême imbrication de tout ce qui fait un navire réussi.

1 P.Rice, *Mémoires d'un ingénieur*, Le Moniteur, 1998