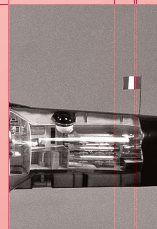
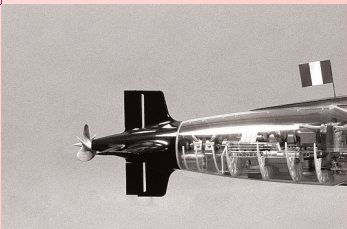
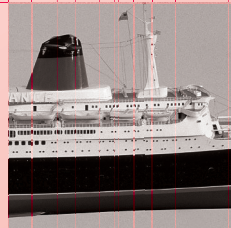


3

siècles
de Génie
Maritime

la construction navale en France



photos © musée national de la Marine - conception graphique : Polygraphik



Musée national de la Marine
Paris – Palais de Chaillot



Le fonds de dotation FDO-ENSTA ParisTech Alumni remercie ses partenaires



Le fonds de dotation FDO-ENSTA ParisTech Alumni remercie également ses mécènes



- « Le Comité d'organisation des «3 Siècles de Génie Maritime» remercie ses partenaires :
- l'ENSTA ParisTech, héritière des Trois Siècles et porteuse majeure de son avenir,
 - la Marine Nationale, avec mention particulière à l'Amiral Pierre-François FORISSIER, pour leur indéfectible coopération,
 - le GICAN, partenaire efficace de tous les instants,
 - DCNS, l'industriel européen représentatif d'un remarquable cheminement passé et d'un avenir si porteur,
 - les équipes du Musée national de la Marine, aux compétences dépassant amplement celles attendus d'un seul musée, notamment le VAE Jean-Noël GARD, le VAE Jean-Marc BRÛLEZ, son directeur et M. Alain NIDERLINDER, conservateur adjoint.
 - Le fonds de dotation FDO ENSTA-ParisTech Alumni représentant tous les mécènes sans lesquels l'anniversaire de ces «3 Siècles» n'aurait jamais pu se concrétiser.

Qu'ils soient tous vivement remerciés et associés.

Les organisateurs remercient également les intervenants du colloque « Trois siècles de Génie Maritime. La construction navale en France » qui s'est déroulé le 8 novembre 2011 au Musée national de la Marine : MM. Bernard LUTIN, Larrie FERRERO, Philippe MARCHAND, Philippe Le BUHAN et Alain BOVIS.

Trois siècles de systèmes complexes... avec la première école d'ingénieurs fondée en France



Depuis trois siècles les ingénieurs du Génie Maritime contribuent, sans discontinuité, à produire les systèmes les plus complexes du moment. Car il faut bien reconnaître que depuis le XVIII^e siècle, les systèmes les plus complexes produits dans le monde ont quasiment toujours concerné les navires (en général, de combat). Henri-Louis Duhamel du Monceau l'avait déjà fort bien compris. À l'époque du siècle des Lumières, en 1741, pour doter la France d'une Marine à la pointe... du combat, ce physicien et botaniste visionnaire, président de l'Académie royale des sciences, avait créé la première école d'ingénieurs, une école dans laquelle il enseignait «l'art» de construire des navires : l'École des ingénieurs constructeurs des vaisseaux royaux, ancêtre de l'École nationale supérieure du génie maritime, devenue École nationale supérieure de techniques avancées ou ENSTA ParisTech.

Cet héritage, parmi d'autres, a permis aux ingénieurs du Génie Maritime, puis de l'ENSTA ParisTech, de concevoir en équipes les systèmes adaptés au monde d'aujourd'hui et de demain. Au passage, et à l'heure où la France se dote enfin (depuis Colbert) d'une politique Maritime, l'ENSTA ParisTech constitue un instrument dont la Nation a bien besoin....En outre, loin de se cantonner aux seuls systèmes navals, l'ENSTA ParisTech peut s'enorgueillir d'avoir su évoluer et s'adapter en «surfant» sur la compréhension et la connaissance des systèmes modernes les plus avancés, en particulier de transport, d'énergie ou de communication. Mais plus encore que la conception et la réalisation de systèmes, nous devons remercier les dirigeants successifs de cette grande école qui ont abouti à maintenir la France et l'Europe dans une position enviable en matière d'innovation et d'animation d'équipes de projets, deux des clés du développement de systèmes complexes.

Car, plus que de simples compétences techniques et de gestion, ce que nous devons reconnaître à la formation des ingénieurs de l'ENSTA ParisTech, c'est bien l'acquisition d'une capacité à innover, à fédérer des équipes et à manager la complexité pour répondre aux besoins du «marché». Voilà, en effet, trois siècles que les diplômés de la filière devenue ENSTA ParisTech développent des «Techniques Avancées», puis contribuent à les concrétiser en collaborations ouvertes pluridisciplinaires. C'est probablement là l'une des raisons majeures des performances et de la longévité du succès de l'école et de son réseau à l'international.

Il était important de bien marquer ces «trois siècles de Génie Maritime» et de souhaiter que les membres de ce réseau demeurent durant tout le 21^e Siècle, modestes et efficaces, serviables et proactifs, fédérateurs et entraînants comme ils le prouvent depuis 1741. Merci donc à tous ceux qui ont animé ce réseau, qui l'ont irrigué et conduit jusqu'à nous. Honorons leur action et leur mémoire en dynamisant la compétitivité et le développement de la France et de l'Europe, mais aussi en contribuant, à la paix et à l'équilibre international.

Poursuivons cette action en nous adaptant en continu à un monde qui bouge sans cesse. L'époque est passionnante. Les projets et les innovations à développer le sont tout autant. Réfléchissons vite, estimons les risques, puis fonçons en demeurant à l'écoute du monde...

Pour ENSTA-ParisTech Alumni et le fonds de dotation FDO ENSTA-ParisTech Alumni
Guy Somekh, Président

La construction navale en France

Nouveau parcours thématique dans les collections du musée national de la Marine

Des efforts techniques et scientifiques considérables ont présidé à la conception et à la construction des navires. La France, qui s'est fortement investie dans l'entreprise, s'est très tôt dotée d'une école et d'un corps d'ingénieurs capables de mettre en œuvre dans sa marine militaire l'ensemble des innovations technologiques. Le parcours proposé ici au visiteur s'est donné pour objectif d'illustrer les noms des meilleurs théoriciens ou praticiens français.

Le génie maritime désigne à la fois une spécialité du métier d'ingénieur, de plus en plus étendue et complexe, et, de 1800 à 1967, le corps d'officiers dont il a été fait mention. L'E.N.S.T.A. (Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées), à Paris et à Palaiseau, qui a succédé en 1970 à l'école du Génie Maritime, poursuit cet enseignement auprès des élèves civils non fonctionnaires et des militaires.

Le parcours se rapporte d'abord aux coques des navires; il évoque les machines et l'artillerie, mais pas ou peu le gréement, l'électricité, les torpilles, les systèmes d'armes les plus modernes. L'évolution de tous ces changements techniques peut se comparer, par l'ampleur sinon par la rapidité, aux progrès de l'informatique.

Il ne sera pas ici question de l'organisation des arsenaux. Si, au XVIIIe siècle, les arsenaux constituent les principaux établissements industriels des pays qui en disposent, à la faveur de l'industrialisation, ils se trouvent en butte à la concurrence de certains secteurs d'activité. En France, les pouvoirs publics ont finalement admis que les arsenaux de la Marine ne pouvaient plus être des régies directes. Le changement juridique a eu lieu en 2003, par la création d'une société nationale (DCNS).

Le parcours met en relief vingt-trois œuvres et objets qui évoquent chacun un aspect des grandes avancées techniques de l'architecture et de la construction navales.

1 - L'Ambitieux, projet de vaisseau à trois ponts, vers 1680

Modèle au 1/48. Reconstitution contemporaine. Inv. MnM 2006.15.1.



Ce modèle a été réalisé à partir des travaux de l'historien Jean Boudriot et d'un plan de vaisseau à trois ponts signé du maître constructeur rochefortais Blaise Pangalo, en 1680. Ce plan avait été commandé par le comte de Tourville, chef d'escadre et conseiller de Colbert. L'ornementation du modèle, qui ne figure pas sur le plan, a été définie à partir de dessins de Jean Bérain pour le vaisseau de 80 canons l'Ambitieux, construit à Rochefort en 1692. Le côté tribord du modèle laissé en charpente ouverte permet de voir la distribution des emménagements et des cales. Le côté bâbord est entièrement bordé et équipé de l'ensemble de l'artillerie du vaisseau, composée à cette époque de canons

traditionnels en bronze et de nouveaux canons en fer beaucoup plus économiques. Ce modèle, extrêmement précis et soigné, est l'œuvre de Bernard Frölich qui lui a consacré 3800 heures de travail entre 1996 et 2003.

Des gabarits aux plans

A la fin du XVII^e siècle, le maître-charpentier propose à sa hiérarchie un devis comportant une vingtaine de mesures, dont la longueur, la largeur et le creux de la coque, seuls fixés en 1689 pour chacun des cinq rangs de vaisseaux. Elles ne suffisent pourtant pas à définir la coque.

Le devis accepté, le constructeur choisit le gabarit du maître-couple dans ses papiers de famille, qui comprennent quantité de mesures, et s'appuie sur son expérience personnelle. Il y puise aussi celles des deux couples dits de balancement et du dernier sur l'arrière ou estain.

Une fois les pièces correspondantes en place sur la quille, il dispose sur chaque bord de longues règles flexibles dites lisses, grâce auxquelles il repère et équerre les autres couples (ils ont tous la forme d'une suite d'arcs de cercle), afin de tracer au sol les gabarits de ces couples et des autres pièces de la coque.

Cette méthode a été perfectionnée de diverses manières, toujours sans plan. L'obligation du plan de vaisseau, après l'exécution, est introduite en 1683. On a utilisé les lisses projetées sur un plan vertical grandeur nature afin de « résoudre » tous les couples, puis les sections longitudinales à échelle réduite.

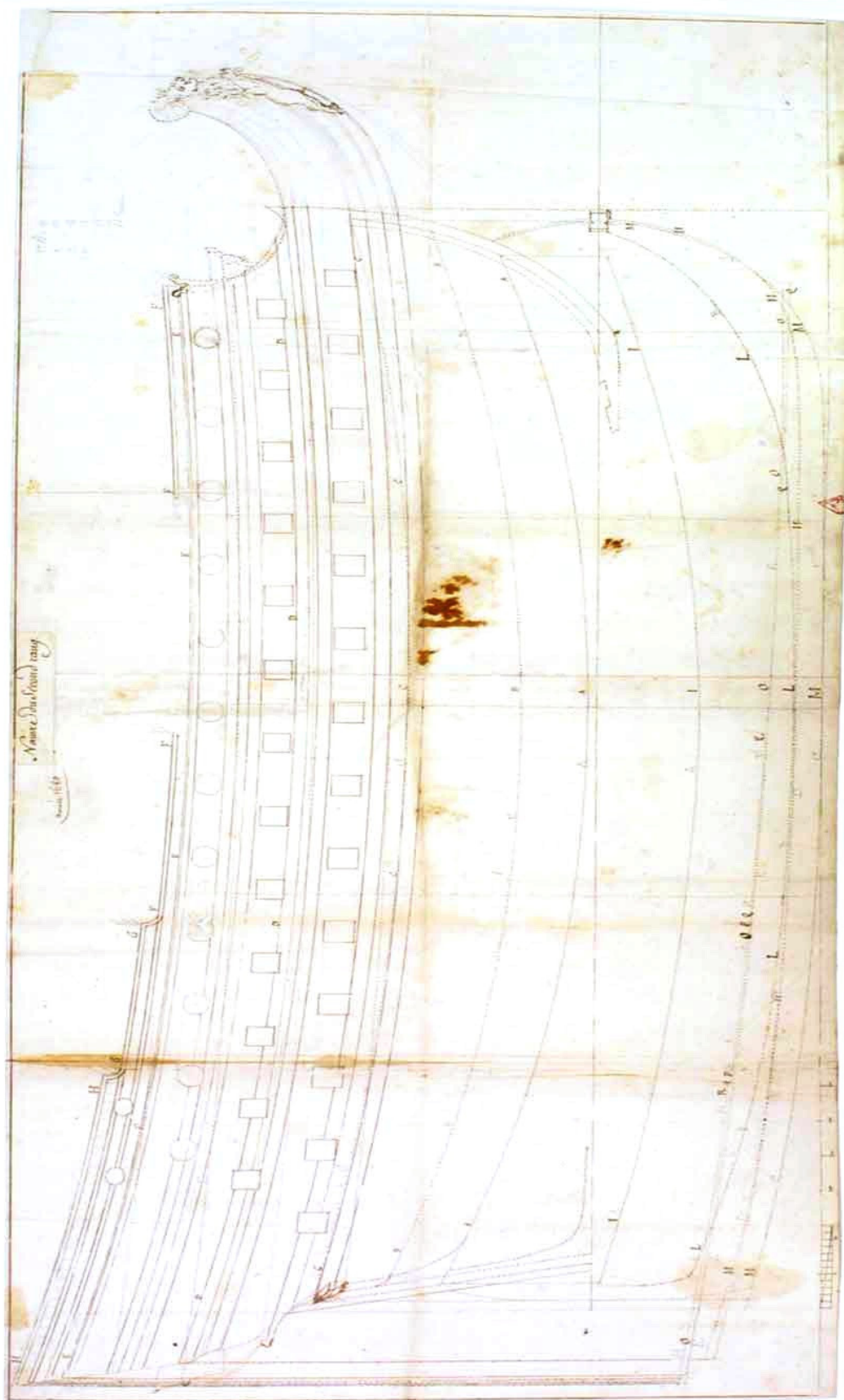
Vers 1720, dans la marine de guerre, le plan en trois vues — élévation ou plan longitudinal, sections horizontales, sections verticales — n'est plus la simple traduction des devis de conception. Il permet de modéliser les volumes des carènes par le calcul de pesantier, déplacement et stabilité avant de construire. Lui seul permet ce calcul. Lui seul réduit les tâtonnements et le nombre des navires manqués, de petites différences pouvant produire de grands effets.

Le plan terminé définit la coque ; il est signé par le ministre : il n'y a plus de secret. Les constructeurs français ont transposé dans les plans certaines méthodes anciennes, comme l'usage des lisses que les mathématiciens réprouvent.

Vers 1786, les calculs se multiplient et le dessin prend davantage d'importance dans la formation des constructeurs. Au siècle suivant, le vaisseau de guerre n'est plus une simple coque et celle-ci un simple volume pesant : la science s'intéresse à la dynamique du navire soumis aux éléments, à la résistance, à l'avancement et à la propulsion mécanique, toutes questions qui requièrent aussi l'usage du dessin « industriel ».



Plan d'un projet de navire de second rang dessiné en 1680 par B. Pangalo.
Crayon et encre, 45x118 cm. Inv. MnM Plan 11201.



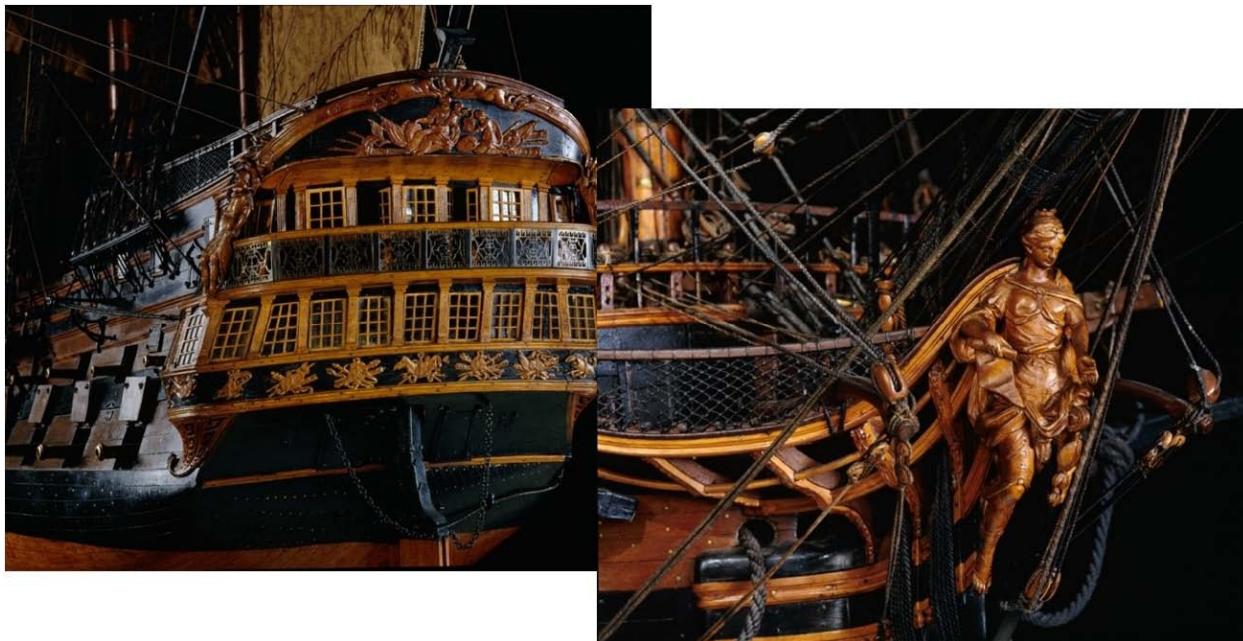
2 - L'Artésien, vaisseau de 64 canons, lancé en 1765

**Modèle au 1/28,8 (5 lignes par pied),
réalisé à l'atelier des modèles de l'arsenal de Brest en 1765.
Inv. MnM 13 MG 3**

Le nom de ce vaisseau se réfère aux Etats d'Artois et de Flandre, qui ont financé sa construction. Vers la fin de la guerre de Sept ans (1756-1763), le secrétaire d'Etat à la Marine, Choiseul-Stainville (1719-1785) imagine de lever un nouvel impôt afin de reconstituer plus rapidement une flotte très diminuée. Suivant l'exemple des Etats de Languedoc, d'autres provinces, des financiers et organismes divers versent de l'argent au roi. Sont ainsi construits ou achevés dix-sept vaisseaux et une frégate. Les donateurs empruntent et lèvent ensuite, s'ils le peuvent, un impôt local afin de rembourser les emprunts.

Les plans de l'Artésien et de quatre autres vaisseaux identiques sont dus à Joseph Ollivier (1729-1777), fils de Blaise. L'Artésien, mis à l'eau dans la forme de radoub de Brest en 1765 et refondu (reconstruit) en 1777, a fait la campagne de 37 mois de Suffren (1722-1788) dans les Indes et a fini sa carrière en 1785 comme ponton-machine à mâter du port de Rochefort. Il avait reçu un doublage en cuivre et en bois. Le dernier vaisseau de 64 canons a été construit en 1778 : entre-temps, le 74 canons était devenu le vaisseau principal de la marine française.

Le modèle de ce vaisseau a été réalisé à l'arsenal de Brest lors de la construction du navire réel et à l'initiative du chevalier d'Oisy, inspecteur de la construction du vaisseau et son premier commandant. C'est l'une des plus belles pièces du musée national de la Marine. Le modèle, autrefois démontable, a servi, à partir de 1769, aux « leçons de marine » données à Versailles au futur roi Louis XVI et à ses deux frères par l'ingénieur et artiste Nicolas Ozanne (1728-1811). La voilure est incomplète : il lui manque notamment des voiles d'étai. Tel qu'il est représenté, le vaisseau est « en panne » (arrêté).



3 - Habit d'ingénieur du Génie Maritime, vers 1800

Don de Madame Sartiaux, avant 1947, Inv. MnM 47 AR 33.1.



Parmi les maîtres d'ouvrage entretenus des arsenaux, c'est-à-dire rémunérés à l'année et dont l'ordonnance du 15 avril 1689 décrit les fonctions, figurent les maîtres-charpentiers chargés des constructions (1ère catégorie). Le titre de maître disparaît des brevets des maîtres-charpentiers constructeurs en 1741. Un corps de constructeurs à trois grades (élève, sous-constructeur, constructeur) est alors constitué et son existence est confirmée par l'ordonnance du 25 mars 1765, les constructeurs devenant ingénieurs-constructeurs.

Depuis 1741, les élèves doivent fréquenter l'Ecole de Paris, fondée par Duhamel du Monceau, après avoir été sélectionnés dans les ports et y avoir subi, jusqu'en 1786, un apprentissage auprès de constructeurs en fonctions. L'avancement se fait ordinairement à l'ancienneté dans les trois grades inférieurs de 1765, et au choix pour le premier grade. L'institution d'un concours permet de recruter des élèves en dehors des ports et d'exiger d'eux des connaissances préalables en mathématiques, jugées plus utiles que l'apprentissage.

La position acquise par les anciens maîtres est déjà considérable en 1786, lorsqu'ils obtiennent les places de directeur des constructions, puis, en 1800, celles d'inspecteur du Génie Maritime et de directeur de l'Ecole d'application. Les ingénieurs-constructeurs, officiers civils, deviennent alors les officiers militaires du Génie Maritime. Ce nouveau nom dérive de « Génie de la Marine », parfois employé à partir de 1766. Jusqu'en 1900, on appellera ces officiers « ingénieurs de la Marine », puis l'appellation de Génie Maritime sera utilisée dans tous les grades. Le corps du Génie Maritime a fusionné en 1967 et 1970 avec cinq autres corps d'ingénieurs militaires, pour former le corps des Ingénieurs de l'Armement.



4 - Portrait de Henri-Louis Duhamel du Monceau (1700-1782)

Huile sur toile, 1966. V. Zveg (1913-2006), d'après Drouais (1727-1775)

Inv. MnM 11 OA 364



Avant d'apprendre à Paris les éléments de la théorie de leur art, des constructeurs en ont enseigné la pratique, dès 1680, à des élèves-officiers de marine dans les écoles des ports de guerre.

En 1729, la Marine recrute un botaniste, académicien et savant aux multiples talents pour l'inspection de toutes les parties techniques du service. Duhamel du Monceau constate ainsi que les constructeurs, en 1740 encore, travaillent au hasard et sans bases scientifiques : il se propose de les instruire dans les mathématiques, la physique et le calcul des plans, afin qu'ils déterminent les qualités et les défauts de leurs vaisseaux avant de les construire. La majeure partie de l'enseignement de l'école de construction fondée par Duhamel en 1741 se fait, jusqu'en 1796, par leçons particulières. Bien des professeurs et des examinateurs sont des hommes célèbres. Duhamel compose pour ses élèves le *Traité pratique de la construction des vaisseaux* (1752) qui complète le traité théorique de Pierre Bouguer (1698-1758) publié en 1746. Une salle au Louvre rassemble depuis 1748 les modèles de vaisseaux et de machines portuaires offerts au roi par Duhamel, utilisés également pour l'instruction des élèves : ce sont les pièces les plus anciennes du musée national de la Marine.

La succession de Duhamel est assurée par Jean-Charles de Borda (1733-1799) et par le nouvel examinateur de l'artillerie de terre et des ingénieurs des deux corps de la Marine, qui n'est autre que Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). Le recrutement, encore confiné à la Marine en 1765, n'est pas satisfaisant, et ces deux savants préfèrent former d'abord à la théorie des élèves ayant appris les mathématiques élémentaires et réussi le concours d'entrée dans cette matière. L'école des ingénieurs constructeurs de vaisseaux, ainsi réformée en 1786, est le modèle le plus proche de l'École polytechnique, qui est créée huit ans plus tard.

5 - Vaisseau de 118 canons en construction, Premier Empire

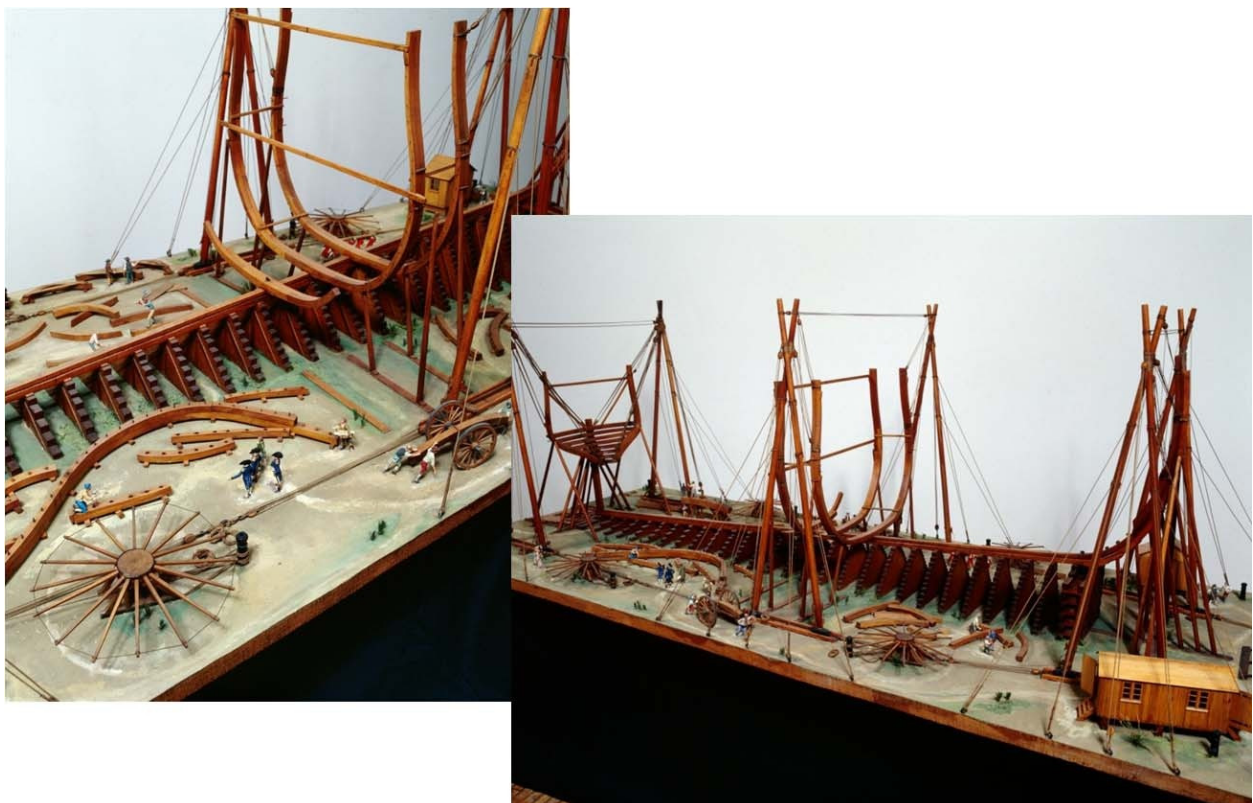
Modèle au 1/40, réalisé à l'atelier des modèles
de l'arsenal de Toulon, début Xxe siècle

Personnages réalisés par M. Lelièvre en 1965, Inv. MnM 27 CN 10.

Le modèle représente le début de la construction d'un vaisseau sur une cale inclinée, après la pose de la quille sur les tins en bois. On remarque les engins de levage, qui sont des bigues et cordages servant surtout à la construction des coques et à l'installation de la mâture. La manutention de pièces aussi encombrantes que les couples est entièrement assurée de cette façon. Les bigues sont des mâts dont l'extrémité supérieure est garnie de cordages et d'appareils funiculaires. Elles sont le plus souvent réunies par deux en une « chèvre » au sommet de laquelle se trouve un palan et, en bas, un treuil ou guindeau. Ce système de levage sera repris, bien après, sur les cargos.

D'une manière générale, la pauvreté du matériel de construction et de fabrication dans les ports contraste, pendant longtemps, avec la perfection des bâtiments à construire. Lorsque l'artillerie comportera des pièces très lourdes et des tourelles, les ports seront obligés d'acquérir de véritables grues, dont l'allure caractéristique sera un point commun entre les ports militaires et marchands.

Une mesure proposée dans les années 1762, inspirée peut-être par Venise, a été généralisée sous la Restauration. La construction de la coque sur cale est stoppée aux 22/24e. Celle-ci est alors protégée par une toiture provisoire en bois (le constructeur Groignard préconisait les hangars) jusqu'au moment de son lancement, qui peut avoir lieu des mois ou des années après, en fonction des possibilités financières ou de la politique navale de l'Etat. Après le lancement, la finition de la coque et l'équipement demandent peu de temps, ce qui limite au maximum les risques de corrosion par l'eau de mer. Tel fut le dernier mode de construction des coques en bois.



6 - Jacques-Noël Sané (1740-1831)

Buste en marbre signé L. J. Daumas (1801-1887), avant 1846

Dépôt du musée du Louvre, département des sculptures, Inv. MnM 41 OA 41D

Le nom de Sané reste associé aux plans des vaisseaux de 74, 118 et 80 canons, qu'il a proposés et qui ont été retenus en 1782, 1786 et 1787 par le marquis de Castries (1727-1801) secrétaire d'Etat à la Marine, sur les conseils de Jean-Charles de Borda (1733-1799), son conseiller et successeur de Duhamel du Monceau.

La recherche de l'uniformité dans le dessin des carènes des vaisseaux remonte à Colbert (1619-1683), qui, soucieux de diminuer le nombre des bâtiments manqués, fit reproduire ceux que l'expérience de la mer avait distingués. Dans les faits, la tendance à l'augmentation des dimensions et à leur variété demeure irrésistible. Chaque constructeur a son idée de la perfection et, faute de partir d'un même point et d'utiliser l'expérience de façon coordonnée, l'on en arrive à constituer des escadres dont la valeur et l'efficacité sont rapportées au plus mauvais et plus lent des vaisseaux qui les composent. Cette sorte d'anarchie augmente aussi le coût des armements : ainsi l'équipage d'un 64 canons est-il passé de 424 à 561 hommes de 1690 à 1759.

Deux ministres ont repris le flambeau de Colbert : Bourgeois de Boynes (1718-1783) et Castries. Le constructeur Grognard (1727-1798) aurait dû être l'homme de ces plans types, fixant toutes les dimensions et toutes les pièces des coques, de cette uniformité qu'il appelait de ses vœux. Mais, comblé d'honneurs mérités, il finit par indisposer. C'est un autre constructeur talentueux mais plus réservé, Sané, qui produisit les plans retenus après concours.

Cette standardisation réussie couronne un siècle de tâtonnements dans les ports, et les efforts plus récents des scientifiques pour « calculer » ces navires. Plus de cent cinquante vaisseaux des trois types ont été construits ; les deux derniers ne furent radiés qu'en 1882.



7 - Coque de vaisseau de 74 canons, 1755

Modèle au 1/24 signé Pic 1755

Cession du ministère de la Marine en 1829, Inv. MnM 11 MG 3.

Les maîtres-charpentiers chargés des constructions, puis les constructeurs, ont longtemps appartenu aux familles exerçant cette profession. On compte ainsi treize constructeurs du nom de Coulomb en quatre générations, et six au moins du nom de Chapelle. Certaines familles, comme les Rolland, ont fourni des officiers de santé et des commissaires, en même temps que des constructeurs.

Augustin Pic est le premier, ou l'un des premiers, à ne pas être issu de ce milieu. Ce n'est en effet que vers 30 ans, en 1751, qu'il obtient une place d'élève-constructeur salarié au port de Rochefort. En guise d'examen d'entrée à son école, Duhamel du Monceau lui demande de calculer une frégate de 40 canons, ce qu'il effectue avec succès et le dispense alors d'aller suivre les cours à Paris. Devenu ingénieur-constructeur ordinaire en 1767, Pic quitte le service en 1792.

Son parcours ouvre la voie à l'admission d'autres « étrangers » dans le corps des constructeurs, une ouverture que le concours de 1786 va instituer.

Le modèle exposé, dû à l'ingénieur Pic, est très soigné. Il ne représente aucun vaisseau en particulier ; dans un souci de pédagogie il est ouvert sur tribord pour laisser voir les emménagements. Cette coque de vaisseau, qui était destinée à l'Académie de marine, a rejoint la collection de la salle de marine au Louvre. Augustin Pic a réalisé les modèles remarquables de deux autres vaisseaux et d'une galère.



8 - Le *Suffren*, vaisseau de 90 canons, sur son ber de lancement, 1829

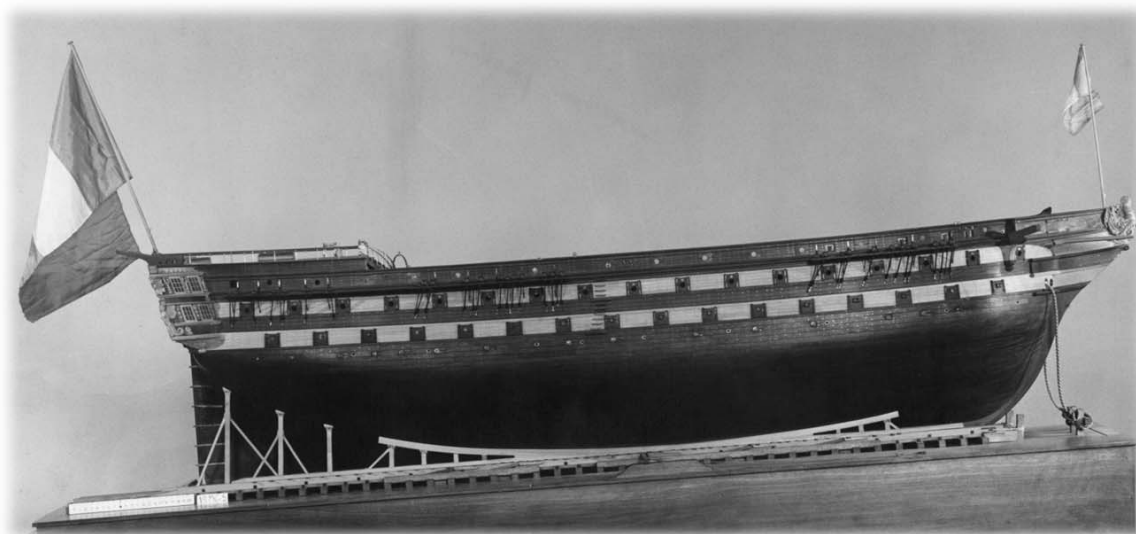
**Modèle au 1/40, réalisé à l'atelier des modèles
de l'arsenal de Cherbourg vers 1829,
Inv. MnM 19 MG 5**

En 1814, les vaisseaux issus des plans types Borda-Sané, même améliorés, sont dépassés. La guerre anglo-américaine de 1812 a révélé les grandes frégates armées de canons de 24. Lorsqu'un vaisseau de 74 ne peut utiliser les canons de 36 de sa batterie basse, il n'a plus que du 18 à leur opposer.

La commission dite de Paris établit en 1824 des plans types pour de nouveaux vaisseaux à deux ponts, qui doivent porter 90 et 100 canons. L'ingénieur du Génie Maritime Paul-Marie Leroux (1786-1853) est chargé du plan du vaisseau trois-ponts de 120 canons, dont un seul exemplaire est construit, le *Valmy* (deux modèles sont exposés au musée), et il est raté.

Trente vaisseaux des trois nouveaux types furent construits, à un rythme lent. Seuls cinq d'entre eux, dont le *Suffren* et le *Valmy*, vont échapper à leur transformation à partir de 1849 en vaisseaux mixtes, l'installation d'une machine à vapeur ayant pour conséquence l'allongement de la coque. Ces nouveaux plans types vont être les derniers. Le progrès technique conduira à lancer des séries et servira même de prétexte à la constitution d'une flotte hétérogène, chaque fois que la mode et diverses influences permettront cette régression.

Les vaisseaux du type *Suffren* sont des trois-ponts déguisés, car les gaillards sont entièrement couverts et ménagent une batterie découverte. L'armement d'origine du *Suffren* est celui qui a été prévu en 1824 : 62 canons de 30, 24 caronades de 30 et 4 canons de 18 long. Les formes de la carène sont assez différentes de celles du vaisseau de 80 canons type Borda-Sané. Le déplacement, avec une hauteur de batterie de 2 m, est de 4 058 t, dont 2 052 t pour la coque.



9 - Le *Sphinx*, corvette à roues, lancée en 1829

Modèle au 1/40, réalisé à l'atelier des modèles de l'arsenal de Rochefort en 1829, Inv. MnM 23 MG 2

L'ingénieur du Génie Maritime Hubert (1781-1845) a acquis une réputation de mécanicien de premier ordre. En 1827, il visite le Leeds, qui effectue la liaison de Dublin à Bordeaux ; d'autres bâtiments, qui naviguent dans la Garonne, sont équipés de machines de 160 CV produites par Fawcett à Liverpool et réputées en Angleterre. Hubert est frappé par la tenue des machines et il propose d'en acquérir une pour la Marine, qui accepte.

Le *Sphinx* est remarquable par sa machine anglaise et ses câbles-chaînes, dont la fabrication dans les ateliers de la Marine à Guérogny, imitée de l'Angleterre, a commencé en 1823. Hubert dessine une coque très solide afin de ne pas influencer le mouvement de la machine. Le *Sphinx* est mis en chantier à Rochefort en juin 1828, lancé en août 1829 et mis en service en mars 1830.



Caractéristiques : longueur à la flottaison : 46,25 m ; largeur hors bordé : 8,15 m, hors tambours des roues, 14 m ; tirant d'eau moyen : 3,35 m ; déplacement : 777 t ; armement : 8 caronades de 24 et 3 canons de 24 long ; gréement en trois-mâts goélette (750 m² de voilure).

Le navire emporte 160 t de charbon et consomme 5 kg/CV.h ; il emporte aussi 250 l d'eau de mer par cheval nominal (CV) pour remplir la chaudière. Le collecteur de vapeur alimente les deux cylindres. Il faut extraire une partie de l'eau toutes les deux heures pour chasser le sel. La machine est de type à balancier inversé ; les deux cylindres à axe vertical ont 1,22 m de diamètre et 1,44 m de course. Le *Sphinx* peut traverser la Méditerranée à 7 nœuds de moyenne.



9 bis - Machine à vapeur du *Sphinx*

**Modèle au 1/10, réalisé à l'atelier des modèles
de l'arsenal de Rochefort en 1837
Inv. MnM 17 CN 3**

Les ingénieurs du Génie Maritime se sont intéressés tout de suite à la vapeur.

Les dix premiers vapeurs mixtes de la Marine, construits à partir de 1818, sont des avisos de 30 à 80 CV et des « corvettes » de 160 CV. Toutes les machines ont été produites en France par des industriels qui travaillent avec des collaborateurs anglais.

Les missions de ces bâtiments sont la transmission des messages (comme les avisos à voiles), le remorquage en mer, les manœuvres portuaires et les transports. Dès 1826, on étudie la possibilité de faire de ces vapeurs à roues des instruments militaires, au moins pour la défense des ports et rades. Leur faible rayon d'action est considéré comme le principal obstacle, avant la vulnérabilité des roues.

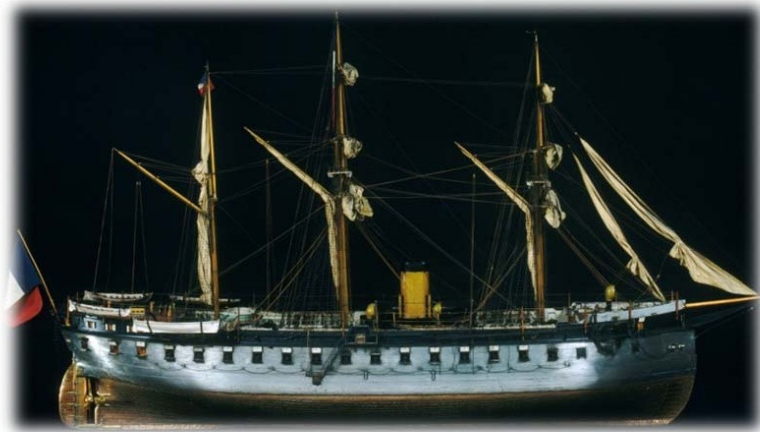
Les utilisateurs ne sont pas contents de la tenue du nouveau matériel. À leurs constatations s'ajoute une querelle d'écoles entre les partisans de la haute pression et ceux de la basse pression ou, en d'autres termes, les partisans des Américains et ceux de l'Anglais Watt (1736-1819). Les résultats du *Sphinx* avec sa machine basse pression de 160 CV fabriquée par Fawcett à Liverpool et les déboires des trois machines haute pression commandées en même temps ont emporté la décision et rendu méfiantes les autorités vis-à-vis des innovations des ingénieurs français.

Peu après, le ministre de la Marine lance une série de dix-sept bâtiments semblables, équipés de la machine Fawcett dont Hubert a copié les plans : les ateliers de la Marine à Indret et les établissements Cavé et Hallette ont fourni les machines. Le copiage des nouveautés anglaises était alors répandu, avec ou sans l'autorisation de reproduire du fabricant. Cette première série étant réussie, Hubert est chargé des deux suivantes, les 220 CV type Véloce, puis les 450 CV type Gomer (paquebots), lancés à partir de 1841.

La France adopte le cheval-vapeur (ch.) défini par Watt, mais utilise le cheval nominal (CV) comme l'Angleterre. Le cheval nominal permet de comparer des machines semblables par la technologie. Les 160 CV du *Sphinx* font environ 243 ch. en 1830. En France, le cheval nominal est abandonné en 1867.

10 - La Gloire, 1^{re} frégate cuirassée au monde, lancée en 1859

Modèle au 1/33, réalisé à l'atelier des modèles de l'arsenal de Toulon, vers 1859 Inv. MnM 25 MG 1



En 1847, l'ingénieur du Génie Maritime Dupuy de Lôme (1816-1885) propose un vaisseau à hélice de 90 canons capable de marcher à 11 nœuds à la vapeur (ce qu'on appelle alors la « grande vitesse »). Son Napoléon mesure 70 m de long pour un déplacement de 5 047 t : la liaison des pièces de bois ne permet guère de dépasser cette longueur. La machine, de 900 CV, est produite à Indret : elle fait honneur à

l'ingénieur du Génie Maritime Moll (1815-1899). Doté d'une mâture complète, le Napoléon atteint 13,86 nœuds à la vapeur lors des essais. C'est un grand succès, et huit navires sont construits sur ses plans ; il lui manque cependant une cuirasse.

Si les murailles en bois de la coque des grands bâtiments (70 cm d'épaisseur de chêne) protègent contre les boulets pleins, le danger majeur provient des échardes de bois détachées de la paroi intérieure, qui causent d'horribles blessures, souvent mortelles. L'obus explosif, lui, perce les murailles en bois et explose à l'intérieur en provoquant l'incendie.

Au delà des batteries flottantes cuirassées de 1854, qui ne sont pas des bâtiments de mer, dix-huit projets de navires cuirassés dûs à des ingénieurs du Génie Maritime sont examinés au concours de 1857. Celui d'Audenet (1824- ?) est jugé le meilleur et sera appliqué ensuite à la frégate cuirassée à structure métallique la Couronne, lancée en 1861. Dupuy de Lôme, devenu directeur du Matériel (directeur des Ports), termine, de son côté, les plans de la frégate cuirassée à structure en bois la Gloire avec le soutien appuyé de Napoléon III, qui approuve le programme de la nouvelle flotte en cette même année 1857.



Dupuy de Lôme s'inspire du Napoléon pour la carène, les lignes et le tirant d'eau. Embarquer 800 t de blindage, c'est sacrifier d'autres parties du navire ; toute la seconde batterie disparaît, si bien que l'artillerie est réduite de 90 à 32 bouches à feu : la Gloire n'est qu'une frégate mais elle est armée de canons de 16 cm rayés à chargement par la culasse dus à un autre officier d'artillerie de terre, Treuille de Beaulieu (1809-1886). Ce sont des armes bien plus puissantes que le canon de 30 lisse et à chargement par la bouche. La voilure est réduite de près de moitié : l'ingénieur déclare que, dans la nouvelle marine, la voile doit aider la machine sans se substituer à elle. La machine de 900 CV donne une vitesse de 13,2 nœuds aux essais. Une ceinture de plaques de fer de 12cm d'épaisseur entoure la coque sur une hauteur de 2,5 m, dont 2 m sous la flottaison. Le reste de l'œuvre morte est recouvert de plaques de 11 cm.

11 et 12 - Le *Terrible*, contre-torpilleur, lancé en 1933

Modèle au 1/100. Cession de la Marine nationale en 1946

Inv. MnM 29 MG 39

Le *Georges-Leygues*, croiseur léger, lancé en 1936

Modèle au 1/100, réalisé à l'atelier des modèles
du musée de la Marine en 1949

Inv. MnM 29 MG 47

Le matériel naval de la France en 1914 est médiocre. De nombreux faits en sont la cause, depuis longtemps : la construction d'unités trop petites, résultant d'une économie mal entendue ; la durée démesurée des constructions qui déclassent des navires à leur entrée en service ; les différences sensibles entre les bâtiments de même type, conséquence de cette durée et de l'autonomie des ingénieurs. Une querelle d'écoles a aggravé la situation : les officiers de marine se réclamant de la « Jeune École », à la fin du XIXe siècle, ont plaidé pour l'effacement du cuirassé devant le croiseur et le torpilleur, pour la guerre de course, et en vue de la multiplication des points d'appui le long du littoral.

Cette tendance vaincue, il faut rattraper le retard. L'alliance avec l'Angleterre en 1904 n'a pas conduit à la réduction des crédits affectés à la Marine. Celle-ci, plus ou moins confinée en Méditerranée, a été chargée au début de la Première Guerre mondiale de neutraliser la plus faible des marines des cinq principaux belligérants, celle de l'Autriche. Elle sort usée du conflit. Pour les Anglo-Américains, la Marine française doit être celle d'une puissance secondaire, exigence qui correspond, avec une limitation des tonnages légers, aux traités de 1814 et 1815. En 1922, la France signe en outre le traité de Washington, qui impose des limitations dans les tonnages, complété à Londres en 1930. Toutes ces contraintes ne l'empêcheront pas de se doter de sa plus belle flotte depuis Louis XVI.

Au sein de la Marine, la création d'un service technique des constructions navales était devenue depuis longtemps une nécessité. Ce service fut créé en 1895, après un essai contrarié en 1882. Confié à des ingénieurs dont l'autorité technique est indiscutable : Bertin (1840-1924), puis Lyasse (1864-1914) et Doyère (1858-1929), il était chargé de la définition des coques et des appareils propulsifs, et du contrôle des études de détail qui, elles, restèrent de la responsabilité des ports ou des chantiers privés.

Le contre-torpilleur *Terrible*



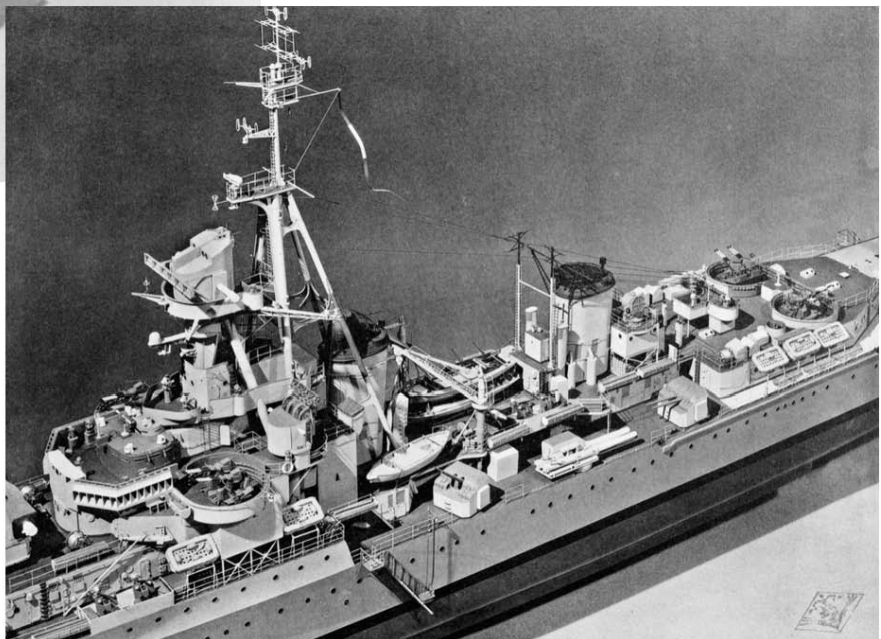
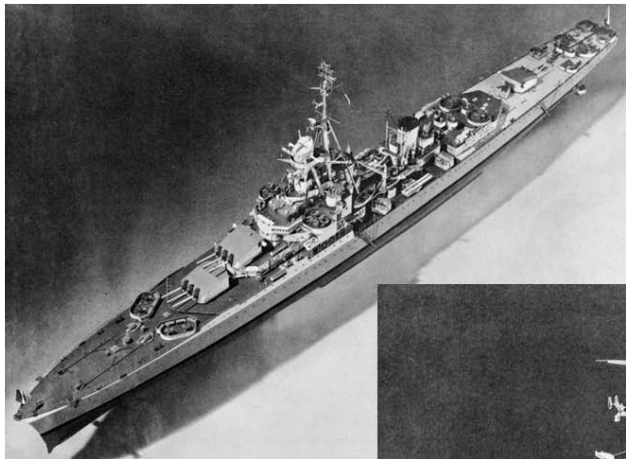
Les contre-torpilleurs (« destroyers »), commandés en six séries de six bâtiments (types Jaguar, Bison, Aigle, Vauquelin, Fantasque et Mogador) et construits de 1922 à 1939, sont les unités les plus caractéristiques de l'époque. Très rapides (le Terrible de la classe Fantasque conçue pour opérer des raids en Méditerranée où la vitesse devait l'emporter sur le rayon d'action, atteint



45 nœuds, soit plus de 80km/h, aux essais), les 32 bâtiments qui ont vu le jour ont une excellente tenue à la mer. Ils sont armés de canons de 130 puis 138 mm et de torpilles de 550 mm.

Le croiseur léger *Georges-Leygues*

Le bâtiment porte le nom de Georges-Leygues (1857-1933), l'un des meilleurs ministres de la Marine et de ceux dont la longévité (près de huit ans) est à souligner. La classe des six croiseurs légers type La Galissonnière offre un excellent compromis entre la protection, la vitesse et l'armement, les trois paramètres principaux du navire de guerre moderne.



13 - Le *Richelieu*, cuirassé (« bâtiment de ligne »), lancé en 1939

Modèle au 1/100, réalisé à l'atelier des modèles du musée de la Marine en 1948

Inv. MnM 25 MG 27



Sous l'autorité du Service technique des constructions navales ont été conçus, au début du XXe siècle, les six cuirassés de 15 000 t type Patrie, les six Danton (17 500 t), les quatre Paris (22 200 t), les trois Bretagne et les cinq Flandre de 25 000 t (ces derniers non réalisés). Les Paris et les Bretagne sont des cuirassés

« Dreadnought », du nom du bâtiment anglais qui, apparu sur la mer en 1905, a déclassé tous les types antérieurs par son artillerie principale mono-calibre.

En 1930, la France n'a plus que six cuirassés datant d'avant-guerre, dont les trois meilleurs sont modernisés entre 1932 et 1935. Les Dunkerque et Strasbourg, mis en chantier en 1932 et 1934, font 26 500 tW, filent à 31 nœuds et ont une artillerie principale de 330 mm. Enfin viennent les cuirassés type Richelieu de 35 000 tW, équipés de deux tourelles quadruples de 380mm sur l'avant et dont quatre exemplaires sont commandés. En juin 1940, deux d'entre eux peuvent appareiller devant



l'avance allemande, le Richelieu, dont les essais sont terminés, et le Jean-Bart, qui parvient à s'échapper de Saint-Nazaire avec une partie de ses machines sous le feu de l'ennemi.

14 - Le *Narval*, torpilleur submersible, lancé en 1899

Modèle au 1/100. Collection DCNS

Les premiers sous-marins ont pour source d'énergie une batterie d'accumulateurs que l'on recharge au port. Leur autonomie est donc insuffisante. Dotés d'une coque unique et de ballasts intérieurs (lestage), ils n'ont, de plus, qu'une faible flottabilité en surface.

L'ingénieur du Génie Maritime Maxime Laubeuf (1864-1939) assiste de loin à la construction conduite en secret du *Gymnote*, puis du *Gustave-Zédé*, par l'ingénieur Romazzotti (1855-1915), mais se présente sans hésitation au concours des sous-marins ouvert aux ingénieurs du corps en 1896 par le ministre Lockroy (1838-1913). Laubeuf veut donner au moins à son sous-marin la tenue à la mer d'un torpilleur. Il ajoute pour ce faire une coque extérieure à la coque résistante ; les ballasts remplissent l'espace entre les deux enveloppes. Un moteur électrique sert à la plongée et un moteur à vapeur à la navigation en surface.

Le *Narval* entre en service en 1900 : sa conception d'ensemble, comprenant la double coque et la double propulsion (avec des moteurs Diesel au lieu de machines à vapeur), est dès lors adoptée en France et à l'étranger. Laubeuf, d'esprit indépendant, quitte la Marine en 1906 et devient ingénieur-conseil aux Ateliers et chantiers de Bretagne et aussi chez Schneider, deux sociétés qui construisent des sous-marins. Il est élu en 1920 à l'Académie des Sciences.

Le succès du sous-marin à propulsion nucléaire américain *Nautilus*, mis en service en 1955, a permis de revenir à la conception initiale du sous-marin, avec coque et propulsion uniques, mais en l'affranchissant de la nécessité de naviguer périodiquement en surface.

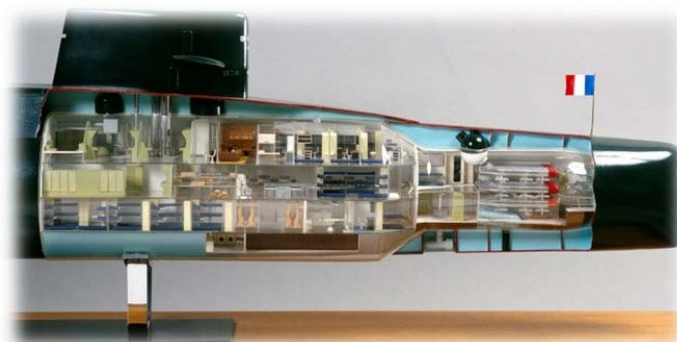


15 - Le *Redoutable*, SNLE, 1967

Modèle au 1/50. MnM 31 MG 21

La constance de la volonté politique et celle des moyens financiers ont été nécessaires à l'œuvre immense qu'a été la construction de la Force Océanique Stratégique à partir de 1960.

Mais elles n'auraient mené qu'à des dépenses inutiles sans l'effort énorme entrepris par l'organisation Coelacanthe, créée ex nihilo pour définir et conduire simultanément les programmes de développement de systèmes (missile balistique et son système de lancement sous-marin, têtes nucléaires, propulsion nucléaire, centre de calcul, centrales inertielles, etc.), et intégrer ensuite le tout dans un sous-marin nucléaire lanceur d'engins (SNLE), dont le développement était lui-même extrêmement ambitieux et ainsi permettre l'orientation des actions des industriels à une œuvre commune.



L'expérience opérationnelle des officiers de marine et l'expérience technique des ingénieurs du génie maritime sous-mariniens étaient grandes, fondées sur la conception, la construction, l'emploi et l'entretien d'une vingtaine de sous-marins diesel modernes. Elles étaient, et sont toujours, entretenues et transmises par la formation permanente du corps des Officiers de Marine et celle du corps des Ingénieurs de l'Armement, successeur du Génie Maritime.

Leur fédération permit le succès, et l'organisation Coelacanthe mena ensuite l'intégration des missiles balistiques nouveaux que nécessitait la course technologique de la guerre froide, puis, vingt ans après, le développement de la génération suivante de SNLE. Elle sert de modèle pour la conduite par la Direction générale de l'Armement et les Etats-Majors des grands programmes d'aujourd'hui.

Conduit par l'ingénieur général du génie maritime André Gempp, architecte du navire, le projet du *Redoutable* fut réussi sans avoir été précédé d'un projet abouti de sous-marin d'attaque à propulsion nucléaire comparable au *Nautilus*, ce qui ajoutait à sa difficulté. Il bénéficia de l'investissement préalable dans un sous-marin expérimental, le *Gymnote*, qui permit de séparer les risques en validant les systèmes liés aux missiles. La propulsion nucléaire fut validée à terre, à Cadarache et à Indret, ainsi que la plupart des composants, tous radicalement nouveaux puisqu'on passait d'un bâtiment classique de 1500T relativement lent en plongée à un bâtiment nucléaire rapide de 9000T.

En service en 1971, retiré du service en 1991 car il n'était pas utile d'investir pour le doter comme ses cinq successeurs du missile M4, le *Redoutable* a effectué 51 patrouilles et passé environ 10 ans en plongée. Après la dépose de la chaufferie nucléaire, le *Redoutable*, transformé en musée, se visite à la Cité de la Mer à Cherbourg.



16 - Le *Triomphant*, SNLE NG, 1994

Modèle au 1/100. MmM 31 MG 30

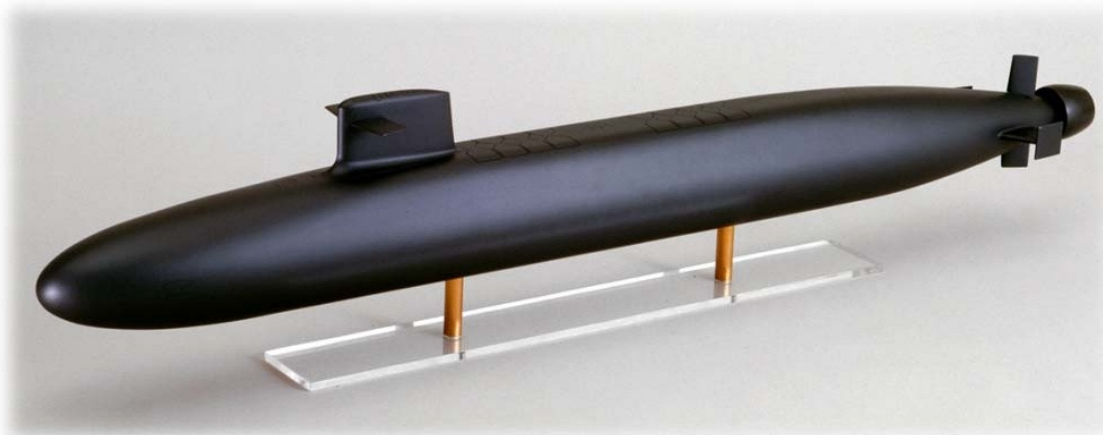
L'efficacité des SNLE type le *Redoutable* avait été constamment améliorée pendant une vingtaine d'années en introduisant des missiles de portée accrue, pour pouvoir disposer d'une zone de patrouille bien plus vaste, et emportant des têtes multiples et des leurres pour déjouer les défenses anti-missiles en développement. Les capacités de détection sonar avaient également été considérablement améliorées.

Mais il devenait nécessaire d'améliorer aussi la discrétion acoustique des SNLE, la portée de détection des systèmes adverses faisant les mêmes progrès. Cela allait nécessiter des dispositifs de suspension internes volumineux. Dans un autre domaine l'accroissement des performances des missiles a imposé d'embarquer des missiles plus longs et lourds. La taille du *Redoutable* ne pouvait y suffire, et c'est un bâtiment de 16000T en plongée qui fut dessiné par l'ingénieur général Gérard Boisrayon, architecte du navire.

Le *Triomphant*, qui devait, entre autres exigences, faire mille fois moins de bruit que ses prédécesseurs, imposa, outre une architecture originale, des travaux de développement très importants. Les dispositifs de discrétion acoustique (berceaux suspendus et pompe-hélice) et la forme de la coque demandèrent la construction de centres d'essais à terre, un nouveau bassin d'essais hydrodynamiques, et la modification d'un sous-marin diesel pour expérimentation à la mer, puis un navire de mesure de la discrétion acoustique après construction. Les systèmes de détection sonar du nouveau SNLE, totalement nouveaux, furent d'abord essayés dans un lac de montagne, puis sur un sous-marin modifié. Un acier de coque nouveau, le plus performant qui existe, fut développé, avec ses procédés de soudure, pour permettre une plongée encore plus profonde. Un nouveau réacteur nucléaire de puissance adaptée, extrêmement silencieux, fut développé et essayé à terre.

Tous ces développements simultanés furent conduits par l'organisation Coelacanthe, et furent couronnés de succès, le *Triomphant* étant mis en service début 1997. Le *Terrible*, quatrième SNLE de ce type, vient d'entrer en service avec le nouveau missile M51, qui sera installé ensuite sur ses prédécesseurs.

Par le volume de Recherche et Développement qu'il a nécessité, par ses propres caractéristiques et celles des armes qu'il met en œuvre, le *Triomphant* est l'ouvrage le plus complexe jamais construit en France.



17 - Le *Charles de Gaulle*, porte-avions à propulsion nucléaire, 1994

Modèle au 1/100. MnM 2004 17 1



Le porte-avions donne au groupe naval sa puissance de frappe au sol par avions d'assaut, et d'attaque en mer via les avions porteurs de missiles anti-navires. Ses avions sont également les premiers défenseurs de la force navale face à des avions assaillants ; ils peuvent aussi intervenir pour la couverture aérienne de forces ou de populations à terre loin du porte-avions. Le porte-avion et son groupe aéronaval contribuent en outre à la mission de dissuasion.

De 1963 à 1997, la France a disposé de deux porte-avions, le *Clemenceau* (1961-1997) et le *Foch* (1963-2000). Ce dispositif a montré son efficacité à de nombreuses reprises (indépendance de Djibouti, Liban, Bosnie, Kosovo, Golfe Persique).

Le porte-avions est un aérodrome, doté de deux catapultes et de frein à l'appontage de trois brins d'arrêt, capable de se déplacer de 1000 km par jour pendant des mois. C'est également un hangar, des ateliers de maintenance et de stockage, une pyrotechnie (missiles et munitions classiques et nucléaires), des citernes à carburant pour les avions, deux chaufferies nucléaires identiques à celle du *Triomphant*, ainsi qu'une ville de plus de 2000 habitants qui doivent vivre, se nourrir, se déplacer dans un espace restreint.

Conçu sous la direction des ingénieurs généraux Joseph Trétout puis Michel Gaillard, construit à Brest par DCN, aujourd'hui DCNS, le porte-avions nucléaire *Charles de Gaulle* a représenté un effort d'ingénierie aussi conséquent que celui consacré au *Triomphant*, et rendu plus difficile par plusieurs étalements budgétaires et par les changements de spécifications en cours d'étude qui sont le lot habituel des ouvrages ainsi retardés. Il n'en est que plus remarquable de voir aujourd'hui la réussite technique et opérationnelle que constituent le porte-avions et son aviation embarquée.

Sortant d'une période longue d'entretien, dix ans après sa mise en service, le porte-avions *Charles de Gaulle* a été successivement engagé en 2011 dans deux missions majeures en soutien de la politique de la France. Après une mission de quatre mois dans l'Océan Indien en soutien des opérations en Afghanistan, le groupe aéronaval a été engagé pendant presque cinq mois au-dessus de la Libye. Pendant les 146 jours de cette seconde opération, près de 2400 missions aériennes entraînant autant de catapultages et appontages ont eu lieu, le porte-avions parcourant 40.000 milles nautiques, soit près de deux fois le tour du monde. L'adoption de la propulsion nucléaire a beaucoup contribué à l'endurance ainsi constatée.

Les dix années écoulées montrent la pertinence des choix des ingénieurs qui ont conçu le navire, la qualité du chantier qui l'a réalisé, le très haut niveau professionnel des équipages et le dévouement permanent de toutes les équipes industrielles qui en assurent la maintenance.



18 -

Le *Mistral*, Bâtiment de projection et de commandement, 2004

Modèle au 1/100. MnM 2008 26 1



la preuve de leur efficacité dans les opérations de traitement de crise (opérations humanitaires, évacuations, logistique et commandement d'interventions armées à terre), mais aussi dans des opérations de plus haute intensité comme celles de Côte d'Ivoire, de Libye.

Leur architecture résulte d'une coopération entre DCNS, spécialisée dans les navires de combat et leurs systèmes, et le chantier naval STX de Saint-Nazaire, spécialisé dans les paquebots et navires de charge. Cette coopération a été rendue possible par le choix, pour ces navires, des normes de la marine marchande.



Ce choix permet de réduire de façon importante les coûts, en acceptant une résistance légèrement réduite aux avaries de combat ; ce qui est fait systématiquement pour les bâtiments dont la mission ne les expose pas directement aux coups de l'adversaire, ou qui peuvent être protégés par des navires de combat de premier rang.



L'architecture retenue a permis d'intégrer un système de commandement des opérations à terre réparti, un hôpital des plus modernes et de grande capacité, une capacité de mise en œuvre et de maintenance pour une vingtaine d'hélicoptères, les locaux pour les troupes à débarquer et leur matériel, un radier permettant d'embarquer et mettre à l'eau la batellerie, tout en conservant une très bonne habitabilité.



Elle prend appui sur l'expérience de la génération précédente (TCD type *Foudre*), mais en diffère par l'intégration de « pods » (moteurs externes orientables) pour la propulsion et le choix d'un pont d'envol continu. Lorsque la *Jeanne d'Arc* a été retirée du service, les BPC se sont trouvés bien adaptés à la poursuite des campagnes de formation des officiers-élèves de la Marine.



La construction réalisée par assemblage de blocs pré-équipés, a été facilement partagée entre Brest et Saint-Nazaire, et même Gdynia, où une partie de la charge de DCNS a été sous-traitée. Ce type de partage se retrouve aujourd'hui, à la demande des clients, dans la plupart des contrats d'exportation de navires militaires, et doit être pris en compte dès la conception des navires exportables.

Un programme de quatre navires très proches du BPC vient d'être retenu par la marine russe, dont c'est le premier appel aux technologies occidentales dans le domaine naval.

19 - Le *Chevalier Paul*, Frégate type Horizon, 2006

Modèle au 1/100. MnM. Réalisé par M.R.S. Don de DCNS

Les deux frégates anti-aériennes type *Forbin* ont pour mission la défense anti-aérienne et anti-missile et ont été conçues autour des missiles *Aster* développés initialement par la France pour équiper ses trois Armées, et contrer en particulier, pour la Marine, les missiles anti-navires supersoniques. Pour leur conception l'architecte a été confronté entre autres à l'intégration de sous-systèmes encombrants qui influent très fortement sur les structures du navire : antennes radars volumineuses dans les hauts, lanceurs verticaux intégrés dans la coque etc...



Le système de combat français dont elles sont dotées, dérivé du système conçu par DCNS pour le *Charles de Gaulle*, permet de surveiller une zone d'environ 200km de rayon et d'y contrer des attaques simultanées de missiles ou d'avions, pour protéger une force navale. Il est au meilleur niveau mondial

L'élargissement du programme *Aster* à l'Italie, puis le souhait de coopérer avec la Grande-Bretagne, ont amené à lancer le programme de frégate anti-aérienne tripartite dit « Horizon », dont la Grande-Bretagne s'est retirée au bout de quelques années, continuant toutefois la coopération sur les missiles.



C'est ainsi que la gamme des missiles *Aster* de MBDA équipe aujourd'hui, avec des radars et des systèmes de combat nationaux, les marines française, italienne et britannique, cependant que les frégates type *Forbin* elles-mêmes ont finalement été développées dans un cadre franco-italien.

Les frégates type *Forbin*, et leurs homologues italiennes, sont réussies, elles en ont fait la démonstration récemment en opérations, mais leur nombre a été réduit à deux pour raisons budgétaires.

Il faudra, pour couvrir les besoins français, doter deux des frégates multi-missions type *Aquitaine* en cours de construction de capacités anti-missiles se rapprochant de celles démontrées sur le *Forbin* et le *Chevalier Paul*

20 - Jean-François Hue (1751-1823)

Vue de l'intérieur du port de Brest, 1793-1795
Huile sur toile, dépôt du musée du Louvre, département
des peintures, Inv. MnM 7 OA 2D



Le port de Brest a servi de base navale avant même la réunion de la Bretagne à la Couronne en 1491. L'aménagement du port et de l'arsenal entre les rives escarpées de la Penfeld, qui se jette dans une rade immense, est commencé en 1631, sous le ministère de Richelieu. Malgré des vents qui peuvent se montrer favorables aux flottes ennemies, les défenses du port, de la rade et de ses abords rendent Brest pratiquement inexpugnable. Colbert se rend vite compte que le nouveau port-arsenal de Rochefort, fondé en 1666, ne peut surpasser Brest, qui demeurera longtemps le premier pour le service militaire comme pour l'arsenal.

Une partie importante des travaux de l'arsenal et de ses activités a été concentrée dans l'espace étroit et malcommode d'un port à marée, gênant les armements et le ravitaillement des escadres. Si le plan du port de commerce a été tracé sous le Second Empire dans la rade, la Marine, qui aurait dû s'y installer bien avant, n'est sortie de la Penfeld qu'au XXe siècle, pour s'établir à Laninon, de l'autre côté de l'entrée du port.

Jean-François Hue (1751-1823) représente le port en 1793 depuis les deux cales de construction de Recouvrance, sur la rive droite de la Penfeld. Au premier plan, Sané explique au conventionnel Jeanbon (1749-1813), « représentant en mission » coiffé d'un chapeau à plumes, la construction d'un vaisseau sur cale. Derrière ce chantier et la grue à cage d'écureuil est la menuiserie, puis viennent les formes de radoub de Pontaniou commencées par Ollivier et continuées par Choquet de Lindu (1712-1790), la caserne construite sur la hauteur en 1769 et les ateliers de l'artillerie sur la rive. Du côté de Brest, figurent le magasin général et la tour de l'horloge, ainsi que le château, à l'entrée du port.

Hue a complété la célèbre collection des vues des ports de France commandée à son maître Joseph Vernet (1714-1789) par Louis XV, et restée inachevée. Aux quinze peintures de Vernet s'ajoutent donc les six peintures de Hue, dont deux vues de Brest.

21 - Antoine-Léon Morel-Fatio (1810-1871),

Vue du port de Brest, 1854
Huile sur toile, Inv. MnM 9 OA 11



Morel-Fatio, longtemps conservateur du musée de la Marine, s'est placé dans le parc à boulets adossé au château. Son regard porte donc vers l'intérieur du port, alors que celui de Hue est tourné vers la rade. L'avant-garde, de l'entrée du port au pont flottant (invisible ici et doublé par un pont tournant en 1861), mesure 600 m, l'arrière-garde 1 600 m, et on trouve encore des établissements plus en amont.

Après la machine à mâter est figurée la basse ville de Brest, où se devinent la forme de radoub et la rue de Siam (en pente), puis, sur une longueur totale de 560 m, les bâtiments du magasin général, de la voilure, de la garniture et du magasin des cordages. Le grand bâtiment au fond est l'ancien baigne, suivi de l'hôpital ; plus bas commencent les deux corderies, longues de près de 400 m chacune. Les deux vaisseaux-pontons doivent être l'un le vaisseau-amiral (poste principal de la garde militaire du port) et l'autre le Borda, le vaisseau-école des élèves-officiers. Les deux cales de Recouvrance ont été couvertes et, sur le plateau des Capucins, à 25 m au-dessus du niveau de la mer, de grands ateliers métallurgiques ont été édifiés à partir de 1841.

La Penfeld était bordée sur plusieurs kilomètres de magnifiques bâtiments en granit datant en majeure partie du XVIIIe siècle ; bombardés pendant la Seconde Guerre Mondiale, ils seront rasés.

22 - Le *Normandie*, paquebot transatlantique, lancé en 1932.

Modèle au 1/150, Inv. MnM 7 MM 88

Normandie est toujours considéré, non sans raison, comme le plus beau paquebot jamais construit. Les circonstances de sa perte et la brièveté de son exploitation, à peine plus de quatre ans, ajoutent encore au mythe.



Sa commande est exécutée en dépit des menaces qui pèsent sur l'activité de la Compagnie Générale Transatlantique (Transat). Celle-ci fait appel à l'État, qui prend son contrôle en 1933. L'ingénieur civil du Génie Maritime Romano (1879-1974) est, pour une bonne part, le concepteur de Normandie. Du côté du chantier de construction de Penhoët, c'est aussi un travail d'équipe. Le directeur et le sous-directeur, Coqueret (1879-1950) et Conard (1887-1949), sont d'anciens ingénieurs du Génie Maritime, de même que Caldaguès (1896-1980), spécialiste des machines. L'on cite aussi les noms d'André Sée (1901-1948), ingénieur civil du Génie Maritime, pour la coque, de Lavallée pour l'électricité et du Russe Yourkévitich (1885-1974).

La Compagnie Générale Transatlantique dispose de trois paquebots assurant la traversée Le Havre/New-York en 6 jours, dont Île-de-France entré en service en 1927 (43 150 tonneaux de jauge brute (tjb) et 55 000 ch.).

Réduire le trajet à cinq jours par le plus mauvais temps, c'est disposer de 160 000 ch, afin de naviguer à 28 noeuds en service régulier.

La solution adoptée pour la transmission de puissance réside dans des moteurs électriques et non dans des engrenages réducteurs : on peut faire marcher deux de ces moteurs sur quatre pour obtenir l'allure « économique » et passer facilement en marche arrière.

Les courts essais à la mer de mai 1935 sont excellents, sauf pour les vibrations. Les hélices en sont la cause. L'ingénieur Brard (1907-1977), qui a été ensuite directeur de l'école du Génie Maritime, devra les modifier deux fois avant qu'elles ne donnent entière satisfaction.

23 - Le *France*, paquebot transatlantique lancé en 1960

Modèle au 1/100

Don de la Compagnie Générale Maritime en 1978, Inv. MnM 7 MM 48.



Le projet du paquebot France est déjà dans les esprits lors de la reprise du trafic transatlantique vers 1950. Renouer avec l'ambition à l'œuvre sur le Normandie est la voie qui est choisie, malgré les objections.

Les études ont commencé en 1952 à Penhoët. Elles sont conduites, du côté de l'armateur, par Jean-Paul Ricard (1902-1963), ingénieur civil du Génie Maritime, assisté de Barthélemy (1898-1971) et Thooris (1888-1969), anciens ingénieurs du Génie Maritime. Sur le chantier, l'ingénieur civil du Génie Maritime Alfred Lafont (1903-1969), dirige les études et la construction du navire, avec plusieurs autres ingénieurs de ce corps, dont Coune (1923-2008) et Laredo (1922-1983). Les travaux s'effectuent sous la direction de Léon Wogelweith et l'appareil moteur est conçu par André Bernard. Au sein du bureau Veritas, Bernard Parizot (1928) suit la construction, Pierre Blanc (1915-2009) et Michel Brûlez (1927) approuvent les plans.



Au nombre des améliorations principales de France, comparé à Normandie, citons sa jauge brute inférieure de 20 % (le déplacement, de 16 %), alors que sa jauge nette, ou son volume réel commercialement utilisable, sont identiques.

La disposition des machines est celle des derniers cuirassés, en deux groupes indépendants mettant en mouvement deux hélices chacun. La consommation de mazout est presque la moitié de celle de Normandie.



La propulsion classique par turbines et réducteurs mécaniques est retenue, parce qu'elle est moins chère et moins lourde que les turboalternateurs. Seulement, il est difficile d'utiliser France à des vitesses inférieures à la vitesse de route, ce qui l'empêche de marcher à l'allure habituelle dans les croisières, lorsqu'il y est employé. Lors de la transformation de France, rebaptisé Norway en 1979, il fallut condamner tout le groupe avant. Avec la moitié de sa puissance et deux hélices, Norway pouvait encore filer à près de 25 nœuds. France avait atteint 35 nœuds aux essais de 1961.

France était donc techniquement aussi réussi que Normandie en son temps.



L'ENSTA ParisTech AUJOURD'HUI

Arnaud Reichart, directeur adjoint de l'ENSTA ParisTech

Isabelle Tanchou, directrice de la formation et de la recherche de ParisTech

1. L'héritage

Au fil des siècles, la maîtrise des océans n'a cessé de devenir un enjeu croissant, et les puissances occidentales se font, par le commerce et par la guerre, une vive concurrence. Il importe de ne pas se faire déclasser par les progrès techniques des navires des concurrents, il faut donc comprendre, faire avancer la science et les technologies nécessaires, et les diffuser par l'enseignement de haut niveau.

L'inspecteur général de la marine Henri Louis Duhamel du Monceau, membre depuis 1738 de l'académie royale des sciences, a fait en 1737 un voyage d'études en Angleterre et aux Pays-Bas. Il comprend les enjeux de la construction navale et crée à Toulon une école destinée à la formation des maîtres charpentiers de marine. Dès 1741, cette école est transférée à Paris au Louvre. En 1752, Henri Louis Duhamel du Monceau rédige « Les éléments d'architecture navale », un des premiers traités sur le sujet ; il y structure les connaissances des charpentiers de marine. Cette école prendra rapidement le nom d'École Spéciale du Génie Maritime puis École Nationale Supérieure du Génie Maritime. En 1940, elle fusionne avec l'école d'application de l'artillerie navale : l'approche système, une des forces de l'école aujourd'hui, est ainsi déjà affirmée. Il ne s'agit plus de construire la coque d'un côté et l'armement de l'autre, mais bien de concevoir des navires militaires armés. En 1970, l'école fusionne à nouveau, cette fois avec trois autres écoles de la Délégation Générale pour l'Armement : l'École Nationale Supérieure des Poudres, l'École Nationale Supérieure de l'Armement et l'École des Ingénieurs Hydrographes de la Marine. Elle prend alors le nom d'ENSTA : Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, puis en 2008, elle adopte le nom de marque ENSTA ParisTech.

En attendant son implantation prévue à Palaiseau en 2012 sur le campus de l'École Polytechnique – prémisses du futur Campus Paris-Saclay – elle est située boulevard Victor, dans le 15^e arrondissement Paris, à la place de Supaéro qui s'est installée à Toulouse.

2. L'ENSTA ParisTech aujourd'hui

Héritière de cette tradition, et toujours soucieuse d'entretenir l'esprit d'entrepreneuriat et d'innovation remontant à l'origine de l'École, l'ENSTA ParisTech continue de s'affirmer dans de nombreux domaines d'excellence. Beaucoup s'accordent pour reconnaître que l'enseignement de l'ENSTA ParisTech est l'un des plus complets. Des mathématiques, de la physique, de l'électronique, de l'informatique, de la mécanique des fluides et des solides, de la chimie. Le tronc commun est d'une rare densité et complétude scientifique. Bien sûr, à cela s'ajoutent gestion, économie, droit, cours de culture, de communication et de langues étrangères, afin de donner aux élèves - ingénieurs un bagage d'« honnête homme » (ou d'« honnête femme »). Le cœur de la formation de l'École est ainsi basé sur un très large champ de connaissances que les équipes pédagogiques transmettent avec passion pour former des étudiants qui possèdent un savoir solide et particulièrement complet. Ces ingénieurs ont vocation, avec leurs compétences larges, leur esprit de synthèse et leurs qualités humaines, à faire un véritable travail d'ingénieur, souvent en bureaux d'études ou en recherche et développement, mais aussi en logistique, en production, en maîtrise d'œuvre. L'ENSTA ParisTech irrigue de nombreux secteurs avec les capacités de ses anciens étudiants. Les grands projets dans l'énergie et les transports sont des pôles particulièrement forts.

L'ENSTA ParisTech est fondée sur les trois valeurs de pluridisciplinarité, d'ouverture et d'excellence. Issue de plus de deux siècles et demi de formation en ingénierie, l'École prépare ses étudiants à devenir aptes à « assurer la conception, la réalisation et la direction de systèmes complexes sous des contraintes économiques fortes et dans un environnement international ». La priorité est donnée aux domaines applicatifs des systèmes pour l'énergie et l'environnement et le transport.

L'ouverture de l'ENSTA ParisTech est multiple. L'ENSTA ParisTech est ouverte sur la société. Elle organise ou participe à des manifestations régulières de promotion de la culture scientifique et d'aide aux élèves de lycées de la région. L'ENSTA ParisTech est ouverte sur le monde. Le corps professoral de l'École s'internationalise avec des recrutements d'enseignants-chercheurs à cinquante pour cent de nationalité étrangère ces dernières années. Vingt-cinq pour cent des élèves sont de nationalité étrangère. Ils viennent du monde entier grâce à des partenariats spécifiques avec des universités ou au travers de réseaux tels que TIME (Top Industrial Managers for Europe). L'ENSTA ParisTech est ouverte sur ses partenaires du plateau de Saclay où elle sera implantée dans ses nouveaux locaux en 2012. Plusieurs laboratoires sont déjà partagés avec le CNRS, l'INRIA, l'École Polytechnique, l'Université Paris 11. Avec l'arrivée sur le plateau des Mines ParisTech et d'EDF, ainsi que le développement des laboratoires d'excellence qui unissent les partenaires du plateau, dans quelques années, tous les laboratoires de l'ENSTA ParisTech seront partagés.

L'ENSTA ParisTech s'inscrit donc clairement dans une démarche d'excellence qui s'intègre au modèle international d'université d'excellence d'enseignement et de recherche. Le nombre de doctorants a vocation à croître au rythme du besoin des entreprises, y compris après une formation d'ingénieur. L'ENSTA ParisTech a d'ores et déjà, 17 % d'élèves ingénieurs qui poursuivent en thèse.

L'École a comme mission de s'affirmer dans trois pôles : les transports, l'énergie et l'environnement, ainsi que l'ingénierie mathématique et l'ingénierie système. Par ailleurs, l'École propose une approche système particulièrement adaptée aux domaines des transports de l'énergie et de l'environnement. La structure en mer est l'exemple même d'un système d'une complexité rare, alliant à la fois des questions d'architecture, de structures, de stabilité, de déplacement dans un milieu fluide, mais aussi le système de propulsion, le contrôle - commande, le système de navigation, l'ergonomie, la prise en compte de la vie à bord et son organisation, sans oublier les activités spécifiques qui sont la raison d'être de la structure : aéroport pour un porte-avions, usine pour une unité flottante de production de stockage et de déchargement (FPSO : Floating Production, Storage and Offloading unit), production d'électricité pour une éolienne offshore, etc, le tout en interaction avec toutes les nationalités possédant une flotte civile ou militaire. Cette approche système est appréciée et même demandée par les industriels partenaires de l'école. Pour l'ENSTA ParisTech, l'ingénierie des systèmes complexes est fondamentale pour une école d'ingénieurs de haut niveau.

3. La filière Génie Maritime aujourd'hui

La mer reste, avec les mutations de l'École et l'affirmation des trois pôles énergie, transports et ingénierie mathématique, un fort axe de développement de l'École. Cette mer représente 71% de la surface de la planète et propose de nombreux axes d'exploration. Par ailleurs, l'habitat humain se concentre de plus en plus près des côtes, avec les conséquences parfois dramatiques que l'on connaît. Il s'avère donc de plus en plus nécessaire de mieux connaître le milieu marin et de définir les moyens de vivre près de lui et par lui.

Dédiée, à l'époque de sa fondation, à la construction navale militaire, le Génie Maritime couvre aujourd'hui un champ beaucoup plus large ! Parmi les dix-sept filières de troisième année proposées à l'ENSTA ParisTech, l'enseignement du génie maritime s'articule autour d'un tronc commun et deux filières « Systèmes de Transport Maritime » et « Offshore Energies Engineering » qui s'inscrivent parfaitement dans les trois pôles de l'École.

Alliant enseignements théoriques (hydrodynamique navale, modélisation des structures...) et techniques (CAO, réglementation, propulsion...), la formation fournit un bagage conceptuel poussé et développe une approche visant à initier à la gestion de projet en abordant la structure en mer sous la forme d'un système complexe nécessitant une approche globale des problèmes rencontrés, de l'avant-projet à la réalisation. Tout au long de la formation, les élèves sont sensibilisés aux grands enjeux du secteur maritime, aussi bien sur les aspects transport que sur les aspects énergie.

Tous les types de navires sont abordés ; le paquebot et le sous-marin aussi bien que le méthanier, le navire à grande vitesse, le navire d'opération, le porte-conteneurs ou le voilier. La formation est également largement ouverte sur l'ingénierie offshore : conception des plates-formes pétrolières, développement des énergies marines renouvelables,... Bref, les élèves des filières « Génie maritime » sont formés à la conception de tous types de structures en mer.

Les enseignements de troisième année sont dispensés par des intervenants issus du secteur industriel, ce qui montre bien le souci de l'École de former des ingénieurs adaptés au marché du travail.

L'école propose également au titre de la formation continue, un mastère spécialisé intitulé « Génie Maritime : transport, énergie, développement durable ».

Dans le domaine de la recherche, des études sont menées sur des moyens innovants et efficaces de production d'énergie à partir de courants géophysiques (courants marins, courants fluviaux). Cette attention est motivée par la nécessité de plus en plus importante de trouver de nouvelles sources d'énergie, et par la multitude de problèmes fondamentaux intéressants les enseignants-chercheurs sont confrontés dans ce genre d'étude. Des recherches sont notamment menées sur les rendements que l'on peut attendre de la récupération d'énergie des instabilités fluides élastiques. Ces instabilités surviennent lorsqu'une structure souple se trouve dans un écoulement et sont caractérisées par des oscillations de grande amplitude de la structure. Ces recherches servent de support pédagogique tout au long du cursus ingénieur des élèves de l'ENSTA ParisTech, par l'intermédiaire de projets expérimentaux ou numériques de mécanique des fluides, de mécanique des solides ou d'interaction fluide-structure, mais aussi par l'intermédiaire de stages de recherche.

En décembre 2010, l'ENSTA ParisTech et l'ENSIETA (qui a pris depuis le nom d'ENSTA Bretagne) se sont associées pour créer le groupe ENSTA dont l'un des buts est de « développer des pôles de compétence majeurs au niveau européen et mondial, notamment dans le domaine des systèmes (énergétiques, de transport, de défense) et dans le domaine maritime, capables d'accueillir des moyens et d'attirer d'autres partenaires ». Le Groupe ENSTA se positionne comme leader du domaine.

Il existe aussi à l'Ecole une filière « océan, climat et environnement ». Cette filière, héritière d'une des écoles fondatrices de l'ENSTA ParisTech, l'École des Ingénieurs Hydrographes de la Marine, est fortement marquée par l'océanographie physique. Avec l'intérêt croissant pour les sciences du climat, cette orientation reste d'actualité. Mais ce n'est pas au détriment de l'étude plus générale de l'environnement marin, sur les marges continentales notamment. La filière s'intéresse ainsi d'une part, aux processus qui contrôlent l'état et l'évolution du milieu marin et du littoral et d'autre part, à l'impact des activités humaines (pollution, ouvrages maritimes, ...), en liaison avec les préoccupations liées à la gestion du milieu marin. Ses objectifs sont donc d'offrir une formation en mécanique des fluides, depuis l'hydraulique maritime jusqu'à la dynamique des fluides géophysiques et de présenter les applications (prévision du climat, aménagement du littoral, qualité de l'eau marine, ...).

4. Conclusion

Depuis ses débuts sous la forme de l'École des Ingénieurs-Constructeurs de la Marine puis de l'École Spéciale du Génie Maritime, l'École a connu des mutations majeures. Si ses missions ont évolué, le souffle initial demeure et aussi bien enseignants-chercheurs qu'élèves en sont porteurs. Il est impressionnant de constater le fourmillement des idées qui émergent à l'ENSTA ParisTech dans le domaine maritime et au-delà : le rêve initial des fondateurs n'est pas près de s'éteindre.

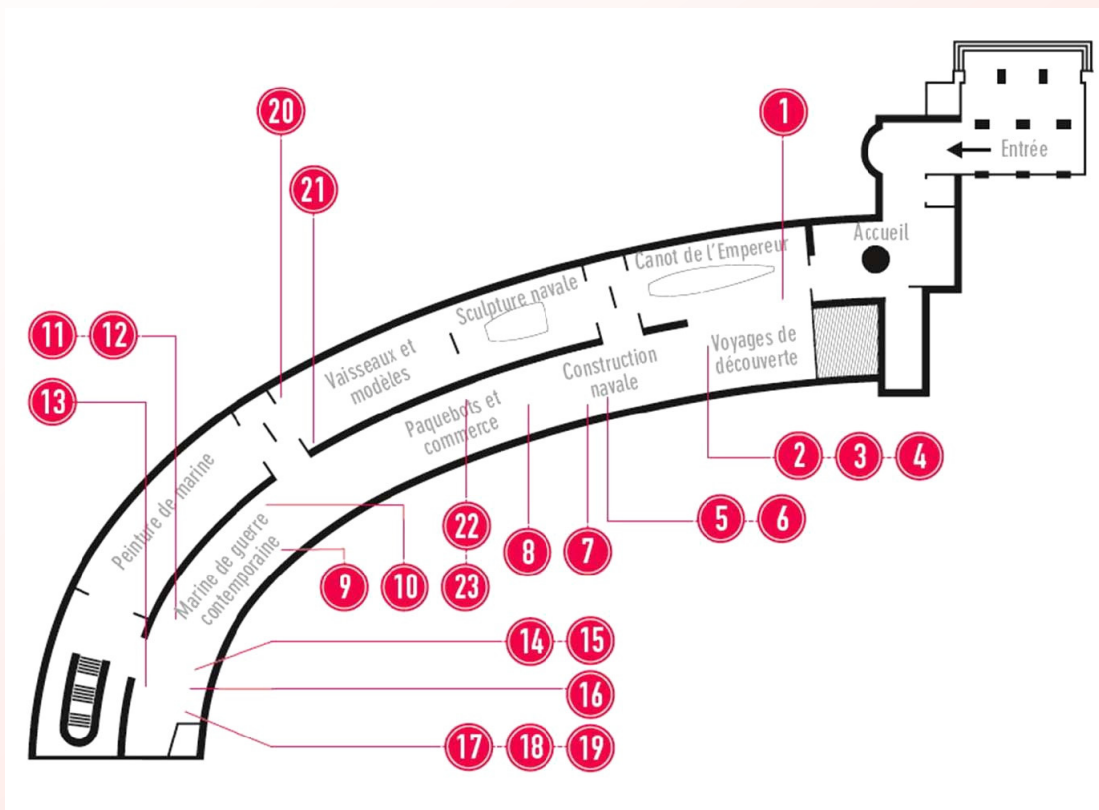


Catamaran « Techniques Avancées »

Les fiches ont été rédigées par :
MM. Alain BOVIS, Hervé CROCE, Alex FABAREZ,
Bernard LUTUN, Alain NIDERLINDER et Philippe ROGER.

Crédits photographiques :
©Musée national de la Marine
P. Dantec - A. Fux - S. Dondain,
sauf n°14 et 19 ©DCNS.

LE PARCOURS DE L'EXPOSITION



1 L'« AMBITIEUX »

2 L'« ARTÉSIEEN »

3 HABIT D'INGÉNIEUR
DU GÉNIE MARITIME

4 PORTRAIT DE HENRI-LOUIS
DUHAMEL DU MONCEAU,
(1700-1782)

5 VAISSEAU DE 118 CANONS EN
CONSTRUCTION

6 JACQUES-NOËL SANÉ
(1740-1831)

7 COQUE DE VAISSEAU DE 74
CANONS

8 LE « SUFFREN »

9 LE « SPHINX »

10 LA « GLOIRE »

11 LE « TERRIBLE »

12 LE « GEORGES LEYGUES »

13 LE « RICHELIEU »

14 LE « NARVAL »

15 LE « REDOUTABLE »

16 LE « TRIOMPHANT »

17 LE « CHARLES DE GAULLE »

18 LE « MISTRAL »

19 LE « CHEVALIER PAUL »

20 VUE DE L'INTÉRIEUR DU PORT
DE BREST. 1793 - 1795

21 VUE DU PORT DE BREST. 1854

22 LE « NORMANDIE »

23 LE « FRANCE »