



Epitome de la construction navale

F. Baudu 03.02.2024

A) Jusqu' à la fin du XVIIème siècle, la construction navale se faisait sans plans. Je cite La Varende (membre de l' Academie de Marine) "Le Maréchal de Tourville et son temps" (1642 - 1701) :

Debut de citation

"...s' ajoutaient une infinité de procédés divergents, habitudes personnelles, de tics que chaque maître avait apportés avec lui ; des influences anglaises, hollandaises, vénitiennes, napolitaines, suédoises même."

Colbert décida de nommer du Quesne, à la fois manœuvrier et constructeur, respecté des charpentiers, comme inspecteur et directeur des constructions. Mais c' était un illettré, qui ne sut pas coordonner. Colbert lui adjoignit Tourville. Et que ces maîtres charpentiers se montraient donc difficiles à contenir, même à contrôler ! Surtout, il y avait le secret. La profession de maître avait toujours été mystérieuse, ésotérique même. Les charpentiers de navires étaient des initiés qui avaient une tradition et La transmettaient après noviciat, à ceux Qu'ils jugeaient dignes de les continuer. Les secrets n'étaient pas seulement des tours de main, des trucs d' habileté, mais encore de véritables formules concernant des problèmes de la construction. Ils héritaient les répertoires, les notions non encore écrites, que retenaient leur mémoire prodigieuse d'illettrés.

Voici par exemple le secret pour trouver le tonnage, le volume en tonneaux (100 pieds cubes : 2,83 m³) d'un navire. Avant d'être écrit, il n'était qu'une tradition orale :

- L' on ajoute la longueur de la quille avec la longueur de l' estrave à l' étambot et, de leur somme, l' on prend la moitié ; derechef, l' on prend la plus grande longueur du gabarit ou bien la longueur du maître bau avec celle de la lisse d' ourdy qu' on ajoute ensemble et, de leur somme, on prend la moitié ; ensuite, on multiplie ces deux moitiés l' une par l' autre, et le produit de cette multiplication est mis à part. Après, on prend la hauteur du creux avec la hauteur du premier pont au second, qu'on ajoute ensemble, et avec leur somme, on multiplie le produit provenu

de la multiplication des deux moitiés ; et ce qui vient de cette seconde multiplication est divisé par quatre-vingts ;
et le quotient donne le nombre de tonneaux (1675) -

Depuis les premiers âges, ces maîtres de hache formaient une classe impérieuse et fermée, une franc-maçonnerie très silencieuse et très active. Ils étaient tous, en Normandie, et à Dieppe qui forma les plus grands avec Honfleur, compagnons de Maître Jacques, le lointain Phénicien légendaire, dont le tombeau, à La Sainte-Baume, devenait leur pèlerinage. On les emmenait toujours dans les grandes expéditions de découvertes, autant comme pilotes que comme ouvriers. Les maîtres de hache normands avaient servi de pilotes aux Templiers.

Ils avaient établi des étalonnages de résistance des matériaux. Ils usaient de barèmes, avant François Barre (1638-1703), un mathématicien, pour les densités. Ils scrutaient les madriers à l'ongle, à la palpation, à l'odeur, à la percussion, décelaient les parasites. Un chef-d'œuvre de charpentier exigeait le dressage d'un bordage de vingt pieds sans autre secours que l'herminette, et poli comme au rabot ; une tête de cabestan, réalisée à la hache, réalisée à la hache plane, sans your. Ils avaient le pouvoir de rendre intouchable, de se réserver tout arbre qui leur plaisait. Mais ils restaient, au fond, des empiriques appliqués. Nul de ces grands vaisseaux, jusqu'au XVIII^{ème} siècle, ne fut demandé à des architectes, mais bien à ces tacherons. Jamais ils ne dessinaient un navire.

Voici comment procédait le maître de hache : une fois arrêtée la destination du navire, on réalisait immédiatement quatre éléments déjà montés sur les tins de la cale : la quille, l'étrave, l'étambot, et le maître-couple. Au premier tiers avant, se montait le maître-couple qui déjà indiquait beaucoup de la destination du navire : un tiers de la longueur totale pour les navires de charge, un quart pour les bâtiments légers, frégates, rapides ; un huitième pour les galères. En U, bien carré du bas, et rétréci dans les hauts pour les gros porteurs ; en V pour les vifs.

Alors avait lieu l'opération transcendante et abstruse : le balancement des couples (d'où est venue l'expression " bien balancée " pour les femmes agréablement tonsurées). Entre le maître-couple et l'avant et l'arrière, on introduisait deux autres couples et, au moyen de gruaux (grues) et de chèvres, on les plaçait sur la quille. On tâtonnait pour savoir la place légitime de ces côtes intermédiaires, on les promenait, parce qu'elles fixaient la qualité du navire.

Trop à l'avant ou à l'arrière : navire mastoc. Ramenées près du maître-couple, navire léger. Le coup d'œil du maître de hache intervenait seul.

Cependant, déjà en 1675, Colbert avait obtenu des gabarits réglementaires qu'on faisait varier proportionnellement pour chaque rang de navire. On allait ainsi plus vite sans solliciter la fantaisiste susceptibilité des maîtres de hache."

Tourville, assisté de Renau d'Elicagaray (petit-Renau) et du Jésuite Le Père Hoste, introduisit le calcul. Le Père Hoste rédigea un traité de construction, ils introduisirent l'emploi de maquettes, ancêtres des maquettes d'arsenal, et Tourville professa la construction scientifique à Brest, ce qui fut l'ancêtre du génie maritime.

Fin de citation

B) Sachons qu'il fallait 3.000 chênes centenaires pour construire un vaisseau, 2.000 pour une frégate, plus 500 pour leur entretien.
Leur durée de vie moyenne était de 6 à 12 ans à cause des combats, contre 150 ans

naturellement.

Une frégate se construisait en pas moins de un an et demi. Des règlements interdisaient de construire trop vite : le bois sèche à raison de 1 cm d'épaisseur par an, et, une fois séché, il perd 10% de son épaisseur.

Pour le chêne, il faut idéalement 60 arbres / ha, mais on cherchait à atteindre 120 arbres / ha.

Pour les résineux : 2.000 arbres / ha.

Savoir que les œuvres vives étaient en chêne, les œuvres mortes en résineux.

Une flotte comme la développa Louis XV, demandait des milliers d'hectares de forêts. Il décida d'acquérir la Corse pour ses pins Laricio.

Puis, avec la fondation de l'Académie de Marine en 1752 vinrent ceux qui industrialisèrent la construction navale : plans, maquettes de chantiers. Duhamel du Monceau avait déjà fondé en 1741 la Petite Ecole de Paris destinée à la formation des élèves constructeurs. L'amélioration de l'architecture navale est un souci des académiciens. Ils donnent un avis favorable à une proposition de Grognard, ingénieur-constructeur des vaisseaux du Roi et l'un des premiers élèves de la Petite Ecole de Duhamel du Monceau, pour améliorer la solidité de l'étrave, et obtiennent du ministre que deux vaisseaux soient construits selon ces spécifications. Ils se préoccupent de l'arrimage, des cabestans, de la forme des carènes, de la ventilation des entreponts et cales, de l'installation de paratonnerres et du doublage des œuvres vives. (partie mouillée de la coque, par opposition aux œuvres mortes).

L'Académie de Marine publie un « Traité de la construction des vaisseaux » en 1781, Traduction de l'ouvrage « Architectura navalis » du célèbre ingénieur-constructeur suédois Chapman.

Toutes ces mesures aboutirent à des spécifications de navires et à une grande qualité de construction. Mentionnons par exemple le vaisseau de 74 conçu par un autre membre de l'Académie de Marine, Sané. Les Anglais, s'étant emparés de l'un d'eux (ils tiraient dans ce but « à démater », pour récupérer la coque), ce sont des vaisseaux de 74anglais !, qui nous infligèrent la défaite de Trafalgar.

C) Puis arrivèrent fin XVIII et XIXe les coques métalliques, la vapeur, l'hélice. Mais aussi les lois de similitude (de l'ingénieur britannique Froude). Le nombre de Froude exprime le rapport entre vitesse et longueur, et il donna une fiabilité aux essais de maquette, perfectionnant la méthode Tourville. Les essais au bassin des carènes participèrent désormais à l'établissement des plans. Trois bassins : bassin de traction, bassin de giration, et tunnel hydrodynamique (pour étudier les phénomènes de cavitation).

Quant au chantier, sa préfiguration élémentaire est une plage et une grue...

Mais on continuait à construire le navire autour de sa quille.

D) Les premières coques métalliques étaient rivetées. Le passage à la soudure fit gagner beaucoup de poids et énormément de temps. Cette transition date de la seconde Guerre Mondiale.

On note une évolution dans les chantiers français entre les deux guerres, au plan de

l'automatisation. Ceux-ci revendiquent l'idée de la construction par blocs, généralisée pendant la dernière guerre par l'industriel américain Henry Kayser, qui n'avait aucune expérience dans le domaine de la construction navale, avec les Liberty Ships, d'un port en lourd d'environ 10.000 t. La préfabrication par blocs s'y épanouit ; on arriva à réduire leur durée de construction de 230 à 42 jours ! On imagine la durée avec la méthode de construction autour de la quille, sachant que ces navires comportent 40.000 km (le tour de la terre ou la longueur cumulée des canaux du Marais Poitevin !) de cordons de soudure, et qu'un bon soudeur fait 5m/h !

La préfabrication par blocs, câblés et tuyautés, revendique un gain de productivité d'environ 30 %.

E) Une parenthèse : comme les Anglais, les Français sont les pères de la construction navale japonaise. Des ingénieurs du Génie Maritime comme Émile Bertin et Léonce Verny, furent envoyés au Japon au début des années 1900. Le buste de celui-ci est toujours honoré annuellement par une cérémonie dans l'un des chantiers de IHI dans la baie de Tokyo.

C'est ce chantier (Ishikawajima Heavy Industries) dirigé par Shintô San, qui, après Guerre, se rallia à la préfabrication par blocs, et le mena à la commande historique par l'armateur américain Ludwig, d'une série de pétroliers restés célèbres pour leur solidité. On compensait à l'époque le manque de moyens de calcul par l'échantillon !

F) Que faut-il pour faire un navire ? L'architecte naval répond : des plaques, des poutres, des tubes, les trois éléments que considère la résistance des matériaux.

On part de nappes, on les transforme en blocs, et l'assemblage de ceux-ci est le navire, une poutre.

La construction d'un navire, depuis la première convention SOLAS de 1914 (Safety of Life at Sea) consécutive au naufrage du Titanic, est une application de règlements qui traduisent en navire la spécification désirée par l'armateur. Les sociétés de classification comme le BV, Norske Veritas, Germanischer Lloyd, Nippon Kaiji Kyokai, Lloyd, ABS, RINA supervisent la conformité de la construction aux règlements. Ne sont applicables que les règlements en vigueur au plus tard à la pose de la quille (maintenant complétion du premier bloc).

Industrie très sensible à l'organisation. Selon un architecte naval des Chantiers de l'Atlantique :

- une construction sous nef donne en hiver un gain de productivité de 20 %.

- dans la construction par nappes / blocs pré-assemblés, le travail main basse et au ras du sol fait gagner 50 % .

Selon ce même ingénieur des Chantiers de l'Atlantique, il m'a dit utiliser, pour les séries de navires, la formule d'un ingénieur de Boeing, l'ingénieur Wright, qui construisait les Forteresses Volantes. Il considérait 5 % de gain de productivité entre le premier et le deuxième, encore 5 % entre le deuxième et le troisième, puis plus rien pratiquement au-delà.

Rappelons que l'on a vu, dans les années 60, le coût du kilo de bateau à parité avec le kilo de beurre ! (Navires de charge vrac).

G) aujourd' hui, la demande d' acier pour la construction navale ne dépasse pas 1 % de la demande sidérurgique mondiale.

H) Tous les navires (conception terminée) peuvent se construire en 9 mois, sauf les bâtiments gris ou noirs (militaires surface et s/m), les méthaniers, et les paquebots. Les écarts viennent des autres tâches simultanées du chantier.

N' oublions pas cependant que, malgré les automatismes et les moyens de calcul, la construction navale, à part le militaire, n' est pas une industrie hi tech. Pour illustrer cette affirmation, il faut observer le navire en construction dans son dock : il va tourner sa concavité vers le soleil, à cause de la dilatation. Concave le matin vers l' est, il le sera l' après-midi vers l' ouest : il est donc très difficile pour le constructeur de s' engager avec précision sur sa longueur. (la construction des sous-marins, dans des nefs isothermes, ne présente pas cette difficulté !)

I) quelques exemples de poids d' acier :

Cargo 12/15.000 t.....	5.000t
GPL-ler 40.000 m3.....	8.100 t
GPL-ler 71.000 m3.....	15.000t
Méthanier 170.000 m3.....	20/25.000t
Méthanier 75.000 m3.....	15.570t
Cape Size.(vrac 150kt).....	15.000t
VLCC (pétrole 250kt).....	40.000t

J) quelques exemples de besoins en main d' œuvre : (en heures x hommes)

VLCC : 450.000
Méthanier 170.000 m3 : 950.000
GPL-ler 8.009 m3 : 250.000
SNA : 2.000.000
P.A. Nucléaire 40kt : 12.000.000
IL faut autant d' heures hommes pour construire un SNLE qu' un paquebot de 7.000 pax.

On parlait pour les bâtiments noirs (sous-marins nuc) de 1 heure x homme par kg de bateau ! Cela illustre les énormes différences entre constructions navales civile et militaire.

Pour comparaison :

Une voiture : 23 heures x hommes
Un char Leclerc : 500 heures x hommes
Un Airbus : 50.000 heures x hommes

K) analyse thématique des Chantiers :

Où quel genre de conclusions peut-on tirer du seul examen du plan d'un chantier ?

S'il y a beaucoup de terre-pleins : ouverture à la construction de PCC (plain car carriers) ou PCTC (Plain Cars and Trucks Carriers). Ce type de navire est en effet celui qui s'étale le plus.

S'il y a de grandes longueurs de quais d'armement : ouverture à la construction de méthaniers à membrane qui ne restent que 3 mois dans le dock, puis vont au quai d'armement où ils deviennent leur propre atelier pour l'intégration des membranes de confinement de la cargaison.

Mix permanent entre prix de marché du navire et la durée d'occupation du dock.

Etc.....

L) dans le monde :

La Croatie était, en tonnage, Le 3eme constructeur mondial il n'y a pas si longtemps encore. Une tradition héritée de l'empire austro-hongrois.

La Corée s'est lancée dans la construction navale massive dans les années 70 : Hyundai décrocha sa première commande de Livanos avant d'avoir son chantier. Celui-ci fut construit en même temps que les navires ! Exemple de la pugnacité coréenne. Aujourd'hui, des Chantiers comme ceux de Ulsan (Hyundai), Mipo (Daewoo) ou Geoje (Samsung) livrent chacun 70 à 75 navires par an.

La Chine a fait son entrée massive sur le marché de la construction il y a une vingtaine d'années, alors que, suite à une hausse subite et spectaculaire des taux de Fret, les armateurs ont commandé, remplissant les Chantiers japonais et les coréens. On ne trouvait de créneaux qu'en Chine et, compte tenu du rapide amortissement du navire dans ce marché fou, les armateurs n'hésitaient pas à commander en Chine, même sachant les problèmes et la pauvre qualité des navires. La Chine offrait 1.600 Chantiers, dont 1.100 soi-disant capables de construire des navires de haute-mer. Là-dessus, seulement 5 ou 6 avec une qualité acceptable. Ce pays est cependant rapidement devenu le premier constructeur mondial en tonnage.

Le Japon a depuis longtemps perdu la première place. Bizarrement peu d'exportations. Mais de la qualité.

M) Les relations chantier / armateur ont évolué. Traditionnellement, c'était une relation de confiance. Un armateur était en relation avec un ou deux Chantiers selon le type de navire. Le chantier s'arrangeait pour avoir une cale libre pour son client armateur, et celui-ci n'allait pas à la concurrence.

Cela se pratique toujours ainsi dans le Japon du Sud-Ouest.

Mais les choses ont changé dans les années 1970, avec soudain l'apparition sur le marché des chantiers coréens, la montée en puissance des croates et, plus tard, l'arrivée des chinois. Devant ce désordre, les courtiers sont apparus dès les années 70 sur le marché de la construction neuve.

N) Un tournant dans la construction navale mérite mention. C'est sa rencontre avec l'industrie du pétrole offshore, décennie 90. On faisait jusqu' alors surtout des conversions de navires. Puis vint la nécessité de constructions neuves. Le constructeur et le pétrolier ne parlaient pas le même langage. Pour le pétrolier, la surface, c'est le fond de la mer ! Et la spécification évolue au gré de la construction, contrairement au navire où, même si quelques variations sont possibles, elle est attachée au contrat dès la signature. Mais les Chantiers, surtout coréens, s'adaptèrent et construisirent des FSO et FPSO (Floating Storage Offloading, des stockeurs avec capacité de transbordement, ou Floating Production Storage Offloading, des usines de traitement du brut, avec facilités de réinjection du gaz ou de l'eau, stockage et transbordement). Ceux-ci ont de l'ordre de 20.000 t d'installations sur le pont, et beaucoup en hauteur, avec un chargement continuellement variable. Les Chinois sont arrivés sur ce marché. Le "tranquille" calcul de stabilité comme pour un navire ne suffisait plus. Les chantiers s'y sont adaptés.

O) éléments de la conférence du 29.02.17 par Le DG du chantier STX France aux Mardis de la Mer :

6.000 personnes sur site dont 2.700 employés. (Cela vérifie le ratio selon lequel, en construction de paquebots, La part construction navale, donc la contribution du chantier, n'est que de 30 % approximativement)

100 hectares

1.500.000.000 € de c.a. mais pas de bénéfices.

1.400 tonnes de capacité de levage sur 100 m.

Consommation de 60.000 t d'acier par an.
(Fourni essentiellement par Arcelor-Mittal).

La plus grande forme d'Europe.

Si, au lieu de considérer le tonnage livré, on considère la valeur livrée, les U.S.A deviennent le premier constructeur mondial (bâtiments noirs et gris bien plus précieux que le tonnage marchand).

Compte tenu de la crise en Asie, et avec les mêmes critères, l'Europe vient en position 2 !

St Nazaire, en plus du naval (au sens français, entend être un des acteurs de la transition énergétique : sources offshore.

Réalisation d'ensembles maritimes de 50 à 1.000 M € en 36 mois, y compris conception.

Concevoir - intégrer - essayer - livrer

Le chantier construit les cabines des paquebots : supervision et coordination des sous-traitants.

(La jauge (volumes) des navires se fait selon de nouveaux critères. Au lieu du tjb (tonneau de jauge brute de 2,83 m³ équivalent à 100 pieds cubes), on considère désormais l' UMS)

Pour un navire de 170.000 UMS, la conception représente 1 million d' heures x hommes, soit 20 mois pour 500 personnes. 25.000 documents techniques, 5 secteurs principaux.

Cycle : conception générale, conception détaillée, industrialisation, production.
(La spirale de conception qui refait un tour complet de toutes les tâches pour chaque modification : effet spirale)

L' usinage commence avec 40 % d' avance sur la conception).

Important problème du recyclage des fumées : Diesels, cuisines.

Coques : logiciel Tribon puis Intergraph.

La construction navale que l' on regarde comme ancienne, fut une des premières industries à s' informatiser.

Certains sous-traitants sont dans des zones de combat en Ukraine !

Le chantier considère que c' est par sa production qu' il restera un bon bureau d' études. Fondé sur le retex (retour d' expérience). Pas de délocalisation.

Les bureaux d' études indépendants ont baissé, car ils n' ont pas les retex de la production.

Paquebot de 170.000 UMS : 1,5 millions d' heures x hommes pour les ateliers de montage, et 35.000 tonnes d' acier.

Le chantier de St Nazaire fut le pionnier de la préfabrication entre les deux guerres, imité par les Américains pour les Liberty Ships puis les Japonais après-guerre (voir supra).

Structure, fabrication et montage : 650 ouvriers / 48 managers.

Cabines : 1 à 2,5 tonnes. 50.000 heures de travail pour les études. 130 coréalisateurs actifs. 2 cabines / heure.

Intégration et coordination : 100.000 tâches. 100 métiers à coordonner.

Armement : 3,5 millions d' heures de travail. 3 millions de composants. Jusqu' à 1.800 personnes à bord. 500 coréalisateurs et fournisseurs. Ent
Les installations de lavage de fumée (scrubbers) coûtent entre 5 et 10 millions d' € par navire.

Fabrication coque : 60 % par le chantier.

Contenu : Europe 42 % - Région 30 % -
Achats en France : 57 %

Le chantier produit des paquebots, des équipements pour l'énergie en mer, des services.

Le marché de la croisière :

3 millions de pax en 1990, plus de 10 en 2003, 25 aujourd'hui.

Croissance de 9,6 % p.a. entre 1990 et 2014.

Croissance de 2 % p.a. depuis, avant 2016.

4 grands groupes dominant le marché' : Carnival, RCCL, MSC, UCL.

35 % du marché de la croisière : Antilles. La Méditerranée vient ensuite.

Pour 2030 : 8 à 10 millions de passagers sont attendus sur le marché chinois. CHK Hong-Kong est un concurrent qui émerge.

En 2021 : on attend mondialement 30 à 32 millions de pax.

Saut en 2016 avec la plus forte croissance de 75 %. Après, on attend 10/20 % l' an.

Hélas, les commandes de navires ne sont pas lissées, pics et creux sont un problème pour les chantiers.

Depuis 1970, la taille des paquebots a doublé tous les 10 ans.

Les gros navires, avec leur multitude de divertissements, présentent beaucoup d' économies d' échelle.

A noter que ces navires ont un membre d'équipage pour 2 passagers. Pour la sécurité, quelques armes à bord, et des anciens membres de services de renseignements.

Les paquebots ne sont pas certifiés pour tous les états de mer, mais ont une vitesse et la couverture météo suffisantes pour fuir devant le mauvais temps.

Le chantier emploie 2.516 personnes, dont 23 % sont des cadres.

Il se déploie dans les énergies marines :

Ingénierie et fabrication de sous-stations électriques offshore. Fondations offshore. Jackets.

Le chantier va se lancer dans l'installation : il est pour cela entré dans la géotechnique.

L'éolien offshore : en train d' arriver à parité de coût avec le kWh vapeur.