

5

Deux innovations de procédés dans la marine à voiles : les plans de vaisseaux et le calcul de leur stabilité.

Le petit Robert indique que l'innovation est l'action d'innover ou la chose nouvelle qui en résulte. Son contraire est l'archaïsme, la routine, la tradition ; ils sont très puissants dans la marine que nous avons étudiée, surtout la routine. Nous avons retenu la définition de Schumpeter et celle de l'O.C.D.E. de 2005, parce qu'elles se rapportent à un univers industriel et technique, auquel d'autres définitions sont étrangères. On distingue l'innovation de l'invention et de la découverte par la perspective de l'application technique ou économique. Toute innovation a néanmoins pour base une invention ou une découverte. Le manuel d'Oslo distingue 4 catégories d'innovations :

- les innovations de produit : dans notre domaine, la principale et de loin est la machine à vapeur, qui remplace peu à peu la force du vent, de l'eau et des êtres vivants qui mettaient en mouvement les navires, les grues de chantier et les moulins ;

- les innovations de procédés : la généralisation du plan d'architecture et l'introduction du plan dans l'architecture navale le sont, sous certains rapports. Schumpeter (1883-1950) ajoute l'innovation relative à l'usage d'une nouvelle matière première : on peut alors citer le béton armé ou précontraint et le fer puis l'acier produits en usine ;

- les innovations de commercialisation : elles sont étrangères à la mentalité des commanditaires des ouvrages dont il s'agit ;

- les innovations d'organisation : les grandes constructions civiles ou religieuses restent des œuvres uniques, quoique l'organisation des chantiers ait eu de par leur nature un certain caractère d'uniformité. Les constructions navales auraient dû profiter, pour la qualité et pour le prix, des avantages du plan et de son calcul, mais d'autres considérations et certaines attitudes sont venues les contrarier ou les amoindrir.

Nous rappelons d'abord l'existence du plan d'architecture, le premier de tous, longtemps pratiqué sans la double projection ; le dernier mode, dit en trois vues principales, a été adopté dans les marines de guerre bien plus tard. Nous supposons qu'il s'agit d'un emprunt. On verra que l'introduction du plan de vaisseau a eu deux objets successifs, au moins en France, le premier étant plutôt inattendu, et que le calcul de stabilité s'est longtemps heurté à la mauvaise volonté des ingénieurs eux-mêmes.

Nous tentons dans la deuxième partie d'évoquer le passage de l'empirisme à l'application de la théorie à la construction navale militaire. Le plan et le calcul sur le plan sont les moyens ou vecteurs principaux des grands progrès techniques constatés dans ce domaine. L'avènement de la machine à vapeur marque la victoire de la théorie chez les ingénieurs, qui y adhèrent tout de suite, parce qu'elle peut s'appliquer à une

innovation récente et de première importance pour la Marine, sans être embarrassée par des siècles d'empirisme et de résistance au changement comme l'était la conception des voiliers.

Il ne sera question que de la *conception* du navire de guerre : on ne dispose longtemps, pour sa *construction*, que de moyens archaïques ou insuffisants, semblables à ceux des bâtiments civils, dépendant eux aussi des bigues et grues à cage d'écureuil, et qui contrastent avec la perfection relative des vaisseaux et des cathédrales.

Les plans dans l'architecture civile et dans l'architecture navale.

Un usage très ancien qui n'en est réellement un qu'à partir de la Renaissance.

Le mot architecte apparaît dans les *Histoires* d'Hérodote et il désigne le constructeur d'un pont de bateaux. Son métier est connu sous d'autres noms jusqu'au XIX^e siècle, lorsque l'architecture est érigée en discipline académique.

L'existence des plans ou des dessins d'architecture est attestée sous l'Antiquité¹. Il en reste quelques preuves matérielles : des papyrus égyptiens, des représentations à l'échelle un gravées dans la pierre et datant de l'époque gréco-romaine, une maquette de temple au 1/24 trouvée à Baalbek, qui a été réalisée avant la construction et présentée aux commanditaires. On peut se demander si de telles représentations étaient fréquentes et ce à quoi elles ont servi réellement. La simplicité des édifices, leur caractère « standardisé » et le respect de la tradition ont pu rendre le plan préalable inutile. Les seules règles des proportions permettaient d'imaginer l'édifice et l'effet qu'il produirait.

Un architecte et ingénieur romain du nom de Vitruve, qui vivait au I^{er} siècle avant Jésus-Christ, a légué à la postérité un des ouvrages les plus importants de l'Antiquité et le seul de son espèce : le traité en dix livres intitulé *De Architectura*. Il a été recopié et illustré au Moyen Âge, puis des architectes italiens de la Renaissance lui ont donné une nouvelle jeunesse par leurs constructions et leurs écrits. La première édition imprimée date de 1486 et a été suivie de nombreuses autres en latin ou en traduction, avec des illustrations qui influencent naturellement le lecteur.

Vitruve entend l'architecture de manière extensive. Celui qui s'y adonne doit notamment avoir des notions de géométrie afin de connaître les formes qu'il utilise, des notions de calcul afin d'assurer la stabilité de ses constructions et posséder une vaste culture générale. Il définit les plans par des mots grecs et sans indiquer de support matériel². « La disposition est l'arrangement convenable de toutes les parties, en sorte qu'elles soient placées selon la qualité de chacune. Les représentations [...] se font en trois manières, savoir par l'ichnographie, par l'orthographie et par la scénographie. » La première est la vue en plan (« comme si c'était sur le terrain »), la seconde l'élévation « principale » et la dernière la perspective. Claude Perrault (1613-1688) ajoute naturellement la *coupe* (« sciographie ») dans son commentaire, mais il omet de dire que l'auteur latin ne soumet pas ses deux plans orthogonaux à une même échelle, ni n'établit

¹ Joël Sakarovitch, *Épures d'architecture, de la coupe des pierres à la géométrie descriptive, XVI^e-XIX^e siècles*, Bâle, Birkhäuser, 1998, p. 27 et 29, pour ce paragraphe. Voir aussi : *Le dessin d'architecture dans les sociétés antiques*, actes de colloque, Université de Strasbourg, 1985.

² *Les dix livres d'architecture de Vitruve, corrigés et traduits nouvellement en français avec des notes et des figures* [par Claude Perrault], Paris, Coignard, 1673, réimp. Paris, Bibliothèque de l'image, 1995.

de correspondance entre les deux vues, ou du moins ne le dit-il pas clairement³. Perrault illustre bien sûr cette partie du discours par un plan impeccable de l'observatoire de Paris dont il est l'auteur, comprenant les trois vues du *plan géométral* (*plan, élévation, coupe*).

L'époque romane n'a laissé aucun document graphique et notamment aucun projet de bâtiment, seulement quelques croquis⁴. On a, comme dans l'Antiquité, des témoignages de tracés de « plans » sur un sol préalablement nivelé. L'élévation s'en déduit par suite de la simplicité des formes et des structures et de la liberté laissée aux maîtres d'œuvre, qui font pourtant un usage croissant de la géométrie, pour des raisons techniques et aussi sociales, cette science étant l'un des arts libéraux. Le maître d'œuvre du Moyen Âge est l'auteur du projet ou il suit celui qui a été adopté avant lui, et il dirige les travaux. Il est formé dans l'une des spécialités représentées dans les chantiers, y compris celle de dessinateur ou de calculateur.

Les documents de l'époque suivante sont encore très rares⁵. L'on n'est pas sûr qu'ils répondent à l'ampleur accrue des chantiers ou aux demandes des commanditaires, et l'on pense qu'ils ont rarement été respectés dans l'exécution. Ils seraient plus proches de rendus de projets que de dessins de chantier⁶. Le carnet de croquis de Villard de Honnecourt est de ceux que les architectes, puis aussi les ingénieurs ont tenus pour conserver les souvenirs de voyage qui pouvaient leur être utiles. L'élévation de la façade occidentale de la cathédrale de Cologne, datant de 1280 environ, est dotée d'une échelle et a servi lors de la reprise des travaux en 1842. Elle est dessinée sur onze parchemins et mesure environ 4 x 1,66 m (les tours culminent à 157 m). Le plan et l'élévation du clocher de la cathédrale de Fribourg-en-Brisgau se correspondent, de même que ceux de la cathédrale de Milan (plan d'Antonio di Vincenzo daté de 1389). En 1381, un contrat pour la réfection d'un clocher de Toulouse stipule que le titulaire doit l'exécuter d'après un document graphique.

On a attribué à l'architecte florentin Brunelleschi (1377-1446), un praticien de première force, l'invention du dessin à l'échelle des plans en projection horizontale et en élévation selon la méthode de la mise au carreau⁷. Il s'est aussi intéressé à la théorie de la perspective. Son collègue Leon Battista Alberti (1404-1472), également théoricien de l'architecture et philosophe, publie une version moderne et peu orthodoxe du Vitruve qui paraît à Florence en 1485 et sans illustration jusqu'en 1550, le traité *De Re Aedificatoria* ; l'année suivante le *De Architectura* est réédité et les deux ouvrages attirent l'attention.

Alberti ambitionne de faire de l'architecture une discipline autonome qui ne comporte plus que la conception des édifices et le choix des matériaux. L'architecte est jugé compétent pour la forme abstraite des corps définis par des points, des lignes et des surfaces, l'ouvrier pour la matière, suivant la conception d'Aristote. Il demande donc le dessin et les mathématiques pour les plans. « Tout l'art de la construction réside dans le

³ Perrault suppose que le texte latin de référence est corrompu (par suite des copies successives antérieures). Ce texte est reconnu comme obscur.

⁴ Joël Sakarovitch, *op. cit.*, p. 36 et 50, pour ce développement.

⁵ *Ibid.*, p. 43, 45 et 51.

⁶ *Les chantiers des cathédrales*, Paris, Picard, 1953 (2^e éd. en 1973).

⁷ Joël Sakarovitch, *op. cit.*, p. 51 et 57, pour ce développement. Alberti affirme que « [Donatello et Brunelleschi] notèrent ceci sur un parchemin quadrillé, avec des annotations chiffrées que seul Filippo pouvait comprendre ». Il ne reste aucun dessin ni recueil de notes de l'architecte. L'hagiographe Vasari (1511-1574) écrit que l'architecte avait produit de nombreux modèles pour lui et pour le public, mais qu'il n'avait guère montré ses plans et calculs. Le plan en deux vues de Cologne, bien antérieur, existe encore, et il est doté d'une échelle sinon d'une cotation.

plan et dans la structure. Toute la force et le principe du plan résident en un juste et rigoureux accommodement et assemblage à la fois des lignes et des angles qui composent la façade d'un bâtiment [...] Il appartient au plan de fixer toutes les parties de l'édifice à leurs places, d'en déterminer le nombre, les justes proportions et la belle ordonnance [...]. »

Le dessin d'architecture ou géométral sert à mesurer les vraies grandeurs des angles et des longueurs nécessaires à la construction et non à visualiser le bâtiment à construire. Il doit être suivi rigoureusement, et la perspective laissée aux peintres : c'est une exagération de l'auteur, le géométral ne permettant pas de tout voir. La perspective fait mieux comprendre l'articulation des volumes, et le *tracé des ombres* sur les élévations met en évidence et d'une autre façon la troisième dimension, perpendiculaire au tracé du plan. Alberti conseille plutôt de reprendre l'ancien usage des modèles, afin d'obtenir l'avis d'experts et de se corriger. Ses références aux anciens et aussi aux proportions musicales sont fort nombreuses ; les proportions retenues doivent passer dans les plans.

L'élan donné au plan géométral par ces maîtres, par Raphaël (1483-1520) et par d'autres architectes, n'a pas été suivi généralement, parce que, si les plans se sont généralisés dans la construction civile ou religieuse, ils n'observent toujours pas le modèle du plan coté ou avec échelle en trois vues, si bien que la période de raccordement avec le plan de vaisseau, apparu bien plus tard mais conforme à ce modèle, est assez courte. Dans les *Quatre livres de l'architecture* d'Andrea Palladio (1508-1580) publiés en 1570, les plans de villas comprennent la vue en plan et l'élévation principale (ou une coupe, ou un assemblage des deux dernières vues) qui se correspondent, l'une des vues étant dessinée au-dessous de l'autre. Parfois une ou des élévations partielles à plus grande échelle sont données en supplément. Seules les cotes principales, en pieds de Vicence de 35 cm, sont indiquées sur les dessins. Il manque l'épaisseur des murs, sauf dans les plans des monuments antiques, lesquels comportent parfois des échelles gravées qui leur sont propres⁸. La gravure sur bois manque forcément de précision, mais le livre est un outil didactique de première importance et Palladio donne le premier traité à peu près conforme au programme⁹.

Jusqu'à présent, nous avons considéré l'architecture comme l'art d'agencer des volumes intérieurs en fonction de leur usage et de disposer les façades selon les règles admises et un goût qui change lentement. Or, tout architecte joue tant soit peu le rôle d'un ingénieur et devrait au moins calculer le voûtement de sa construction (qui peut être un pont) ou choisir l'édifice existant qu'il pourra imiter en extrapolant ses dimensions. Ici règnent l'empirisme et les tours de métier de la construction navale. Des églises carolingiennes ou romanes atteignaient déjà des dimensions considérables, et l'on a longtemps jugé prudent de recouvrir leurs grandes nefs d'un plafond de bois comme les basiliques romaines. Avec le gothique vient la course à la grandeur. La voûte du chœur de la cathédrale de Beauvais culmine à 48,5 m du niveau du sol intérieur, record absolu. Achievée en 1272, elle s'effondre en partie en 1284, parce qu'une pile du chœur était trop faible : la réparation est terminée soixante ans plus tard. Les chanoines ne doutent de rien : ils décident de construire au transept la flèche la plus haute de la chrétienté : achevée en 1569 et haute de 153 m, elle s'effondre quatre ans plus tard et n'est pas rebâtie. Si les voûtes du transept sont réparées, l'église n'a jamais eu de nef.

⁸ Sur la vue en plan, les murs coupés sont hachurés. Sur la vue en élévation ou en coupe, les murs coupés sont représentés en blanc, alors que les pans de mur en vue sont hachurés. Ce sont déjà les conventions actuelles.

⁹ Le traité de Serlio (1475-1554), publié environ trente ans plus tôt, ne l'est pas.

Les autorités de Florence voulaient dominer la Toscane. Elles ne se sont pas demandé si l'immense cathédrale commencée en 1297 pourrait être entièrement voûtée, et l'on a cru un temps qu'on ne parviendrait pas à édifier la coupole octogonale de 42 m d'ouverture, à 53 m du sol, qui avait été prévue. Le travail a été conçu et exécuté par Brunelleschi sans théorie mais après deux petits voûtements semblables et à l'aide de modèles et d'essais : c'est déjà une œuvre d'ingénieur¹⁰. Le métier d'architecte se double ensuite dans les travaux de génie civil et militaire. La théorie de la résistance des matériaux, d'abord étudiée par des savants comme Galilée (ses deux traités de 1638), Euler et les Bernoulli, est perfectionnée par des ingénieurs et appliquée par eux à un nouveau matériau, le fer. Les architectes doivent faire appel à leur compétence technique pour certaines parties de leurs édifices ou leur en abandonner la construction, voire le travail tout entier. Pourtant ils sont formés à la conception et aux techniques des structures, de la solidité desquelles les ingénieurs doivent répondre.

La construction navale traditionnelle sans plan (avant 1670).

Pourquoi les plans de vaisseaux n'existent-ils pas alors que ceux des bâtiments civils se sont multipliés ? On ne peut pas croire que les constructeurs aient jamais construit sans un minimum d'efforts de conception. Du reste les officiers de marine ont exprimé des besoins militaires, comme l'on dit aujourd'hui, et les connaissances et le crédit de plusieurs d'entre eux leur ont permis d'établir parfois une sorte de cahier des charges. Le problème est que l'autorité ne savait pas quel serait le résultat du travail ordonné : elle ne pouvait contrôler le savoir-faire technique des constructeurs, une catégorie d'officiers qui détenait de ce fait un grand pouvoir dans la Marine, peut-être plus grand qu'à la fin de l'Ancien Régime, lorsque le titre d'ingénieur leur est concédé, ainsi que la médaille militaire et la noblesse à plusieurs d'entre eux.

L'arsenal de Venise, le plus ancien chantier naval public en Europe, produit surtout des galères et quelques vaisseaux pour l'État (quelques galères aussi pour les particuliers)¹¹. Quatre ouvrages parus de 1410 à 1593 et des manuscrits assez obscurs dévoilent des secrets des meilleurs constructeurs, notamment les proportions des pièces par rapport au maître-bau et la forme du maître-couple et de plusieurs autres couples. Ils

¹⁰ La coupole n'est pas hémisphérique mais ogivale, ayant environ 30 m de hauteur pour 42 m de diamètre, parce que l'ogive exerce moins de poussée que le plein cintre : ici le tambour est mince et on ne peut placer de contreforts. Le poids de la lanterne doit être équilibré par la composante verticale de la poussée des nervures. La double voûte allège la construction par un autre moyen qu'au Panthéon. Elle est bâtie sur un réseau de nervures en pierre verticales (8 principales et 16 secondaires) reliées par huit cercles concentriques horizontaux sur lesquels s'appuient les deux voûtes superposées. La maçonnerie des voûtes en briques disposées en chevrons diminue aussi la poussée. La voûte intérieure a 2,25 m d'épaisseur à la base, 0,75 m à la lanterne. L'échafaudage est fixé au tambour de la coupole et non au sol, il est mobile ; il n'y a pas de cintre. La coupole a été terminée en 1436, la lanterne en 1471. La cathédrale de Florence mesure 153 m de long et 42 m de large. Le record de portée des coupoles maçonnées reste détenu par l'architecte du Panthéon : 43,3 m. Giorgio Vasari, *Les vies des meilleurs peintres, sculpteurs et architectes*, tard. de l'éd. de 1568, éd. Chastel, Paris, Berger-Levrault, 1983 ; Peter Murray, *L'architecture de la Renaissance*, trad., Paris, Electa-Weber, 1973, p. 9-30 ; Giovanni Fanelli, *Brunelleschi*, trad., Florence, Becocci, 1977 ; Encyclopædia Universalis, *Le grand atlas de l'architecture mondiale*, Paris, 1985 ; Jean-François Devémy, *Sur les traces de Filippo Brunelleschi, l'invention de la coupole de Santa Maria del Fiore à Florence*, Suresnes, Les éditions du net, 2013.

¹¹ Frederick Lane, *Navires et constructions à Venise pendant la Renaissance*, trad., Paris, S.E.V.P.E.N., 1965, pour ce paragraphe.

cherchaient des proportions applicables à d'autres navires du même type mais de dimensions différentes. On ne sort pas du coup d'œil fondant l'expérience empirique sans plan. Tout au plus peut-on signaler un traité de construction navale datant de 1686 qui fournit l'échelle des dessins.

Le constructeur français propose d'abord un devis comportant une vingtaine de mesures, dont la longueur, la largeur et le creux, seuls fixés en 1689 pour chacun des cinq rangs de vaisseaux¹². Ces mesures ne suffisent pas, à beaucoup près, à définir la coque. La méthode empirique de construction a été perfectionnée, toujours sans plan, et peut se résumer ainsi à la dernière époque. Elle était encore en usage dans les ports de pêche en 1914, au moins pour les petites unités.

Lorsque son devis est accepté, le constructeur établit le *gabarit* ou patron en bois mince du maître-couple d'après son expérience et ses papiers de famille, qui comprennent quantité de gabarits (les fines planches étant démontées et rassemblées) ou de leurs mesures¹³. Ces données, correspondant à des bâtiments de différentes grandeurs qu'on a jugés réussis, sont le trésor de ces familles. Il détermine grâce à elles deux couples intermédiaires dits de balancement et le dernier couple sur l'arrière, et encore la position des trois couples principaux sur la quille¹⁴. Avec ces gabarits, il trace les pièces qui constituent la quille et les couples situés entre les couples de balancement, dans une salle ou au pied du chantier.

Une fois les pièces de bois en place sur le chantier, il fixe sur chaque bord de longues règles flexibles appelées *lisses*, sur les couples en place et sur l'étrave et l'étambot. Grâce aux lisses, il repère et équerre les autres couples (les couples de levée ou de remplissage 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. Les lisses sont placées à l'extrémité des varangues (lisses des façons), au plus fort des couples (lisses du fort) et à des points intermédiaires des couples déjà en place.

Les causes de l'introduction du plan de vaisseau.

C'est d'abord dans une vue d'économie que Colbert (1619-1683) s'efforce de réglementer la construction navale militaire. Le ministre voudrait sélectionner des vaisseaux réussis qu'il suffirait de reproduire pour éviter les défauts principaux qui se sont rencontrés, stabilité ou hauteur de batterie insuffisante, et dont la correction coûte cher et dégrade toujours le bâtiment manqué. Le règlement du 13 septembre 1673¹⁵ fixe, pour chacun des 5 rangs de vaisseaux et *dans tous les ports indistinctement*, nombre de dimensions, en grandeur absolue ou les unes par rapport aux autres (par exemple la largeur et le creux en proportion de la longueur, non fixée), sans parler de plans. On laisse le constructeur libre de déterminer le maître-couple et les couples des façons en respectant la largeur des varangues. En 1678, Colbert estime qu'il est temps de fixer *dans chacun des trois grands ports* (et non dans tous les ports à la fois) *toutes* les dimensions des vaisseaux de chacun des cinq rangs, et de les fixer au moyen d'un *plan*

¹² Jean Boudriot et Hubert Berti, *La frégate, étude historique (1650-1850)*, 1992, p. 32 et ordonnance du 15 avril 1689 pour les armées navales et arsenaux de marine, livre XIII, t. 2.

¹³ Patrick Villiers, *Marine royale, corsaires et trafic dans l'Atlantique de Louis XIV à Louis XVI*, Dunkerque, 1991, p. 44-45 et 109.

¹⁴ Jean Boudriot, « La conception des vaisseaux royaux sous l'Ancien Régime », dans *Neptunia*, n° 169, décembre 1987, p. 9 à 24, pour ce développement.

¹⁵ Reproduit dans le *Code des armées navales*, recueil annexé au 3^e volume de l'*Histoire générale de la marine* publiée en trois volumes, de 1744 à 1758, p. 27-29.

et de profils¹⁶ : il pense déjà au *plan-type*, sous le nom de « théorie ». Le ministre tient aussi compte de l'esprit de localité. Dans l'ordonnance de 1689 on s'en tient aux dimensions principales, longueur, largeur et creux des vaisseaux des cinq rangs, qui seules sont imposées. C'est la preuve de l'échec : ni le règlement de 1673, ni celui de 1689 n'ont été observés exactement. Les constructeurs constatent le désordre à la fin du règne de Louis XIV et savent que le corps militaire est lui-même insubordonné. Ils peuvent donc s'éloigner de la lettre des règlements qui concernent leur travail : l'autorité est trop faible et trop divisée pour sévir contre eux, qu'ils cherchent à maintenir la tradition ou à innover.

Le plan, qui s'ajoute au devis, permet aussi à l'autorité d'exercer une première forme de contrôle technique des constructions neuves. Il n'est pas communiqué aux maîtres-charpentiers mais traduit en un *devis d'exécution* beaucoup plus long que le devis de conception et dont une partie traduit le plan en chiffres. Les devis de campagne des capitaines sont examinés dans le but d'éviter de reproduire les défauts des navires. Les plans permettent enfin la divulgation partielle des secrets de famille.

Les premiers plans modernes ont été établis par des constructeurs anglais¹⁷. Matthew Baker (1530-1613) est le premier à définir un bâtiment sur le papier, afin d'en discuter avec son donneur d'ordres ; ses dessins cotés annoncent les plans. Anthony Deane (1638-1721), constructeur du Roi, a laissé un manuscrit datant de 1670 et qui contient le plus ancien plan en trois vues, longitudinal, horizontal et vertical. L'usage du dessin linéaire paraît déjà répandu dans les ports anglais ; Deane fait partie de ceux qui travaillent davantage à la planche à dessin que d'après l'expérience ou le coup d'œil. Ses calculs sont purement géométriques, ils comportent des proportions à respecter... d'après l'expérience. Il calcule le déplacement, comme d'autres avant lui, afin de connaître le tirant d'eau en charge et donc la hauteur de la batterie basse. En 1678 au plus tard, le papier quadrillé peut aussi servir à ce calcul, par le dessin des formes.

On pense que les plans de Deane ont été connus en France par la commande de deux yachts pour Versailles en 1673¹⁸. Le plan français le plus ancien que l'on ait retrouvé à ce jour date de 1680 et ne comporte pas de vertical¹⁹. Il est destiné à Colbert et ne représente aucun vaisseau en particulier. Son auteur, le Napolitain Biagio Pangalo (1650-1714), réside depuis peu à Rochefort. Il propose de réaliser pour chaque rang de vaisseaux une série unique de *gabarits* pour tous les constructeurs de la Marine (vu qu'ils ne sont pas près de les abandonner pour des plans). C'était résoudre la question du « plan-type » et satisfaire Colbert sur un point très important, l'uniformité devant permettre d'éliminer les erreurs dans la conception des coques en ne reproduisant que celles qui ont donné de bons résultats à la mer.

L'obligation du plan de vaisseau *avant l'exécution* est donc introduite en 1683²⁰ et confirmée en 1689, non pour la conception des unités futures, les devis de conception étant jugés encore suffisants, mais *pour l'imitation de bâtiments antérieurs jugés réussis*, parce que le plan définit la coque et qu'on ne conserve guère les devis, gabarits

¹⁶ Lettre de Colbert à Pierre Arnoul du 18 septembre 1678, dans Pierre Clément, *Lettres, instructions et mémoires de Colbert*, I.N., t. III, 1^{re} partie, suite, p. 125-126.

¹⁷ Brian Lavery, éd., *Deane's Doctrine of Naval Architecture, 1670*, Londres, Conway Maritime Press, 1981, pour ce paragraphe.

¹⁸ Patrice Decencière, « Influences hollandaises et anglaises sur la construction navale française autour de 1670 », *Neptunia*, n° 258, juin 2010, p. 5-15.

¹⁹ Il est conservé au Musée de la marine à Paris et a été exposé récemment.

²⁰ L'ordonnance du 16 septembre 1683 à laquelle nous faisons allusion a été recopiée dans le Ms 421 du S.H.D., Vincennes, 1^{er} vol. des règlements, p. 9-10. La prescription est reprise dans l'ordonnance du 15 avril 1689, l. XIII, t. 1, art. 6, le modèle devant être en bois.

et même modèles dans les ports. L'ordonnance de 1683 exige des constructeurs un « modèle en carton et un profil ou coupe perpendiculaire avec un plan ou coupe horizontale ». Plans en profil (ce sont des suites de sections horizontales des lisses et des lignes d'eau ou sections verticales des couples de levée) et demi-coques (remplacées ensuite par le plan en élévation) sont déposés avec le devis au contrôle, agissant ici comme un greffe, comme probablement les dépôts des chapitres des cathédrales.

Les constructeurs adaptent le plan de vaisseau à leurs anciennes pratiques, et reprennent les couples de balancement et les lisses. Après tout le dessin n'est pas une science, mais un langage, comme la comptabilité. À partir de 1720 environ, les plans présentés aux conseils de construction des ports sont soumis à la signature du ministre²¹. *Le plan est devenu le support de la conception des navires*. On a retrouvé des calculs faits sur un plan en 1729, mais ils sont dus au meilleur constructeur de cette époque, Blaise Ollivier (1701-1746). La connaissance du poids de la coque, du poids de l'armement et du déplacement (par la capacité de la carène ou partie immergée de la coque), grâce à des calculs simples, permet de placer sur le plan la ligne de flottaison réelle en charge, et donc la hauteur réelle de la batterie principale. Les constructeurs français paraissent en retard sur ceux de S.M. Britannique : ils en sont restés à l'empirisme et à l'imitation.

*Le statut des constructeurs du roi de France*²².

L'organisation des officiers et des entretenus de 1669-1670, encore incomplète, comprend 13 *maîtres-charpentiers* parmi 76 maîtres d'ouvrages ; d'après leurs appointements et leur nombre, ce sont des constructeurs et non des chefs d'équipe. Ce qui caractérise tous ces agents, c'est un brevet ou une commission (des provisions pour les généraux) qui fait d'eux des *officiers du Roi*, rémunérés en permanence (on dit *entretenus*), et organisés progressivement en corps. Il existe un second statut général des officiers du Roi, pour les emplois soumis à une finance. Ceux-ci sont presque inconnus dans la Marine, et des officiers à commission ou brevet, prédécesseurs immédiats des fonctionnaires actuels, sont employés dans toutes les administrations de l'État.

Pour fixer les idées sur les effectifs, voici ceux d'octobre 1761, à l'arrivée de Choiseul. Les 787 maîtres entretenus et assimilables de la Marine se répartissent ainsi en dix corps ou équivalents de corps : 11 ingénieurs des bâtiments civils, 36 constructeurs et élèves, 114 maîtres d'ouvrages des autres spécialités du service des arsenaux, 234 officiers-mariniers entretenus dans les six spécialités des bords, 13 aumôniers (sans les aumôniers embarqués), 11 médecins, 179 chirurgiens, 20 maîtres des sciences et des arts, 66 officiers de justice et archers, 103 bas-officiers de galère dans les bagnes. L'effectif des constructeurs reste donc faible, moins de 5 % des entretenus. Par comparaison, le nombre d'officiers de marine a oscillé entre 500 et 1 300 environ pendant la

²¹ Le plan du *Jason*, de 50 canons, porte l'approbation et la signature du Conseil de marine à la date du 24 mars 1723 (ce plan est reproduit dans l'ouvrage de Jean Boudriot et Hubert Berti, *op. cit.*, p. 24-25).

Une lettre du Conseil de marine du 3 janvier 1720 accompagne un modèle de présentation des plans de vaisseau ; elle répète que les plans approuvés doivent être conservés par le conseil de construction et qu'il est interdit d'y rien changer dans l'exécution (A.N. Marine, A²-24, p. 393-394).

²² Le contenu de cette sous-partie est extrait de ma thèse soutenue en 2005, chapitres 2 et 5, qui envisage la Marine, et surtout le service sédentaire, plutôt comme une institution que comme des chantiers et ateliers ayant une production à assurer. *Une autre Marine (1756-1789). Réforme d'une institution*.

période allant de Colbert à la Révolution (un millier en 1761), sans les gardes de la Marine ; celui des officiers d'administration, de 200 à 500.

En 1669, les maîtres-charpentiers entretenus ont donc leur place marquée dans le service sédentaire. L'intendant Colbert de Terron (1618-1684) juge que « ce ne sont que des paysans incapables de direction et de commandement ». Pourtant, la Plume n'exerce pas cette fonction à proprement parler, et il faut admettre que dès l'époque de Colbert (1619-1683), ils ont eu à commander des hommes, parfois en grand nombre, pour l'exécution des constructions neuves.

Seul peut être admis à *conduire* (c'est le mot consacré) une construction le maître qui a donné des preuves de capacité, qui « soit assez habile pour pouvoir travailler à l'exécution de ses devis, par une bonne pratique de règles certaines, sur l'établissement et réduction des mesures et avec un usage continu du compas ». Cette formulation de 1674 indique qu'il va travailler d'après ses propres devis, alors qu'il s'agit plutôt de ceux du premier maître-charpentier, amendés par le conseil de construction du port. Colbert a attiré des constructeurs et charpentiers hollandais afin de perfectionner et d'accélérer le travail et peut-être surtout de limiter le gaspillage. Il a envoyé des constructeurs français en mission dans le même but et a dû commander à des chantiers étrangers, au moins au début, un nombre d'unités plus important qu'il n'est avoué ordinairement.

L'ordonnance de 1689 met tous ces maîtres sur le même pied²³. Elle les distingue des charpentiers entretenus qui n'ont pas la conduite des constructions et qui ne sont pas non plus des ouvriers, puisqu'ils doivent les faire travailler et qu'un ouvrier n'est jamais entretenu. La hiérarchie, du côté technique, paraît donc comporter dès cette époque *trois niveaux*.

Il reste à savoir si le recrutement des maîtres qui ont la conduite des constructions se fait directement, ou si tous les maîtres-charpentiers exercent alternativement ou successivement les deux fonctions. Les listes de vaisseaux et de frégates mis en chantier avant 1700 que Jean Boudriot a produites comportent les noms de 35 constructeurs seulement, dont 2 ou 3 Hollandais. Je pense donc que les deux cadres ont été séparés dès le début pendant toute la carrière ou au moins pour une partie des maîtres, et c'est pourquoi j'ai adopté l'appellation générique de *constructeur* pour la période couverte par mon exposé. De cette façon, j'insiste aussi sur leurs fonctions, et ces fonctions n'ont guère changé.

Le qualificatif, substitué à celui de charpentier, apparaît dès 1694, et un brevet portant le titre de sous-constructeur est décerné en 1706. En 1717 il y a un premier maître-constructeur dans chacun des trois grands ports, et les titulaires veulent de la distinction. Le titre de sieur était déjà reconnu aux écrivains : le statut social des constructeurs est donc inférieur, comme le suggère l'ordre des « officiers de port » dans l'ordonnance de la Marine de 1689, alors que leur paie est supérieure.

Pendant longtemps, les constructeurs font partie de familles d'officiers de cette profession et la transmission du savoir passe par elles. On compte ainsi treize constructeurs du nom de Coulomb en quatre générations et six au moins du nom de Chapelle. En 1776 encore, quinze au moins des vingt-quatre aspirants admis aux travaux de construction sont proches parents d'officiers des divers services de la Marine.

En 1741 le mot de maître disparaît des brevets et états d'appointements, afin que la séparation entre les constructeurs et la maistrance soit plus nette. Il manque encore une ordonnance statutaire, mais d'autres corps n'en ont jamais eu, tel celui des

²³ Ordonnance du 15 avril 1689, l. XII, t. 9, art. 1, 7 et 8.

inspecteurs des manufactures. Du point de vue du statut social, la date de 1741 marque un changement important, même si la séparation existait déjà de fait.

La théorie et l'application de la théorie à la pratique.

L'échec des premières tentatives de théorisation de la construction navale.

Il faut d'abord dire qu'il est impossible de construire d'après les données contenues dans les livres des théoriciens étrangers à la pratique²⁴ que sont le père Hoste (1652-1700), le chevalier Renau (1652-1719) et même le marquis de Langeron (1649-1711). Les constructeurs l'ont compris.

L'idée du *plan-type* chère à Colbert, et non l'idée d'une véritable et inaccessible *théorie* du navire (il semble que l'on a interprété ce terme à contresens), a pu conduire à l'institution en 1684 de l'inspecteur des constructions. La place, donnée à un capitaine de vaisseau, Langeron, et confirmée par l'ordonnance de 1689, marque un recul apparent des constructeurs. La première fonction de cet inspecteur est de leur apprendre « la manière [de] faire les plans et profils avant que d'en commencer la construction, afin de se corriger des défauts qui ont été trouvés dans ceux qui ont été ci-devant faits et de pouvoir fixer des règles certaines »²⁵. Duhamel du Monceau (1700-1782) affirme qu'il a adopté un mauvais système de construction et forcé les constructeurs à le suivre ; ainsi plusieurs vaisseaux ont été manqués et sa place est restée vacante après sa mort²⁶. Il est plus indulgent pour le sous-inspecteur Gobert, ancien constructeur mort en 1739 ; il écrit que ses tracasseries l'ont fait exclure des ports par le ministre. Duhamel remplace ces deux inspecteurs en 1729, ses fonctions étant confirmées dans une commission du Roi dix ans plus tard.

Renau d'Elissagaray, ingénieur du Roi passé en 1691 dans le corps des officiers de marine, comme Borda trois quarts de siècle plus tard, s'est intéressé à la construction pour répondre au souci de rationalisation de Colbert. Il tente ainsi d'introduire un nouvel instrument de dessin afin de tracer les gabarits normalisés des couples grâce aux propriétés de l'ellipse²⁷. Les constructeurs lui résistent.

Enfin le père jésuite Hoste (1652-1700) a compromis sa discipline, les mathématiques, en dessinant tout seul une frégate aux formes extravagantes, tandis que le vice-amiral de Tourville (1642-1701) en a fait une selon la tradition²⁸. Cinquante ans plus tard, Bouguer (1698-1758), mathématicien et ancien professeur d'hydrographie, ressent douloureusement cette défaite de la théorie, c'est-à-dire l'application prématurée d'une théorie insuffisante²⁹. Plus tard encore, l'ingénieur des Ponts et Chaussées Navier (1785-1836) fait une expérience semblable avec le pont suspendu des Invalides en 1826, mais il avait de plus contre lui l'opinion publique et non pas seulement les marins... Bouguer

²⁴ Jean Boudriot, article de *Neptunia* cité.

²⁵ Ordonnance du 15 avril 1689, l. XIII, t. 3, art. 1.

²⁶ Bruno de Dinechin, *Duhamel du Monceau. Un savant exemplaire au siècle des Lumières*, Paris, C.M.E., 1999, p. 123-124, pour la fin du paragraphe.

²⁷ Jean-Jacques Briost, « L'ingénierie cartésienne de Renau d'Elissagaray », *Documents pour l'histoire des techniques*, n° 16, 2^e semestre 2008, p. 169-186.

²⁸ Larrie Ferreira, « Paul Hoste, premier théoricien de la tactique et de l'architecture navale », *Neptunia*, n° 262, juin 2011, p. 6-13.

²⁹ Pierre Bouguer, *Traité du navire, de sa construction et de ses mouvements*, Paris, Jombert, 1746, préface.

est un pur, il condamne trop facilement des pratiques qui peuvent donner de bons résultats, même si leur domaine d'emploi est limité.

Le projet de Duhamel du Monceau.

Issu de la noblesse de robe et disciple de Réaumur (1683-1757), Duhamel se tient lui aussi à l'écart du parti philosophique qui envahit peu à peu l'Académie des sciences, dont il fait partie depuis 1728. Il est un savant par l'approche rigoureuse des sujets variés qu'il traite et un ingénieur par son souci d'appliquer la science à la technique³⁰. On peut ainsi le qualifier de botaniste et d'agronome. Il est avant tout un expérimentateur qui se défie des théories non vérifiées par l'expérience et donc de l'esprit de système.

Duhamel ne rejette donc pas les usages et coutumes *a priori*. Condorcet (1743-1794), figure du parti philosophique, rappelle qu'il a cherché partout la meilleure pratique, s'est efforcé de la réduire à des règles fixes qui la distinguent de la routine et de l'appuyer sur les principes de la physique, en s'abstenant de faire une théorie quand il ne pouvait l'établir que sur des hypothèses. C'est ainsi que dans un mémoire au ministre de 1749, Duhamel se dit d'avis « de ne point trop gêner les constructeurs, ce qui m'a engagé à me contenter de leur donner des conseils et à leur faire remarquer les défauts que je croyais apercevoir dans leurs plans. Ces avis ont quelquefois été utiles, mais je crois avoir rendu un service bien plus important en m'appliquant à former des sujets qui, étant instruits des vrais principes de leur art, ne courront jamais le risque de gêner les vaisseaux. »³¹ Quoique la dernière proposition ait été infirmée par les faits, *Duhamel venait d'imposer un cours d'études théoriques à ceux qui les jugeaient inutiles*³². *Ce cours est donné à Paris car les enseignants des ports sont insuffisants*. En revanche, il a préféré conserver l'*apprentissage dans les ports* et le recrutement dans les familles de constructeurs comme de bons usages, auxquels il a fallu cependant renoncer par la suite.

L'attitude des constructeurs exaspère le géomètre qu'est Bouguer³³. Leur silence empêche de profiter de leur connaissance des faits, parce qu'ils les considèrent comme des biens de famille. Ils modifient profondément des bâtiments en service sans connaître les effets, alors que certains sont accessibles au calcul. Sans principes communs, ils sont divisés et répètent des assertions au lieu de donner des preuves. La théorie a besoin de ces connaissances, dont elle se sert comme des expériences. Le ministre a mis la profession en honneur en 1741 : Bouguer juge qu'elle méritera d'en être comblée aussitôt qu'elle ne produira plus de plan *sans calculs justificatifs*, que chaque *propriété du navire projeté sera discutée et évaluée avec exactitude* et que la géométrie et la physique fonderont l'architecture navale.

Bouguer considère le navire à flot et au repos (c'est la *statique du navire* ou hydrostatique) et en mouvement (dynamique du navire ou *hydrodynamique navale*). La statique du navire, notamment par l'invention du *métacentre*, tient toujours. La dynamique, comprenant la résistance de l'eau à l'avancement de la carène et l'action du vent sur la voilure, est développée dans le *Traité du navire* de 1746 et dans le traité *De la manœuvre des vaisseaux* de 1757. Elle repose sur des bases posées par Newton (1643-

³⁰ Bruno de Dinechin, *op. cit.*, p. 10-12, 19, 72-73 (sa commission de 1739), 131, 177, 345-354, 400, pour ce développement.

³¹ *Ibid.*, p. 125-126.

³² *État des services de M. Duhamel, de l'Académie royale des sciences, inspecteur de la Marine*, rédigé par lui-même le 7 février 1765, A.N. Marine, C⁷-93.

³³ Pierre Bouguer, *op.cit.*, pour ce développement.

1727) en 1683 et reconnues erronées dès le XVIII^e siècle ; cependant aucune théorie validée par l'expérience ne l'a remplacée avant longtemps.

Les nouveaux calculs sur le navire au repos doivent permettre d'évaluer le degré de *stabilité* en charge. Sur une ligne verticale passant par le *centre de gravité de système* (navire chargé) se trouvent, plus bas, le centre de gravité de carène et, plus haut, le métacentre, point le plus élevé que le centre de gravité de système puisse atteindre sans annuler la stabilité. La *hauteur métacentrique*, ou différence de hauteur entre le premier et le troisième point, est une caractéristique très importante du navire ; pour chaque type, il doit y avoir une plage de hauteurs, et le navire projeté dont la hauteur métacentrique est dans la plage doit être reconnu stable. Si le calcul de deux des trois points est assez rapide, le calcul barycentrique du centre de gravité de système, fait en considérant chaque composante de la structure et du matériel d'armement, est très long et parfois impraticable par le risque d'erreurs de calcul. La négligence des constructeurs se fait aux dépens de la connaissance de la stabilité du navire au repos.

Duhamel est moins dur que son ami, et c'est lui qui, plus que Bouguer, a divulgué les bonnes connaissances de son temps dans son *Traité pratique de la construction navale* (1752 et 1758), après une longue collecte d'informations auprès de plusieurs constructeurs et avec l'aide d'Ollivier. Bouguer a fourni des méthodes de calcul applicables aux plans : les deux savants se sont heureusement complétés. Le livre de Duhamel, il est facile de le constater en le lisant, est un manuel d'initiation à la construction dont l'étude se place pendant l'apprentissage préalable à l'accès des élèves à l'école de Paris³⁴. Il leur épargne les principes mathématiques que Bouguer et Euler ont exposés et que les élèves peuvent étudier ensuite. Il permet de comprendre leurs spéculations et d'appliquer leurs règles.

Duhamel tâche de tirer parti de la forme reçue des vaisseaux, de façon que ses lecteurs évitent leurs défauts essentiels et sachent égaler ceux qui se sont fait une réputation. Il n'est pas trop affirmatif, afin de ne pas en imposer et d'éviter de faire adopter de mauvais principes ou de suivre la routine. Il révèle certaines pratiques dignes d'être suivies. Il tient le discours du doute de Descartes : les jeunes doivent se rendre compte de ce qu'ils font et éviter de tomber dans la pratique aveugle, qui nuit toujours au progrès. Leur réflexion doit découler du raisonnement scientifique.

Selon l'auteur, vaisseaux et galères devraient suivre des plans-types, la conception des bâtiments inférieurs étant laissée au talent des constructeurs. En attendant, il ne faut pas observer les dimensions de 1689 : du reste, on ne les suit plus car presque tous les grands navires avaient leur première batterie noyée et ne pouvaient donc se servir de leur artillerie principale. Un vaisseau ne peut posséder au même degré toutes les qualités désirables. Un compromis est nécessaire, quoiqu'on ait atteint une perfection relative qui montre, par différence, l'insuffisance de principes de certains constructeurs, observe encore Duhamel.

Sans plan, il est impossible de connaître d'avance les avantages et les défauts des vaisseaux, et un vaisseau manqué garde ses défauts ou en acquiert d'autres après correction des premiers. Un plan de vaisseau, comme un plan d'architecture, peut être corrigé pendant l'exécution. Le constructeur peut ainsi adopter une valeur de creux sur le plan et la modifier en fonction du résultat des calculs. Duhamel consacre un tiers de son traité et 19 des 24 planches au tracé pas à pas des plans et particulièrement au plan d'un vaisseau de 70 canons d'après les méthodes et pratiques qu'il approuve (ce sont

³⁴Henri-L. Duhamel du Monceau, *Éléments de l'architecture navale ou traité pratique de la construction des vaisseaux*, 2^e éd., Paris, Jombert, 1758, introduction et ch. 2 et 3, pour ce développement.

souvent des proportions). Il expose ensuite le calcul du volume de carène, le calcul de la résistance de l'eau sur la proue d'après Bouguer et, dans l'édition de 1758, la notion de centre de gravité et de métacentre et le calcul du centre de gravité de carène.

Certains constructeurs se sont contentés de recopier des plans. Chacun a eu sa méthode de construction d'après ses copies, ce qui constituait le secret. Il y a maintenant des constructeurs instruits qui n'ont plus les défauts des autres. Ils savent modifier les dimensions afin de donner à leurs vaisseaux « la figure qu'une bonne et saine théorie leur indique être la meilleure ». De même, l'élève fera bien d'adopter les dimensions conseillées par l'auteur, surtout dans les œuvres vives, et de laisser de côté toutes les pratiques qu'il connaîtra comme étant illusoire, dont celles qui ont été transcrites exprès dans le traité. Son indécision, conclut l'auteur, « se dissipera à mesure qu'il fera des progrès dans la construction, quand il aura bien médité nos remarques et encore plus quand il aura *calculé* beaucoup de vaisseaux ». Ces progrès sont rendus possibles par la formation théorique à Paris, doit-on ajouter car Duhamel ne parle jamais dans son traité de l'école qu'il a fondée en 1740.

L'ingénieur Vial du Clairbois (1733-1816), le 4^e directeur de l'école, juge vers 1783 que le tracé des plans principaux que son prédécesseur a exposé convient bien, en dépit d'erreurs, aux débutants qui ne font pas partie de familles de constructeurs³⁵. Ceux qui y ont des parents ou des amis obtiennent d'eux assez libéralement des plans et devis des meilleurs vaisseaux exécutés, la manie du secret ayant été corrigée. Vial, entré dans le corps à plus de quarante ans, juge la méthode plus sûre, ces documents étant un moyen d'exercer le savoir des ingénieurs et non plus le savoir lui-même. Cependant les jours des familles de constructeurs sont comptés lorsqu'il écrit.

*L'école de Paris*³⁶.

Le préambule de l'ordonnance statutaire du 25 mars 1765 exprime que les constructeurs des vaisseaux du Roi se sont « particulièrement appliqués à réunir toutes les connaissances de théorie et de pratique qu'exige la construction des vaisseaux », qu'ils y ont fait des progrès considérables, et que S.M. veut « exciter de plus en plus l'étude des sciences qui sont la base de cet art et fixer l'état et les fonctions de ceux qui l'exercent, d'une manière qui réponde à l'utilité de leurs services ». Les constructeurs sont appelés désormais ingénieurs-constructeurs, leurs appointements sont augmentés et ils doivent porter un uniforme semblable à celui de la Plume.

L'ordonnance maintient le noviciat dans les ports. On n'y est admis aux travaux, en qualité d'aspirant non rémunéré, qu'avec l'autorisation du ministre ; après deux années passées dans cet état et si le sujet est âgé de 16 ans, il peut devenir élève salarié. Il faut encore qu'il subisse un examen devant l'ingénieur-constructeur en chef et les ingénieurs ordinaires « sur les principes d'arithmétique et de dessin » ; s'il est couronné de succès, l'intendant ou ordonnateur du port propose au ministre d'admettre l'aspirant en qualité d'élève. Les élèves suivent les travaux pendant deux ans au moins avant d'être envoyés à Paris, s'ils sont jugés aptes par l'ingénieur-constructeur en chef. Trois examens préliminaires donc, tous contrôlés par le corps.

³⁵ Article Construction, art du constructeur de vaisseaux, *Encyclopédie méthodique marine*, 4 vol., 1783-1789.

³⁶ Bernard Lutun, *Une autre Marine (1756-1789). Réforme d'une institution*, ch. 12 ou, avec des développements supplémentaires, « Une école pour les constructeurs des vaisseaux du roi de France (1740-1765) », *Revue maritime*, n° 435, 3^e trimestre 1994, p. 106 à 134.

Duhamel tient à l'apprentissage. Des savants de la génération suivante y voient des inconvénients et préconisent la méthode déductive pour l'étude du métier d'ingénieur. Un célèbre menuisier en bâtiment, André-Jacob Roubo (1739-1791), qui a appris la théorie de son art bien après la pratique et a fait accepter par l'Académie des sciences, c'est-à-dire par Duhamel, son *Art du menuisier*, est de leur avis. Il n'a pas peur de le dire dans son traité ni d'y signaler que certaines personnes, surtout celles à qui la théorie est plus familière que la pratique, sont d'avis contraire. Duhamel a en effet interverti l'ordre des matières du chef-d'œuvre de Roubo.

À l'école de Paris, rétablie par l'ordonnance après six ans de fermeture, les élèves apprennent les parties des mathématiques relatives à la construction, savoir « l'arithmétique, la géométrie, les mécaniques, l'hydraulique, l'algèbre et l'application de l'algèbre à la géométrie ». On remarque l'absence du *dessin* : ils sont censés l'avoir appris dans les ports. Le temps à passer à l'école dépend de la force de l'élève, ce qui veut dire que les leçons sont toujours *particulières*. Le directeur doit cependant veiller à accélérer l'instruction et à porter l'enseignement au-delà des parties exigées pour les élèves qui sont capables de le suivre. Lorsque les élèves ont passé un temps suffisant à l'étude du programme, ils sont examinés par le mathématicien Bézout (1730-1783) et doivent aussi exécuter des calculs relatifs à *des plans qu'on leur propose*. Ceux qui réussissent l'examen sont renvoyés dans les ports et remplissent par ordre d'ancienneté les places de sous-ingénieur vacantes ; les autres sont en principe congédiés.

L'accès au grade d'ingénieur ordinaire suppose une vacance et un concours sur épreuves (comprenant la fourniture d'un plan avec calculs) entre les sous-ingénieurs dont des ingénieurs sont juges. Le ministre a le choix entre les trois sujets jugés les meilleurs d'après les comptes rendus des intendants. Dans les faits, l'avancement à ce grade a eu lieu en général à l'ancienneté.

Le principe du concours pour les plans des nouveaux vaisseaux n'est toujours pas admis : le conseil de construction du port examine celui que *l'ingénieur désigné par la Cour* aura eu ordre de dresser. Ce plan double est accompagné des calculs (toujours sans plus de précision) et de deux devis en double : l'un des bois et fers nécessaires pour l'exécution, avec les dimensions et proportions de la mâture, l'autre de la disposition des logements ; plan et devis sont visés par l'ingénieur en chef. Après l'examen au conseil, ils sont envoyés à Versailles pour approbation. L'ingénieur « chargé de l'exécution », qui n'est autre que celui qui a fait le plan, ne peut y apporter de changement sans risquer d'être interdit. Il est secondé par un sous-ingénieur, et les élèves assistent au travail pour s'instruire. Une réunion du conseil peut être provoquée par le commandant et l'intendant, au cas où « des officiers [de marine] et autres proposeront quelque nouveau projet sur les constructions ». Les ingénieurs et sous-ingénieurs sont susceptibles d'embarquer, notamment afin de remédier aux défauts reconnus dans la navigation.

Du désordre à l'ordre : les plans-types.

Les progrès techniques sont indéniables depuis 1689 ; ils ont leur revers. En 1734 le ministre constate que les capitaines demandent sans cesse des effectifs supérieurs à ceux des règlements, et cela notamment parce que les constructeurs augmentent les dimensions des vaisseaux³⁷. Si l'on considère le vaisseau de 64 canons, le mieux

³⁷ Lettre du ministre Maurepas à l'intendant de Toulon du 11 avril 1734, G 47, p. 451-452.

représenté dans la flotte de 1761 et qui a toujours eu deux ponts, l'équipage a augmenté d'un tiers de 1690 à 1759³⁸. Les constructeurs ne sont pas seuls responsables. Quant à la variété, elle augmente aussi la dépense, parce que le matériel d'armement n'est pas interchangeable, contrairement à l'usage des galères.

Rien n'y fait : la tendance à l'augmentation des dimensions et à leur variété est irrésistible, ainsi que l'explique Duhamel lui-même, semble-t-il, vers 1745³⁹. « Tous les officiers de la Marine s'accordent à demander qu'il soit établi une règle qui fixe le rang et les proportions des vaisseaux de manière que tous les vaisseaux de même rang soient égaux dans leur longueur, largeur et creux et que tous les agrès et apparaux des uns puissent servir aux autres. Les constructeurs se sont éloignés des proportions portées dans l'ordonnance de 1689 et dans celles qui l'ont précédée [1673], parce qu'ils ont acquis plus de connaissances sur le fait de la construction des bâtiments de mer qu'on n'en avait dans le siècle passé. C'est l'expérience et le travail continuel des constructeurs qui ont procuré des changements avantageux dans la construction des vaisseaux, mais ceux qui, parmi eux, ont le plus de talent ont demandé eux-mêmes que les principales proportions des vaisseaux fussent fixées suivant leur rang, afin de pouvoir arriver, par la voie des expériences, au point de perfection que l'on cherche et auquel il est presque impossible de parvenir, parce que toutes les expériences se font sur des vaisseaux d'une forme différente et dont les proportions n'ont aucun rapport. [...si le constructeur] était fixé par des proportions principales, il ne songerait plus à perfectionner sa construction en changeant ces proportions et il s'en tiendrait à en changer la forme dans quelques parties sans risquer de perdre les bonnes qualités qu'elle aurait déjà données. »

Le maréchal de Castries (1727-1800) cherche à son tour à standardiser le dessin des coques de vaisseau. Ce ministre considère la marche des vaisseaux en escadre, trop irrégulière et trop lente parce que les vaisseaux diffèrent trop les uns des autres. Il se tourne vers Borda (1733-1799). Cet ancien officier du Génie a observé, lors de ses navigations, le comportement à la mer de l'*Annibal*, pre-mier 74 canons de l'ingénieur Sané (1740-1831) et il a conseillé à son prédécesseur Sartine de le charger des plans du *Northumberland*⁴⁰. Les plans-types étant de nouveau à l'ordre du jour, Borda convainc Castries de faire appel à Sané pour celui du 74 canons et, après l'examen de son plan, très proche du *Northumberland* et de celui proposé par Groignard (le *Suffisant*) et par Coulomb (le *Centaure*), le plan de Sané est adopté comme type en mai 1782⁴¹. Un concours analogue pour les trois-ponts (six ingénieurs proposent des plans, cette fois) conduit le ministre à retenir le plan de Sané en 1786, et à nouveau son plan pour le vaisseau de 80 canons en 1787⁴². C'est le début de la pratique des concours pour les programmes ou les grosses unités. Les plans-types sont dérivés d'unités construites ou extrapolés, et non établis *ex nihilo*. Cette pratique a été continuée jusqu'à nos jours ou bien reprise (après les errements de la marine d'échantillons), lorsque des constructions en série de bâtiments ont été décidées.

³⁸ Premier mémoire du commis Truguet au ministre, du 26 mai 1761, S.H.D. Terre, A¹-3599, pièce 57.

³⁹ Mémoire [du commissaire général de Langerie à la Cour] concernant les rangs des vaisseaux et leurs principales dimensions, recopié dans S.H.D. Marine, Ms 421, p. 343-400. L'extrait paraît tiré d'un mémoire de la Cour, auquel Langerie répond en reproduisant de longs passages.

⁴⁰ Patrick Villiers, *op. cit.*, p. 699 et 700 et lettre de Fleurieu à Sartine du 17 avril 1780, C⁷-106. Dans cette lettre, Fleurieu expose que Borda souhaite voir confier les plans du *Northumberland* à Sané selon ses dernières propositions.

⁴¹ Patrick Villiers, *op. cit.*, p. 699.

⁴² *Ibid.*, p. 703 et 706.

Le ministre La Luzerne (1737-1799), successeur de Castries, écrit que Sané a « fait » ou « rédigé » les plans-types et que Borda les a « dirigés » ou « corrigés »⁴³. *Il semble qu'ils n'ont pas été entièrement calculés*. Reproduits à plus de 150 exemplaires à eux trois, ils doivent beaucoup à une pratique éclairée par les calculs les plus courants. Les plans des vaisseaux anglais avaient été « standardisés » en 1719, 1733 et 1745. Il était prévu de normaliser aussi les objets d'équipement et d'armement⁴⁴, mais la Révolution a interrompu ce nouvel effort. Le résultat a été fort long à obtenir, vu qu'il exigeait une coopération des capitaines qui était extrêmement difficile à obtenir à l'époque, tous ayant leur idée de l'équipement et de l'armement maritime de leur vaisseau et donc des vaisseaux en général et les moyens de la faire prévaloir au besoin.

Seules les proportions générales des frégates ont été fixées, de façon à laisser aux ingénieurs la liberté de faire des essais sur les formes de carènes⁴⁵. Enfin ils ont été libres de faire varier les formes et les dimensions des petits bâtiments. L'utilité de cette mesure est justifiée par le progrès technique, qui peut conduire à modifier les plans-types, mais avec beaucoup de circonspection, parce que l'on craint, non le progrès technique, mais l'indiscipline des ingénieurs !

Nécessité de modifier le plan de formation de Duhamel.

La sélection des ingénieurs reste à la discrétion du corps. Seule l'obtention du grade de sous-ingénieur, c'est-à-dire l'accès effectif au corps, après le retour dans les ports, lui échappe. Cinquante-deux élèves ont été nommés de 1765 à 1786 conformément à l'ordonnance de 1765, y compris les dix élèves-constructeurs qui n'avaient pu être admis à l'école pendant sa fermeture. Sur ces 52 élèves, 47 ont fréquenté l'école de Paris, mais 30 seulement sont devenus sous-ingénieurs-constructeurs : *le déchet est considérable*. L'autorité trouve un emploi à 9 des 17 recalés, 5 élèves sont renvoyés et 3 autres ont démissionné⁴⁶. Est-il convenable de verser dans les bâtiments civils de la Marine, option rétablie en 1768, des élèves de construction recalés parce qu'ils sont faiblards en mathématiques ?

On peut se demander si le noviciat, confié à des ingénieurs plus ou moins habiles ou consciencieux, d'élèves dont le niveau à l'entrée est variable et plutôt faible, n'a pas été jugé plus nuisible qu'utile. Cependant le recrutement hors de la Marine et des ports de guerre de sujets plus doués, qui permet de s'affranchir de la tutelle des familles et de pallier l'espèce d'anémie des ports, paraît au moins aussi important.

Un ancien élève de l'école de Paris en laisse une image bien différente de celle que Duhamel avait voulu lui-même donner en 1749, dans un mémoire qui paraît dater de 1773⁴⁷. Les échecs à l'école de Paris sont encore peu nombreux, quoique le résultat

⁴³ *Mémoire adressé au Roi par M. de La Luzerne sur les administrations dont il a été chargé*, A.N. Colonies, F³-158, p. 496. Si La Luzerne ne cite pas le nom de l'ingénieur dans son mémoire, c'est intentionnellement. Nous avons remarqué qu'il donnait très peu de noms de personnes et toujours de manière élogieuse ; ce sont des modestes, leur utilité doit être illustrée par le ministre, les autres n'ayant pas besoin de lui pour se mettre en valeur. Il ne cache pas son admiration pour Borda.

⁴⁴ Castries avait autorisé le capitaine de vaisseau de Kersaint (1742-1793) à présenter un projet après expérimentation à la mer, sur le 74 canons le *Léopard*.

⁴⁵ La Luzerne, *op. cit.*, p. 494-504, pour ce paragraphe.

⁴⁶ Résultats obtenus par le dépouillement des matricules C²-105 et C²-106, d'annuaires imprimés et de divers papiers à caractère personnel (les dossiers personnels ou individuels ont été introduits dans la Marine pendant le ministère du maréchal de Castries, de 1780 à 1787).

de la première période, celle qui va de 1740 à 1759, ne soit pas connu. La situation se dégrade ensuite.

L'auteur propose d'établir l'école à Brest, où les élèves pourraient appliquer journellement et par gradation la théorie à la pratique, laquelle leur deviendrait plus familière. Un bâtiment à terre servirait au logement et à la formation de vingt-quatre élèves de bonne famille à la fois. Admis à l'âge de seize ans après les humanités et l'acquisition des principes de mathématiques et de dessin, ils seraient préalablement interrogés sur ces éléments. On leur apprendrait l'arithmétique, la géométrie, les deux trigonométries, l'algèbre et son application à ces parties, la mécanique, l'hydraulique, l'architecture navale et civile et même la topographie, afin qu'ils se rendent utiles dans les voyages de découverte. Un ingénieur ordinaire et des sous-ingénieurs choisis parmi les derniers reçus assisteraient aux études et surveilleraient les élèves. Ceux-ci seraient divisés en quatre *classes* sous la conduite des professeurs de mathématiques, de dessin, de topographie et d'architecture civile *et des sous-ingénieurs, qui seraient aussi chargés d'enseigner l'architecture navale.*

C'est la question des plans de vaisseaux et, plus généralement, du *dessin linéaire* qui est soulevée d'abord de manière officielle⁴⁸. En 1781, Duhamel, constatant que le niveau des élèves en dessin est insuffisant, décide d'obliger les élèves de construction de l'école de *présenter un plan* de vaisseau avec devis et calculs au lieu de calculer des plans fournis⁴⁹. Ce sont les résultats que l'on se borne d'abord à évaluer. Jean-Baptiste Daubenton est le premier professeur de dessin de l'école : il est nommé à la fin de 1783. Les élèves apprennent avec lui la figure, l'architecture, les ornements, mais pas encore le dessin linéaire⁵⁰.

En 1784, Dudin (1725-1807), l'inspecteur des études, dit d'un élève que, « quoiqu'il ait déjà de bons principes de dessin et qu'il fasse bien un plan de vaisseau, il est néanmoins nécessaire qu'il prenne encore pendant quelques mois des leçons de dessin pour se perfectionner dans la perspective des machines, la science des ombres et dans quelques autres parties du dessin relatives à la marine que vous [le ministre] avez jugé devoir entrer dans le plan d'instruction des élèves [...]. » Il transmet ainsi l'avis du nouvel examinateur, le grand Laplace (1749-1827). Celui-ci demande de *nouveaux modèles* pour la salle de marine, *qui sert au dessin* et aussi aux études de l'Académie des sciences. Cette amélioration de l'instruction des élèves en appelle d'autres.

Borda constate, dans une lettre très importante au ministre datant de 1783⁵¹, qu'avant d'être envoyé à Paris, l'élève ne s'occupe que de la pratique de la construction, ou que du moins ses études théoriques sont très bornées, qu'ensuite pendant son séjour à l'école, « il ne travaille presque qu'à la théorie et qu'ainsi nulle part il n'apprend avec détail la partie essentielle de son métier qui consiste dans *l'application continuelle de la théorie à la pratique*. On verra encore que, revenu dans le port, soit qu'il manque d'émulation, soit que le courant ordinaire du service ne lui permette pas de donner assez de temps à ses études particulières, il s'occupe peu de ramasser les matériaux qui lui

⁴⁷ *Observations sur les écoles établies à Paris pour l'instruction des élèves-ingénieurs-constructeurs par l'article IX de l'ordonnance de 1765 qui concerne ce corps*, G 89, f° 131 à 136, pour ce développement.

⁴⁸ C⁷-48, dossiers au nom de Brun de Sainte-Catherine père et fils.

⁴⁹ Rapports de Duhamel du Monceau au ministre du 29 août et du 6 octobre 1781, C⁷-48.

⁵⁰ Registre-matricule CC²-1015 et *Encyclopédie méthodique marine*, art. École : « ils ont même aujourd'hui un maître de dessin » ; lettre de Borda au ministre du 7 juillet 1784, C⁷-254, dossier au nom de Pomet.

⁵¹ Lettre de Borda au ministre du 27 août 1783 et rapport de Blouin du 3 octobre, pour ce développement, CC⁷, D. individuel de Vial du Clairbois.

seront nécessaires un jour pour se distinguer dans son art. D'ailleurs, quand bien même il en aurait le projet, il y trouverait de grandes difficultés : en effet, *les constructeurs ne se communiquent point entre eux*, tout ce que chacun a pu rassembler de connaissances pendant sa vie meurt avec lui et est perdu pour ceux qui lui succèdent, il faut donc qu'un jeune homme qui commence travaille sans secours *et qu'il se doive, pour ainsi dire, sa science à lui tout seul.* » Les temps ont changé : la conception dynastique de la construction a disparu et l'exercice solitaire du métier domine au XIX^e siècle.

« Mais », poursuit Borda, « cette science est fort étendue et exige des recherches longues et pénibles. Indépendamment des états qu'un ingénieur doit avoir de tout ce qui entre dans les vaisseaux des différents rangs, lest, vivres, artillerie, apparaux, etc., il faut encore, pour qu'il puisse calculer *avec rigueur* la stabilité des vaisseaux, qu'il ait d'autres états beaucoup plus étendus, formés d'après les échantillons des bois et fers réglés par l'ordonnance ou d'après quelques vaisseaux exécutés, dans lesquels il trouve les poids tant de chaque partie principale de la carène du bâtiment, que des ponts et gaillards, de la mâture, de la voilure et du gréement ; et, outre cela, l'effet de la pesanteur de chacune de ces parties et de leur position relativement à la stabilité ; enfin il faut que ces calculs soient faits, non pour un vaisseau seulement, mais pour un vaisseau de chaque rang. Or, tout cela demande plusieurs années d'un travail assidu. [...]. On peut objecter qu'on s'est passé jusqu'à présent des états dont je viens de parler et qu'on a fait néanmoins de bons vaisseaux ; j'en conviendrai, mais sans vouloir porter atteinte à la réputation de quelques constructeurs habiles dont j'estime beaucoup les talents, je dois remarquer qu'on a vu dans ces derniers temps des vaisseaux construits par eux et qui manquaient de stabilité en sortant du port et qu'on a été obligé de souffler pour les faire naviguer avec sûreté. »

Borda fait allusion à 9 vaisseaux manqués, 5 par Clairain-Deslauriers et 4 par Groignard, les deux premiers élèves de Duhamel, une affaire récente et considérable. Certainement, reprend Borda, « si on avait eu sous les yeux des états tout formés tels que je les demande, il eût été aisé, *en établissant une comparaison entre les vaisseaux projetés et les vaisseaux qui auraient servi de modèles pour les calculs, de déterminer si ces vaisseaux auraient une stabilité suffisante*, ce qui démontre la nécessité ou du moins la très grande utilité de ces états. » Il y a donc lieu de penser que les calculs des ingénieurs étaient insuffisants. On pense que l'estimation de la position du centre de gravité de système (celui du vaisseau chargé) est aujourd'hui encore un travail difficile à cause de la multiplicité des calculs et qu'elle a réellement commencé vers la fin du XIX^e siècle, avec les calculatrices mécaniques. Les états « beaucoup plus étendus » et « tout formés » dont parle le savant sont prévus pour le calcul du centre de gravité de système.

Ces états seraient confectionnés par Vial au profit de tous, et cet ingénieur-constructeur entraînerait les élèves de l'école à ce genre de calculs et, d'une manière générale, « dans toutes les parties théorico-pratiques de la construction, en les exerçant à appliquer les calculs aux différents problèmes qu'on peut se proposer dans l'architecture navale ». Cette dépense nouvelle consiste dans les appointements d'un ingénieur et elle n'est rien si l'on considère « la partie considérable des dépenses de la Marine dont l'emploi leur est confié », conclut Borda.

La réponse du premier commis Blouin (1733-1785) au ministre est plutôt embarrassée. Pourtant *elle annonce l'inversion du cycle de formation des ingénieurs*. « Il ne serait pas difficile, en distribuant autrement le temps de l'instruction, d'envoyer les élèves de tous les ports au sortir de l'école de Paris à celle qu'on établirait à Brest sous M. Vial pour l'application de la théorie à la pratique. » Le plan de l'École polytechnique est donc esquissé à la fin de 1783.

Malgré l'importance de ses fonctions, Borda n'obtient de position officielle à la Cour qu'à la fin de 1784. Il est de fait inspecteur de la Marine à la place de Duhamel, qui s'est rendu dans les ports pour la dernière fois en 1764. Le ministre se méfie de l'esprit de système de certains ingénieurs, auxquels il préfère ce conseiller, profond en théorie, versé dans la pratique de la construction, qui a la pratique de la mer et une réputation d'impartialité qui garantit la Marine contre les systèmes. Il voit juste. Borda devient ainsi inspecteur des constructions et directeur de l'école des ingénieurs-constructeurs.

La réforme de la Marine de 1786 modifie le service des ports et la situation des ingénieurs, qui sont chargés désormais de la direction des chantiers et des ateliers de construction. L'externat à l'école de Paris est maintenu, mais les conditions d'admission et le régime des études sont modifiés : tel est l'objet du règlement du 1^{er} avril 1786, qui supprime l'apprentissage préalable et institue le concours à l'entrée de l'école, préfigurant le régime de l'École polytechnique.

Borda attache beaucoup d'importance au dessin. Le règlement dispose que les élèves apprennent d'abord la figure, l'architecture et les ornements sous un maître ordinaire, puis les plans de vaisseau sous un autre maître⁵². L'occasion de recruter ce dernier se présente en 1787 lorsque Barthélemy Pomet (1740-1812) quitte la place qu'il occupait auprès de l'ingénieur-constructeur Groignard (1727-1798). Borda compte l'utiliser à la fois comme professeur de dessin et comme constructeur de modèles.

Le sous-ingénieur Degay (1758-1819), est nommé professeur de construction en octobre 1788⁵³. Il propose un programme d'application à l'école et dans les ports. En septembre 1792, Borda le voit partir avec regret et espère le revoir un jour à Paris.

L'école a belle allure au commencement de la Révolution : 22 élèves présents pour les constructions (de l'État et du commerce, depuis 1787) et les bâtiments civils, 8 professeurs et quelque chose comme 40 000 l de dépense en propre par an (une bonne partie de la dépense figure dans d'autres parties du budget de la Marine)⁵⁴.

Le recrutement et la formation se poursuivent pendant la Révolution, les cours étant seulement suspendus pendant les neuf derniers mois de 1794. La création de l'École polytechnique fait de l'école de Paris l'une de ses filiales, qui quitte d'ailleurs Paris en 1801. L'enseignement, qui dure normalement 18 mois, y est maintenant divisé en deux *classes* et limité aux matières dites d'application. Le tracé des plans, les calculs sur le bâtiment léger et sur le bâtiment armé occupent la majeure partie de l'emploi du temps. Les élèves doivent apprendre seuls plusieurs traités, et cette prescription n'est probablement pas récente.

Vial n'a pas pu remplir les fonctions auprès de Borda que nous avons signalées, et il ne devient directeur de l'école qu'en 1800. C'est la raison qu'il invoque dans son *Traité élémentaire de la construction des bâtiments de mer à l'usage des élèves du Génie maritime* paru en 1805 pour constater qu'aucun vaisseau n'a été entièrement calculé. Pourtant l'hydrostatique est devenue une science certaine et le calcul du centre de gravité de système, très long et exigeant beaucoup de connaissances de détail sur la charge comme l'avait écrit Borda, peut être simplifié. Il signale que le bateau-porte du bassin de Brest, refait par Groignard, est manqué par défaut de calculs : il ne peut

⁵² Règlement du 1^{er} avril 1786, art. 7, lettre de Borda au ministre du 5 juillet 1787 et autres renseignements, C⁷-254, dossier au nom de Pomet, pour ce paragraphe.

⁵³ CC⁷, dossier individuel de Degay, pour ce paragraphe.

⁵⁴ Bernard Lutun, « La survie d'une institution de l'Ancien Régime ou L'invention de l'École polytechnique (1789-1801) », *Revue historique*, n° 586, avril-juin 1993, p. 383-420, pour ce paragraphe et le suivant.

s'enlever seul et, quand on y procède, c'est avec un attirail de ponton, « la honte de l'art », dit-il. Vial donne, dans son traité et dans celui qu'il avait composé pour les élèves-officiers de marine en 1787, qui devient la propédeutique de celui de 1805, les calculs complets de stabilité d'un vaisseau de 74 canons (y compris un peu d'hydrodynamique) puis d'une frégate armée en guerre selon le règlement et armée en flûte. Il conclut qu'il n'y a pas d'école d'application du Génie maritime. Il fait ce qu'il peut et ouvre la carrière des élèves en finissant la sienne (il obtient sa retraite à 77 ans).

De plus, l'accueil des nouveaux ingénieurs dans les ports par les anciens — auxquels Vial pense encore — manque de chaleur, parce que les premiers ont plus de théorie que les seconds et qu'ils le montrent. Le décalage entre les deux enseignements et le tirage entre les écoles subsistent jusqu'à l'arrivée en 1831 de Frédéric Reech (1805-1884) à l'école d'application du Génie maritime. C'est pendant son long règne que la théorie y a pris définitivement le dessus.

Conclusion.

L'institution du plan de vaisseau, qui est devenu une réalité dans la marine française en l'espace de quarante ans environ (1680-1720), permet de conserver la trace de bâtiments réussis que l'on peut ainsi reproduire et de surveiller les décisions prises en conseil de construction et entérinées par le ministre. Le plan permet aussi de lever une partie du voile qui recouvre les pratiques des constructeurs. Ceux-ci l'utilisent en l'adaptant à certaines de leurs pratiques. On en arrive finalement à la standardisation complète des *coques* des vaisseaux, un siècle après que Colbert l'a imaginée, sinon à celle des vaisseaux eux-mêmes. De cette manière, la marche des escadres est plus régulière, argument capital invoqué tardivement. Les frégates et autres bâtiments inférieurs sont laissés aux constructeurs, de manière à évaluer leur talent et à modifier les plans-types par suite des progrès constatés dans la navigation de ces unités.

Après le plan viennent les calculs sur le plan, d'abord le déplacement du bâtiment en charge et le poids de la coque. Le premier théoricien qui perce dans la Marine publie son *Traité du navire* en 1746. Bouguer est l'inventeur de la notion de métacentre qui permet d'évaluer la stabilité du navire selon un principe et des méthodes qui sont toujours valables. Il développe des idées de Newton en matière de résistance de l'eau et d'effet du vent qui sont reconnues assez vite inexactes, quoiqu'elles aient donné lieu elles aussi à des calculs numériques.

Un autre savant, attaché à la Marine depuis 1729, Duhamel du Monceau, cherche à divulguer les bonnes pratiques des constructeurs et à faire donner aux élèves une formation théorique en mathématiques après l'apprentissage dans les ports : c'est l'école de Paris créée en 1740 et qui devient plus tard une école d'application de l'École polytechnique sous le nom d'École d'application du Génie maritime. L'apprentissage conservé jusqu'en 1786 est remplacé par un concours qui permet de recruter les sujets au-delà des ports de guerre.

Demandons-nous maintenant si la théorie entre pour une part dans la conception des bâtiments de l'Empire français, qu'il s'agisse des vaisseaux-types et de leurs adaptations ou des bâtiments inférieurs dont la conception est laissée en tout ou en partie aux ingénieurs du Génie maritime.

C'est le calcul du centre de gravité de système qui importe vraiment pour déterminer le degré de stabilité d'un navire, et il est très long, même s'il peut être simplifié (et Vial l'a proposé). D'après ce qu'écrit le même Vial à plusieurs reprises et jusqu'en

1805, *il n'a été fait qu'à l'école*. La théorie du navire serait alors l'habillage des pratiques conservées et non une nécessité pour la conception des navires, comme elle a été une nécessité pour celle des machines à vapeur.

Le *Northumberland* de Sané a été plébiscité par les marins. Mais l'on sait que de petits changements peuvent produire de grands effets : n'y avait-il pas de risque à adopter ce plan sans des calculs complets, après les déboires de Clairain-Deslauriers et de Groignard (nous ne connaissons du reste aucune étude des neuf vaisseaux manqués) ? Enfin, les trois plans-types adoptés, dont un seul est extrapolé d'un vaisseau existant de Sané, ce qui souligne la confiance donnée à cet ingénieur pour les deux autres, étaient excellents, à la bonne heure. Si les Colbert ont obtenu les premiers plans, Castries a eu les premiers types !

M. Boudriot indique que 1 120 bâtiments ont été mis en chantier jusqu'à la fin de la marine à voiles, soit 578 vaisseaux et 542 frégates pour la marine de guerre française, et il signale l'existence de 149 plans français et 35 plans étrangers, compte tenu du fait que les trois plans Sané-Borda et leurs deux variantes postérieures comptent à eux seuls pour 178 bâtiments (dont 156 ont été achevés). On ne s'est guère intéressé aux calculs, et il paraît qu'il en reste très peu. La conclusion la plus probable est la suivante. Le maréchal de Castries s'est servi de son autorité pour mettre fin au désordre régnant dans les constructions comme ailleurs dans la Marine. Les calculs des plans-types étaient incomplets. Personne n'a dû croire que ces plans seraient éternels, et l'on s'est contenté de les choisir selon le « sens des formes », sans les habiller ni les justifier par des calculs qui devaient s'imposer plus tard. La décision du ministre est intervenue au bon moment psychologique, et les révolutionnaires n'ont pas osé la rapporter... en dépit des représentations de plusieurs ingénieurs qui croyaient déchoir en exécutant les plans d'un autre ingénieur qu'eux-mêmes, contrairement à la règle observée depuis toujours, avec ou sans plan. La machine à vapeur marine, innovation capitale, a permis de tirer tout le parti de l'innovation des plans et calculs appliqués aux coques.

Le plan de la façade occidentale de la cathédrale de Cologne.

On pense que le premier maître d'œuvre de la cathédrale de Cologne, Gerhard von Rile († vers 1271), a établi un plan général de l'édifice avant le début des travaux du chœur en 1248. L'édifice carolingien, consacré en 873, était déjà long de 110 m. Sa partie occidentale a subsisté pour les besoins du culte, après restauration car l'église venait de brûler ; elle a pu être accolée un temps au nouveau chœur, comme à Tournai par exemple, dont les travaux n'ont pas repris après la fin de la construction du chœur gothique, ce qui a permis de sauver la nef et le transept romans. Le chœur de Cologne est consacré en 1322. Les nefs latérales sud sont fondées en 1331. La tour sud atteint 57 m en 1448 et les fondations de la tour nord sont établies en 1500. Les travaux s'arrêtent vers 1530 : c'est le temps de la réforme de Luther.

L'examen de l'édifice inachevé révèle quantité de *proportions*. Elles sont basées, non sur la résistance des matériaux, du moins en apparence, mais sur des combinaisons de figures, le triangle équilatéral, le carré, le rectangle, la croix, le cercle et les polygones de six à douze côtés. Villard de Honnecourt, puis Roriczer (v.1435-v.1495), montrent par exemple comment dessiner un pinacle ou un pilier de plan carré sans calcul, par duplication du carré. Le nombre principal ou module de la cathédrale représente la largeur de la grande nef, soit 50 *pieds romains* de 29,44 cm (130 lignes de pied-de-roi français, d'après la conversion adoptée par Sulpiz Boisserée (1783-1854)), ou 14,7 m comptés à partir du centre de la base des colonnes. Les nefs latérales mesurent de même 25 pieds, ainsi que la distance d'une travée à la suivante. Il y a cinq nefs, sauf dans le transept qui n'en compte que trois. La longueur intérieure de l'édifice est le triple de la largeur de la nef, soit 450 pieds. La nef et le chœur mesurent aussi 150 pieds de long. Le porche, la croisée du transept, les chapelles du chœur ont la même longueur de 50 pieds. La longueur du transept vaut 5/9 de celle de l'édifice. La hauteur sous les voûtes principales est encore de 150 pieds, celle des voûtes latérales 2/5 de cette valeur. Les colonnes principales de 7 pieds présentent un rapport de 2/7 entre la largeur dans œuvre et la hauteur, celles de 6 pieds un rapport de 1/3. Boisserée a trouvé bien d'autres proportions, et le chiffre 7 revient souvent : notons que c'est un chiffre sacré. Il ne parle pas explicitement du nombre d'or.

Lors de la retraite des Français en 1814, l'édifice est très dégradé par suite du manque d'entretien. Le chœur et les parties inachevées de l'édifice, sauf les tours, subissent une restauration générale. La reprise des travaux en 1842 prend l'allure d'une œuvre patriotique encouragée par les rois de Prusse, qui marquent aussi leur intérêt pour les sujets catholiques car le siège archiépiscopal est rétabli en 1825.

Les parties inférieures de l'édifice sont presque toutes construites jusqu'à une certaine hauteur (il manque le transept sud), et leur état est bon ainsi que les fondations. Boisserée se demande seulement si l'on saurait encore construire la grande voûte, par manque d'habitude et non par « tout l'art du calcul dans lequel nous avons surpassé de si loin nos ancêtres ». Cet artiste-peintre prêche la supériorité de la pratique sur la théorie et invoque l'exemple de l'architecture navale, qui prouve maintenant le contraire. Il est donc d'avis de faire un essai ou de voûter en charpente.

Le plan en élévation de la façade, attribué au second maître d'œuvre, Arnold (†1308) et daté de 1280 environ, comprend deux parties pouvant être utilisées séparément à cause de la symétrie de l'édifice. Il est complété par la vue en plan de la tour sud, de la même main et à la même échelle. *Cette échelle y est marquée par une règle mais l'unité n'est pas nommée ; Boisserée a démontré que l'on utilisait le pied romain et non le pied du Rhin et que l'échelle était la même sur les deux plans.* Cet auteur cite trois plans secondaires. Il mentionne des différences avec l'état de la construction avant la reprise des travaux, surtout au deuxième étage : le plan donne un mètre de plus, soit 157 m. Dans l'ensemble l'unité de style de l'édifice est remarquable.

L'utilisation du plan médiéval de la façade occidentale permettait d'éviter un pastiche qui a été limité aux façades des transepts dont les plans étaient perdus. Le travail a d'abord été confié à un élève de Schinkel, Zwirner (1802-1861), puis à Voigtel (1829-1902). Dès 1863, l'intérieur de la cathédrale est terminé. Les charpentes des toitures sont en fer. La supériorité du résultat se remarque en examinant la façade néogothique de la Votivkirche de Vienne, achevée en 1879 d'après celle de Cologne, qui a été terminée l'année suivante.

Dimensions principales de l'édifice : longueur extérieure, 144 m ; largeur de la façade, 60 m ; largeur hors tout de la nef, 54 m ; longueur hors tout du transept, 84,5 m ; hauteur des tours, 157 m.

Élévation de la façade occidentale de la cathédrale de Cologne : plan de 1280 environ revu au XIX^e siècle (Sulpiz Boisserée, *Histoire et description de la cathédrale de Cologne*, 2^e éd., trad., 1843).



Des mesures et des proportions

Nous avons vu que les maîtres d'œuvre de la cathédrale de Cologne avaient utilisé le pied romain pour toutes les *mesures*. Leurs confrères ont dû en faire autant. Ce pied romain valait 29,44 cm ou à peu près, selon les époques et les lieux. Chaque État avait ses mesures officielles et tolérait l'existence d'une foule de mesures locales. Le pied du Rhin, employé dans toute l'Europe du Nord, mais non de manière exclusive, valait, selon Furetière et les auteurs du dictionnaire de Trévoux, 95 % du pied romain, soit à peu près 28 cm. Pourtant, il existe à Cologne un pied de 28,62 cm à la fin du XIII^e siècle. En France, le nouveau pied de roi, adopté en 1668 lors de la création de la toise du Châtelet, étalon primaire de longueur, est égal à 32,48 cm.

Les mesures variant d'un lieu à l'autre, les maîtres d'œuvre notaient sur leurs carnets d'esquisses des *proportions* lors de la visite des chantiers de collègues, afin de se documenter ; l'esprit dominant visait au gigantisme. Ils se servaient d'une sorte de mètre dépliant appelé canne, qui comprend cinq mesures multiples de la ligne, d'après le corps humain : coudée (233 lignes), pied (144), empan (89), palme (55) et paume (34). L'instrument déplié mesure environ 1,25 m. On remarque que les nombres entre parenthèses sont ceux de la suite de Fibonacci (u_9 à u_{13}), si les deux premiers termes sont pris égaux à 1. Le rapport entre deux termes qui se suivent vaut presque le *nombre d'or*. Cette manière de concevoir les nouvelles constructions par proportions est aussi ancienne que la construction elle-même. Parmi ces proportions, il en est une précisément qu'ils ont beaucoup utilisée en raison de l'harmonie qui se dégageait de son emploi répété : c'est le nombre d'or ϕ , qui vaut environ 1.618 et résulte par exemple de la division de la longueur par la largeur d'un rectangle dit rectangle d'or.

La pyramide de Chéops et le Parthénon utilisent le nombre d'or. Les bâtisseurs ou les donneurs d'ordres de l'Antiquité ont pu avoir en tête une autre raison que la recherche de l'harmonie : le nombre d'or était considéré comme sacré et il a été employé par des sectes, dont celle de Pythagore. Les bâtisseurs des Cisterciens, astreints au respect d'un plan-type (seule l'adaptation au terrain et l'effectif prévu permettaient de modifier le plan), privés des sculptures à forme humaine ou animale, de la peinture et des vitraux, qui tous, pensait-on, nuisaient à la prière et à la méditation, ont beaucoup utilisé le nombre d'or à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, l'église abbatiale en premier lieu. Il en résulte une harmonie incomparable que l'on sent dans chaque abbaye cistercienne, en dépit de l'uniformité apparente.

Prenons l'exemple de l'abbaye de Silvacane en Provence d'après le livre de M. Jean Guyou, *Silvacane, proportions sacrées et nombre d'or*, chez l'auteur, 2013, qui nous a aimablement permis de reproduire ci-après deux de ses dessins. Les monastères cisterciens se ressemblent beaucoup, pour des raisons tenant à la vie religieuse et notamment au respect plus strict de la règle de Saint-Benoît. Le *plan* de l'église se compose de deux carrés ABCD et BEFC ; les angles principaux depuis le point commun O sont de 18, 36, 72, 90 et 108° et déterminent les emplacements principaux des murs (il manque cependant leur épaisseur). Les angles de 36, 72 et 108° sont ceux du pentagone régulier. Ce même plan se décompose en 40 carrés auxquels se superposent 24 rectangles d'or selon l'axe de la nef et qui déterminent notamment l'emplacement des piliers. Les mêmes angles permettent de tracer en partie la façade occidentale et l'élévation intérieure. Le nombre de rectangles d'or de la nef et du chœur *en élévation* (non reproduite) est égal à 15 (trois largeurs sur la hauteur, cinq longueurs de rectangle sur la longueur de l'édifice). La largeur de la nef est le double de celle des bas-côtés, selon la règle générale, qui s'applique aussi aux cathédrales.

Vitruve définit le nombre d'or comme le rapport ou la proportion entre deux grandeurs a et b tel qu'il y ait de la grande partie a à la petite b le même rapport que du tout à la grande partie. On dit que le segment de droite considéré est coupé en extrême et moyenne raison.

On traduit donc ainsi la définition :

$$a/b = (a + b)/a \quad \text{ou, en utilisant la variable } a/b = x,$$

$$x = 1 + 1/x, \text{ soit encore } x^2 - x - 1 = 0$$

Cette équation a deux racines, $\frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ et $\frac{1 - \sqrt{5}}{2}$.

$$\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad \frac{1 - \sqrt{5}}{2}$$

La racine positive est le nombre d'or ϕ , dont une propriété s'exprime ainsi : $\phi^2 = \phi + 1$.

Une autre propriété provient de la suite de Fibonacci $u_n = u_{n-1} + u_{n-2}$: on démontre que u_n / u_{n-1} tend (et rapidement) vers ϕ lorsque n tend vers l'infini.

Le nombre d'or est représenté de multiples façons dans le pentagone régulier muni de ses cinq diagonales, qui délimitent une étoile à cinq branches identiques, les angles étant de 36° ($\pi/5$), 72° ($2\pi/5$) et 108° ($3\pi/5$). Démontrons donc que le rapport entre les diagonales et les côtés est de φ , en utilisant la valeur du cosinus de $\pi/5$.

On forme l'équation trigonométrique en se servant des propriétés des angles doubles, supplémentaires et de la formule de l'addition des angles pour le sinus.

Posons $x = \cos \pi/5$ et $y = \sin \pi/5$.

Il vient $\sin 2\pi/5 = 2xy$ et $\cos 2\pi/5 = 2x^2 - 1$.

$2xy = \sin 2\pi/5 = \sin 3\pi/5 = \sin(2\pi/5 + \pi/5) = \sin 2\pi/5 \cos \pi/5 + \sin \pi/5 \cos 2\pi/5$
 $= 2xyx + y(2x^2 - 1)$ ou

$2xy = 4x^2y - y$ ou encore, y n'étant pas nul, $4x^2 - 2x - 1 = 0$

C'est l'équation du nombre d'or multiplié par deux. Donc la racine positive, ou $\cos \pi/5$, vaut la moitié du nombre d'or, soit $(1 + \sqrt{5})/4$.

Les angles au sommet et les diagonales adjacentes déterminent cinq triangles isocèles dont le troisième côté est un des côtés du pentagone, les autres étant des rayons du cercle circonscrit.

Soient AD et AB les grands côtés de l'un de ces triangles et DB le troisième côté. Il vient :

$$DB^2 = AD^2 + AB^2 - 2AD \times AB \cos \pi/5 = 2AD^2 \times (1 - \cos \pi/5)$$

$$DB^2/AD^2 = (3 - \sqrt{5})/2$$

$$AD^2/DB^2 = 2/(3 - \sqrt{5}) = (3 + \sqrt{5})/2 = 1 + \varphi = \varphi^2$$

D'où $AD/DB = \varphi$.

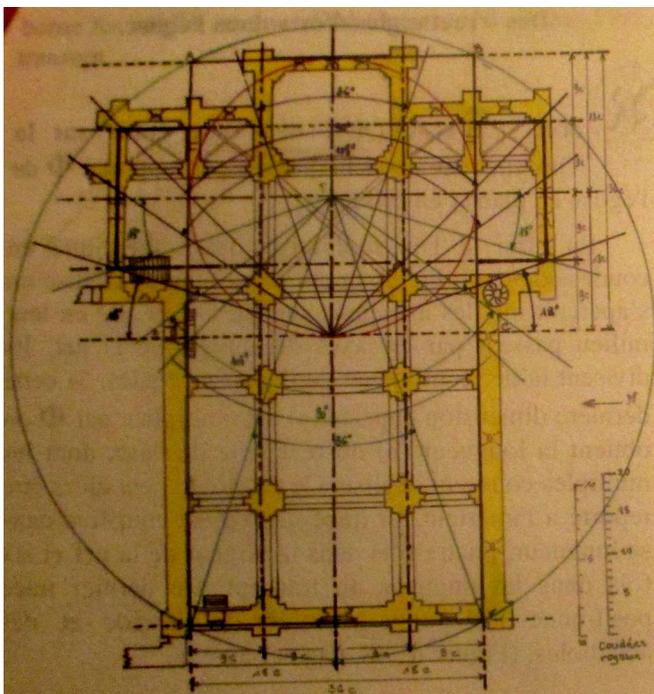


Fig. 47 Autres traces d'angles régulateurs en plan de l'église
 © J. GUYOU

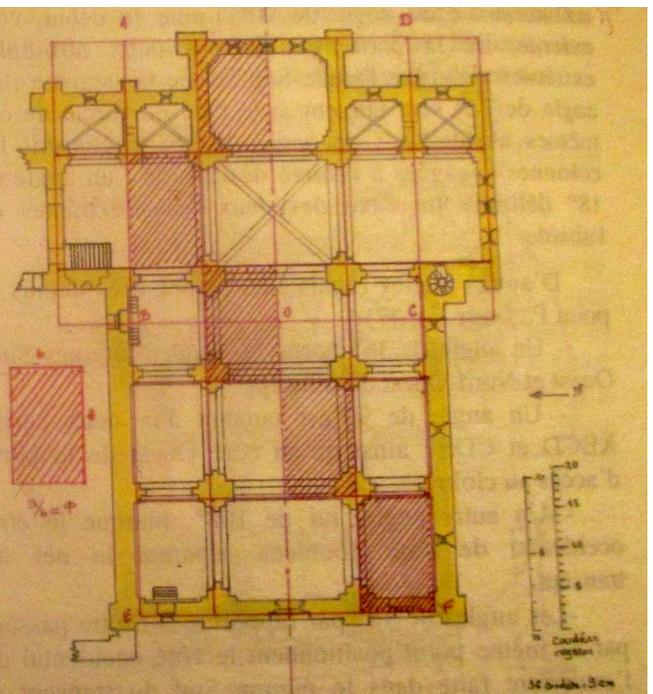
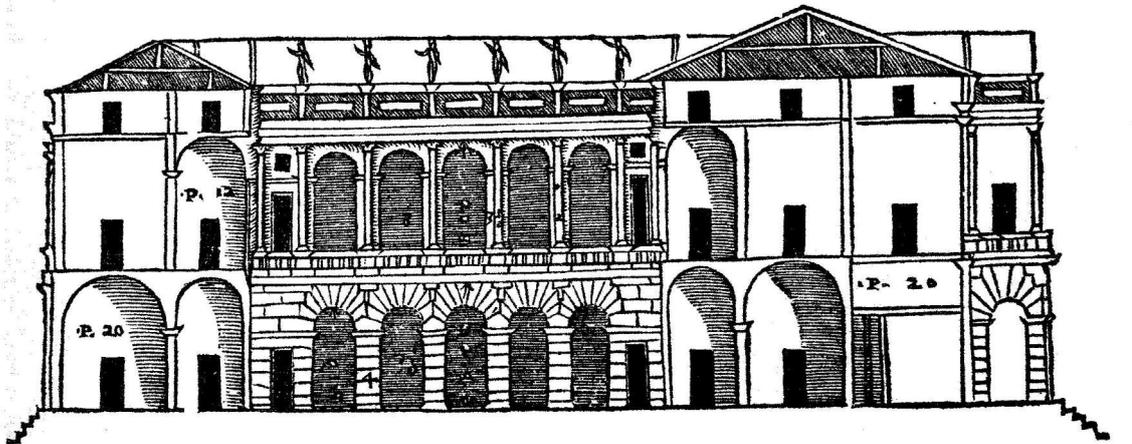
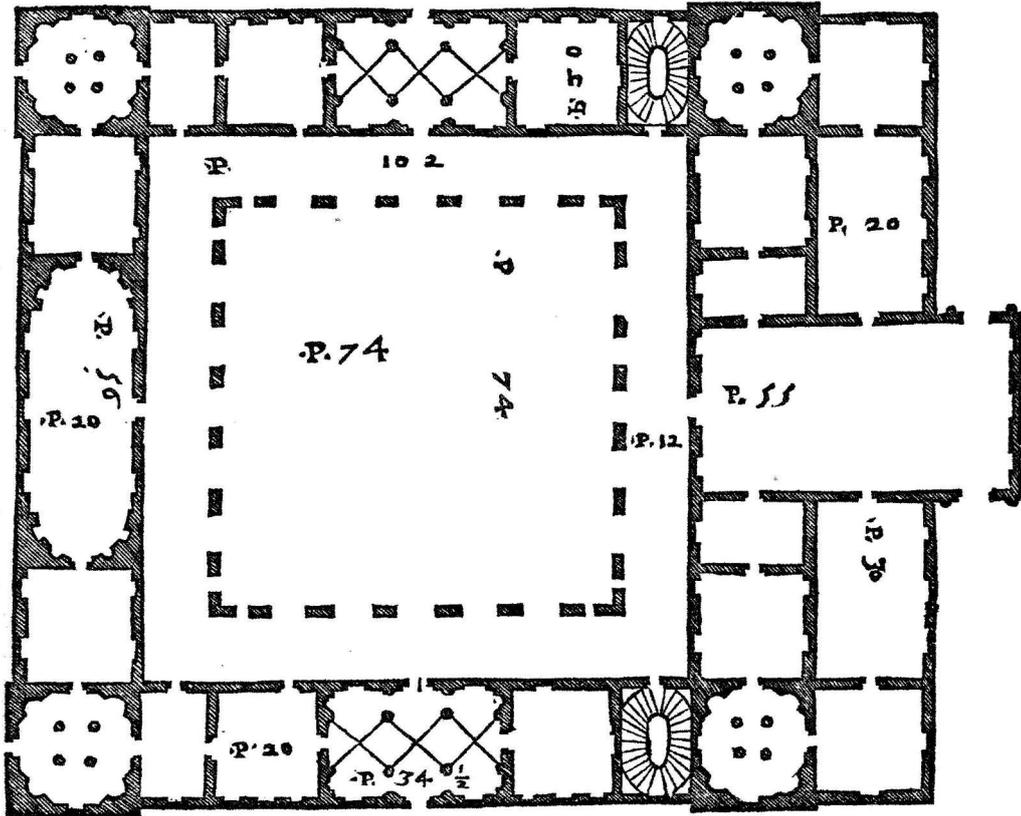
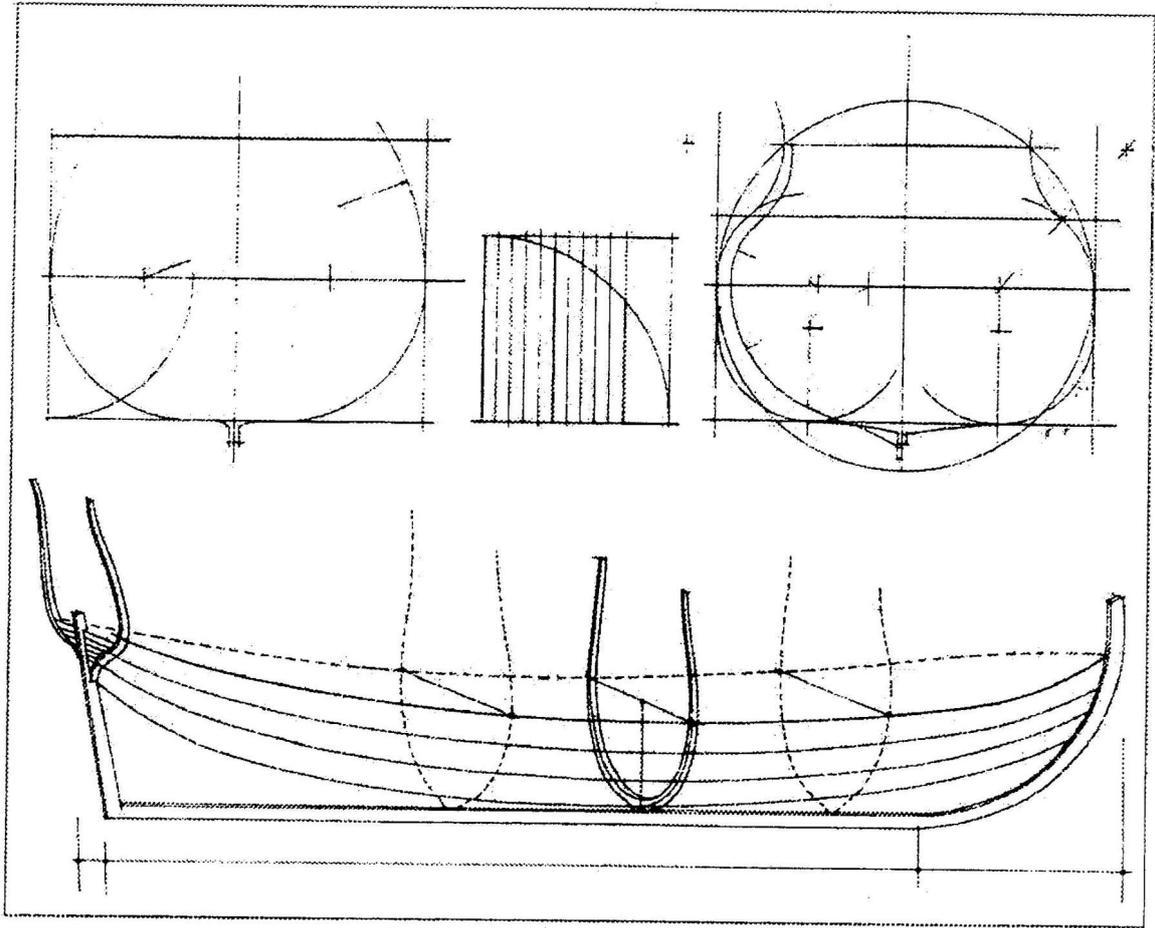


Fig. 48 Tracé des rectangles d'or en plan dans l'église
 © J. GUYOU

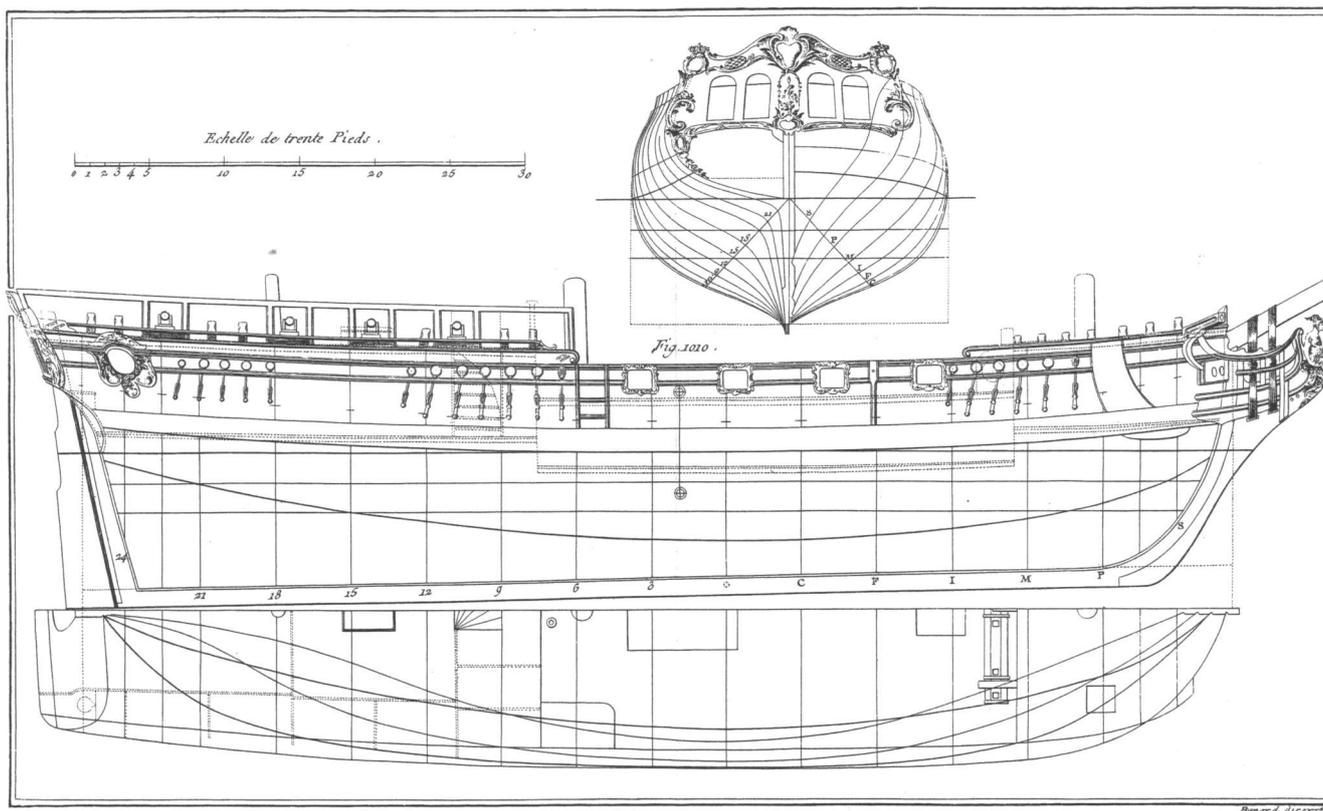
Le palais Thiene à Vicence : plan, coupe et élévation, par Andrea Palladio
(*Les quatre livres de l'architecture*, 1570).





Croquis de deux maîtres-couples et d'une coque au début de sa construction,
par Jean Boudriot, d'après l'*Hydrographie* du père Fournier (1643).

Sur le croquis de la coque, l'on distingue, *en place*, la quille, l'étrave, l'étambot, l'estain, le maître-couple (parties de la coque se composant chacune de plusieurs pièces assemblées) ainsi que quatre lisses ou règles souples à clouer de chaque côté sur les couples en place, sur l'étrave et sur l'estain ; *en pointillés*, les deux couples de balancement. Les mesures des couples vers les extrémités sont prises d'après les lisses, puis ces couples sont tracés et mis en place ; il en est de même, dans un premier temps, des couples situés entre les couples de balancement, qui sont ensuite « réduits » par rapport aux dimensions du maître-couple. Les croquis des maîtres-couples montrent que leur forme se compose d'une suite d'arcs de cercle. Voir Jean Boudriot, « La conception des vaisseaux royaux sous l'Ancien Régime », dans *Neptunia*, n° 169, décembre 1987, p. 9 à 24.



Plan d'un paquebot, d'après l'*Architectura navalis mercatoria* de Chapman (1768), reproduit par Vial du Clairbois dans l'*Encyclopédie méthodique*, dictionnaire de marine (1783-1789).

Le plan est dessiné « en différence » comme dans le traité de Duhamel : l'horizontale de la vue en élévation correspond à la différence de tirant d'eau, la quille épouse la pente ascendante correspondante depuis l'étambot jusqu'à l'étrave, suivant sa position normale en mer. Par suite, les lignes d'eau ne sont pas parallèles à la quille. Les couples de levée, repérés par des lettres à l'avant et des chiffres à l'arrière, ne sont pas non plus perpendiculaires à la quille, et cette première façon de représenter le vaisseau se remarque encore sur la partie inférieure du vertical. Par la suite on a représenté la quille à l'horizontale. Sur les trois vues, l'on voit ou l'on devine trois lignes d'eau et trois lisses. Les lisses représentées doivent être la lisse des façons, une lisse intermédiaire assimilée à la première préceinte (elle est tangente à la ligne d'eau supérieure), la lisse du fort (la plus large dans la vue horizontale, partie haute de la première préceinte sur l'élévation) ; on devine la lisse de plat-bord (la plus haute) sur le vertical. La première se voit bien sur le vertical et sur l'élévation. La projection des deux lisses supérieures sur le vertical n'est pas un segment de droite, d'ailleurs les lisses basses sont représentées ainsi par approximation seulement. Le plan horizontal permet de distinguer à gauche et de bas en haut, d'abord les deux lisses supérieures, qui sont les plus longues, puis la ligne d'eau supérieure, la lisse des façons (la plus basse, prise à l'extrémité des varangues) et les deux autres lignes d'eau. Le point inférieur marqué à l'arrière du maître-couple sur l'élévation indique la position du centre de gravité de carène, le point supérieur le métacentre.

L'échelle de chaque plan de l'*Architectura navalis mercatoria* est jointe au plan et varie selon la taille du navire représenté, de façon à mieux remplir les feuilles d'impression. Celles-ci mesurent 53 x 74 cm dans l'édition originale et doivent être montées sur onglets lors de la reliure. La frégate représentée sur la 1^{re} planche, la plus longue de l'atlas, mesure 150 pieds-de-roi (de France), soit 48,72 m et 61,5 cm sur le plan. L'échelle est donc 1/80 environ. Les reproductions modernes de l'atlas réduisent beaucoup la surface des feuilles d'origine, tout en conservant les échelles, parce qu'elles sont dessinées avec les plans. C'est sous la forme d'un ensemble de 62 planches, avec deux planches formant frontispice et une courte légende à part, que cet atlas a été vendu sur souscription. L'auteur devait joindre un volume in-4° de texte afin de donner les dimensions des coques représentées et de leurs mâtures, ainsi que le calcul des plans. Les souscripteurs ont dû attendre sept ans pour jouir du supplément baptisé *Traktat* et qui n'est pas un traité à proprement parler ni un simple commentaire de l'atlas.

Avis des deux censeurs de cet article, qui a été proposé aux JHMO de 2014.

Ne sutor supra crepidam.

1^{er} examinateur

« L'avis défavorable est émis pour quatre raisons.

1. Sur l'originalité de la communication, cette synthèse qui s'appuie sur la thèse de l'auteur (non publiée) ne présente rien de nouveau sur un sujet qui a fait l'objet de publications et de recherches fouillées depuis près de 25 ans. La dimension comparative à l'échelle européenne mériterait d'être traitée. D'un point de vue formel, la construction du développement donne à lire une succession de petits récits qui ne s'emboîtent pas toujours avec cohérence. La problématique n'est pas simple à comprendre, s'agit-il de décrire l'évolution de la construction navale en France ou celle de la formation des constructeurs de la Marine devenus ingénieurs au XVIII^e siècle ? Certains termes mériteraient d'être définis et utilisés dans le sens qu'on leur accordait aux XVII^e et XVIII^e siècles. Et d'ailleurs, le titre d'« ancienne marine à voiles » est très discutable, le qualificatif d'ancien associé à l'innovation est en soi un jugement anachronique sans valeur historique.

2. D'un point de vue épistémologique et méthodologique, la définition et la contextualisation de l'objet d'étude ne sont pas explicites et ne prennent pas en compte les travaux récents et moins récents des historiens des techniques (Hélène Vérin, notamment) et leurs réflexions sur l'histoire du projet, de la réduction, de la normalisation et de l'innovation. Également, l'histoire des sciences n'est pas suffisamment mobilisée (travaux de Jean Dhombres par exemple) sur les calculs de stabilité (le métacentre, Bouguer, Euler, Bernoulli), l'implication et les formes d'expertise dévolues à l'Académie royale des sciences et la théorisation très incomplète du navire (hydrodynamique) à la fin du XVIII^e siècle.

3. La question de la normalisation n'est pas vraiment posée et la filiation entre architecture terrestre et navale n'est pas admise par les spécialistes. Sur les pratiques des ingénieurs, il convient de s'interroger sur la persistance de la construction non graphique et de la modularité du calcul des dimensions des navires de guerre (gréement oublié). Le plan de carène et ses belles lignes n'est pas tout, le système d'armes et le système propulsif évoluent eux aussi. Étonnamment, une rapide mention est faite seulement dans la conclusion de la critique du plan-type par les ingénieurs, réduits au simple rôle d'exécutants, à la veille de la Révolution française, et qui sera à l'origine de la sclérose qualitative de l'instrument naval sous l'Empire. Peut-on vraiment croire que le plan-type avait pour vocation de faire cesser le désordre ? Et de quel désordre s'agit-il ?

4. Des omissions bibliographiques difficilement explicables ne rendent pas justice à la collégialité des travaux des historiens et archéologues maritimes, certains auteurs de référence ne sont jamais cités (par exemple Éric Rieth et Martine Acerra). L'on peut aussi relever des imprécisions, page 15, au sujet de la liberté laissée aux ingénieurs pour les petits bâtiments : en réalité, il y a eu des dimensions et des plans fixés pour les bricks de guerre, les lougres et les cotres, et les goélettes (voir les travaux de Jean Boudriot). Enfin, il n'est pas toujours possible de valider les informations en l'absence des références précises sur les sources utilisées par l'auteur, notamment les sources archivistiques. »

2^e examinateur

« Les réserves de l'expertise portent à la fois sur le fond et sur la forme.

Si la notion d'innovation peut être retenue concernant le thème proposé, l'argumentation de l'auteur sur la filiation entre architecture terrestre et architecture navale reste artificielle et non prouvée. On touche à ce propos aux deux principaux regrets à formuler sur la proposition.

Le premier concerne son imprécision, faute de référencements efficaces. Le texte est émaillé de citations non référencées (p. 3, 8, 9 par exemple) ou, à l'inverse, d'informations livrées sans origine documentaire précise (comme par exemple l'existence pour le XVII^e siècle de « *devis de campagne des capitaines* » citée p. 6, alors que les seuls conservés dans les archives datent du milieu du siècle suivant ; ou encore tout le passage sur le statut des constructeurs, qui renvoie certes mais uniquement à la thèse de l'auteur soutenue en 2005 mais non publiée, donc aux références d'archives inaccessibles). Par ailleurs, le proposant recourt, dans une succession de paragraphes plus ou moins denses, à la compilation/résumé de travaux existants et souvent anciens pour dérouler son argumentation. S'il est nécessaire de conceptualiser un sujet et de dresser son état historiographique, ce n'est pas là, à notre avis, l'exercice attendu et suffisant pour une communication à colloque.

Même s'il faut savoir gré à l'auteur de citer avec beaucoup d'honnêteté des ouvrages essentiels pour la question — tels ceux de Jean Boudriot — il est surprenant de ne pas voir apparaître les travaux d'Éric Rieth (sur l'usage du gabarit par exemple, ce qui éviterait des erreurs au proposant) ou ceux de Michel Daefler (thèse publiée en 2004 : *Formes de carène et navires de combat. L'invention du vaisseau de ligne en Angleterre, 1560-1642*, dont le dossier iconographique de plans eût été fort utile au proposant) sur l'art de la construction navale, plutôt que ceux de Brian Lavery datant de 1981. Sur cet aspect bibliographique, les exemples abondent d'une actualisation curieusement incomplète de la recherche.

Par ailleurs, faute probablement de connaissance suffisante de la société d'Ancien Régime et de ses structures spécifiques, certains vocables sont employés à contresens, ce qui provoque des raccourcis erronés (avant les dernières années du règne de Louis XIV, un maître-charpentier entretenu ne peut, en aucun cas, être qualifié de « constructeur », même si l'auteur revendique d'user sciemment de l'anachronisme, et encore moins d'officier, dont la définition d'époque est très précise et limitative). Ainsi les nombreux amalgames commis, faute de précision sémantique, provoquent la réserve du lecteur sur les résultats avancés. Certes, la longue mise en place des plans-types avec leur cortège de calculs savants hérités des sciences spéculatives, marque une des étapes — car elle n'est pas la seule — de l'innovation dans le domaine de l'architecture navale en bois et à voile, mais elle a déjà été étudiée à plusieurs reprises, et la présente proposition, telle qu'elle est rédigée, n'apporte pas de nouveauté sur la question.

En termes de présentation formelle, la recherche de densité informative dans certains paragraphes (par exemple, l'introduction à la sous-partie sur la construction navale traditionnelle sans plan, p. 6) provoque, comme nous l'avons déjà indiqué, des amalgames prêtant à confusion. Le lecteur peut aussi s'interroger sur la nécessité de certains développements ou sur la cohérence dans l'enchaînement des thèmes qui apparentent la démonstration à une simple succession d'items. Ces maladresses de forme proviennent à n'en pas douter du souci de l'auteur à offrir un panorama foisonnant de la question qu'il étudie. Au risque de noyer le lecteur, malgré une écriture qui, elle, demeure sans complexité. Pour ce qui est des plans de vaisseaux proposés à la publication, le recours, par exemple, aux richesses manuscrites et originales de la série L conservée aux archives du S.H.D. à Toulon, semble indiqué.

Réponse de l'auteur-« proposant »

À lire les observations des examinateurs de mon travail, on a l'impression que je l'ai composé en vue d'un congrès de professeurs de mécanique ou d'historiens de cette science. J'ai cherché au contraire à intéresser les professeurs de comptabilité et de gestion conviés aux 19^{es} Journées d'histoire du management et des organisations, dont le thème était l'innovation, en donnant une idée de deux innovations faciles à saisir, sans entrer dans des détails que personne n'aurait compris. Si je suivais mes censeurs, je me perdrais dans la théorie du métacentre, l'hydrodynamique navale, l'armement maritime des vaisseaux ou les œuvres de M. Dhombres.

L'innovation est une découverte ou une invention due à un ou des innovateurs, dont ils tirent parti dans une application technique ou économique : j'ai surtout développé les progrès des constructeurs de la Marine confrontés à des innovations dont ils n'étaient pas les auteurs. Longtemps praticiens habitués à l'empirisme, ils ont dû suivre la méthode déductive imposée peu à peu par les savants, et ils l'ont suivie de mauvais gré, y compris les élèves des premières promotions de l'École polytechnique. Il a fallu attendre l'application de la machine à vapeur à la marine, qui a intéressé tout de suite les ingénieurs assez jeunes, pour vaincre la routine et assurer le règne de la théorie dans la conception des navires, y compris celle des coques devenues métalliques.

L'ancienne marine s'oppose dans mon esprit à la navigation de plaisance actuelle, mais non à la construction. Les architectes de la plaisance sont complètement séparés de ceux qui sont chargés des bâtiments de guerre ou de commerce, et ils ont des soucis techniques communs avec ceux dont je parle.

Mes deux examinateurs ont lu à contresens que j'avais tracé des liens de filiation entre l'architecture terrestre et l'architecture navale. Il n'en est naturellement rien : j'ai dit que Deane avait utilisé le premier le plan des architectes en trois vues, dessiné avec les instruments et coté, et je n'ai lu le contraire dans aucun ouvrage sérieux. L'obligation du plan ne concerne que la carène, le constructeur chargé donnant seulement au maître-mâture du port des indications sur la mâture associée, jusqu'à la Révolution. Cette faute de lecture n'est pas la seule, et j'ai eu l'impression que l'on cherchait à plaquer des reproches préfabriqués sur des passages de mon texte pris arbitrairement, afin de le rejeter.

Le plan-type des vaisseaux était indispensable pour remédier au désordre dans les constructions et donc dans la marche des escadres. Colbert le voulait, il a fallu un siècle de résistance pour l'obtenir. On a laissé, au moins sous le règne de Louis XVI, une certaine liberté aux ingénieurs chargés de la construction des frégates, afin de ne pas éteindre l'esprit d'innovation. Rappelons que l'hydrodynamique

navale est encore une science très inexacte. Le 1^{er} examinateur a peut-être eu en vue des bâtiments commandés par la Marine à des chantiers privés : le plan est normalement compris dans le cahier des charges, au-delà des prototypes. Il est vrai qu'il doute de l'utilité de l'uniformisation des coques : à ce compte-là, ma démonstration est vaine. La marine matérielle est bonne sous l'empire français, tant qu'elle est entretenue. La différence vient des hommes, pour le nombre et pour l'état d'esprit : elle suffit à expliquer la victoire de l'Angleterre sur mer depuis la guerre de 1744. Après 1814, les constructions neuves ont été fort ralenties, et pourtant les types de 1782-1788 ont été remplacés par d'autres types, peut-être moins réussis. Encore une fois, la construction des machines a capté l'attention du corps du Génie maritime avec le succès que l'on sait.

Le 2^e examinateur ne veut pas ou ne peut pas voir dans les maîtres-charpentiers entretenus, les constructeurs et même dans les ingénieurs, des officiers du Roi : ils le sont pourtant comme tous les entretenus de la Marine, civils et militaires, et la pratique de l'ordonnance du 15 avril 1689 suffit à montrer qu'il a tort (je l'ai transcrite en partie, et Mme Legay a mis les fragments à la disposition du public sur internet). Je lis déjà dans les brevets de 1670, dont les modèles ont été recopiés dans A.N. Marine B² 444, que « le Roi, voulant pourvoir *aux fonctions des officiers de marine* servant actuellement dans ses ports, et sachant que N..., *charpentier* des vaisseaux, s'est acquis par son application », etc., et que les « vice-amiraux, lieutenants généraux, intendants et commissaires généraux et autres officiers de marine qu'il appartiendra de reconnaître et faire reconnaître ledit... en ladite qualité de maître-charpentier de ses vaisseaux et obéir et entendre ès choses touchant et concernant ladite charge ». La formule exécutoire est la même pour les maîtres d'équipage entretenus, des officiers-mariniers qui ne sont pas encore parés du titre d'officier du Roi dans leur brevet. Les titres ont été refaits parce que tout le personnel de la Marine est passé sous l'autorité du Roi après la mort de l'amiral-duc de Beaufort. D'autre part, mon 2^e examinateur confond le grade et la fonction, qui ont toujours été séparés : j'utilise par commodité le terme générique de constructeur pour qualifier une fonction, et maître-charpentier entretenu est un grade.

Dans la Marine, tous les agents entretenus, civils et militaires, sont des officiers du Roi porteurs d'un brevet, d'une commission ou même (cas des officiers généraux) de lettres de provision. Un *entretenu* (terme qui était encore en vigueur naguère) est un agent *permanent*, payé toute l'année. Les autres agents de la Marine sont temporaires ou n'ont pas le titre d'officier : ce sont les ouvriers des ports, dont une partie jouit de fait de la stabilité de l'emploi, et les gens de mer des Classes appelés à servir momentanément à la mer ou dans le port. La plupart des commis des bureaux du ministre ne sont pas des officiers, mais ils peuvent obtenir un grade de la Plume pour services rendus, ce qui augmente leurs appointements et leur donne surtout la sécurité de l'emploi, lorsqu'ils cessent de plaire à la Cour et que le ministre les envoie poursuivre leurs services ailleurs.

J'ai aussi démontré que la fonction publique sous l'Ancien Régime se composait de ces agents entretenus, qui existaient dans toutes les administrations de l'État, et des officiers titulaires (« vénaux »), y compris ceux de l'Armée et de la maison du Roi dont le régime était mixte. Chacune de ces deux catégories d'officiers avait son statut général et chaque subdivision, c'est-à-dire chaque corps, son statut particulier *écrit* ou *coutumier*. Ce n'est pas dans les livres d'un Roland Mousnier que l'on trouvera cette vérité : en dépit de travaux importants et utiles sur les officiers titulaires qui lui permettaient de voir clair facilement, il a prétendu qu'il n'y avait pas de fonctionnaires (nouveau nom des officiers datant de la Révolution) sous l'Ancien Régime, sauf peut-être les ingénieurs des Ponts et Chaussées. Je ne pense pas qu'il ait commis pareille bévue : il a *menti* pour se conformer au catéchisme officiel. Il a dû avaler d'autres couleuvres. Il faudra donc encore des siècles pour que la vérité soit admise ici. Je me suis demandé si je ne devais pas la garder pour moi, comme Brunelleschi avait fait de ses plans.

Il reste à placer les universitaires français actuels. J'ai beaucoup lu depuis 1988, et j'avoue que j'ai plutôt suivi des auteurs français anciens et des auteurs anglo-américains modernes ; certains de ces derniers sont très forts et méritent vraiment confiance. J'ai cité au début des écrivains qui ne m'en inspiraient guère et j'ai perdu du temps à revenir en arrière, après avoir reconnu que je m'étais trompé. Je remarque qu'il y a un siècle, les auteurs, tous docteurs ès lettres ou docteurs en droit, étaient bien moins nombreux et que leurs principaux ouvrages restent des références, au prix de certaines rectifications. Un ancien professeur m'a dit qu'un jour les historiens anglo-américains écriraient tout seuls l'histoire de la France au XVIII^e siècle.

La seule présentation des deux rapports (je n'en ai pas d'autres pour mes articles), et que l'on retrouve dans la prose courante, est déjà inquiétante pour l'avenir de la science française, dans la mesure où la langue y est attaquée. Du reste le galimatias en usage dans les sciences humaines ne peut cacher le manque de talent à tous les regards. L'université française n'a pas non plus le monopole de la production imprimée en histoire, et le lecteur peut toujours se tourner vers l'édition étrangère.