

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 107 (1981)
Heft: 11

Artikel: Techniques navales et histoire
Autor: Mollat, Michel
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Techniques navales et histoire

par Michel Mollat, Paris

La destinée de la Suisse est apparemment continentale, du moins jusqu'à l'avènement des liaisons aériennes à longue distance. Pourtant, située à la croisée des voies terrestres européennes, la Suisse a participé à tous les échanges qui ont conduit à l'émergence de l'Europe sur le plan mondial. Sans être lui-même une puissance maritime, notre pays a été partie prenante, et bénéficiaire à un haut degré, de la découverte du monde aux quatre coins des mers.

A un moment où, grâce à la modestie de ses besoins en énergie, la navigation maritime connaît un regain de faveur — on parle même de la renaissance de la voile dans le domaine marchand — nos lecteurs trouveront certainement un grand intérêt à revivre les étapes d'une technique qui a nourri tant de rêves, contribué à l'édification de tant de fortunes et coûté tant de vies humaines. Navigare necesse est, comme cette maxime est restée actuelle!

L'article qui suit est basé sur un exposé présenté par son auteur à l'occasion du 125^e anniversaire de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, l'an dernier.

Rédaction

transport des armées, la guerre sur mer, n'exigent évidemment pas, et à toute époque, ni les mêmes bateaux, ni la même manière de les conduire: vaisseaux rapides et bons manœuvriers, gros porteurs de troupes et de ravitaillement, navires pourvus d'une certaine puissance offensive. Là encore, les circonstances historiques ont imposé leurs exigences à la technologie navale, en fonction des formes d'organisation des Etats et de leurs desseins politiques. En résumé, selon l'usage qu'on en fait, les types de navire sont tributaires des deux principes de rentabilité ou d'efficacité, isolément ou simultanément.

D'autre part, la diversité technologique de la navigation ne dépend pas seulement des seules circonstances historiques, d'intensité variable, quelles soient économiques ou militaires. Il faut tenir compte aussi, même sans les développer longuement, des conditions hydrologiques (mers à marée ou sans marée), orographiques (côtes à rias profondes ou rivages plats et hauts fonds), climatiques (mers à typhons, mers chaudes où la corrosion accentue la fréquence des carénages), astronomiques (ciels généralement clairs ou brumeux). On ne navigue pas partout indifféremment avec les mêmes navires, ni de la même manière. Néanmoins, quelle que soit la nature des missions, certaines nécessités techniques fondamentales se sont imposées, et s'imposent encore, à tous les navires et à tout l'art nautique. Ainsi, tout navire doit répondre à trois exigences: la sécurité, la capacité, la vitesse; la priorité peut être accordée à l'une ou à l'autre selon la fonction du bâtiment, sans négliger les autres. Pourtant, ces trois exigences peuvent être contradictoires; par exemple, la capacité, c'est-à-dire la possibilité de chargement, peut s'opposer à la vitesse; et les deux peuvent, de manière différente, compromettre la sécurité. L'histoire apporte, de ces contradictions et des avatars des solutions adoptées pour les résoudre, des exemples ruineux, désastreux ou tragiques: le naufrage du *Wasa* en 1628, dans la rade de Stockholm, est le cas ironique d'un navire sombrant à sa première sortie, parce qu'il était trop chargé dans les hauts. Mais l'histoire atteste aussi que la solution est toujours le résultat d'un compromis, réalisé empiriquement sous l'effet de l'expérience, ou scientifiquement par la vertu d'un calcul. Alors, intervient un autre facteur historique, et non le moindre, c'est le degré d'évolution technologique d'une société donnée. L'apparition du voilier moderne à la fin du Moyen Age occidental en fournira un exemple significatif.

D'ailleurs, les formes du navire, résultant de modes de construction définis, ne sont pas seules en cause. Si elles conditionnent principalement la capacité, la vitesse et la sécurité, ces deux dernières dépendent d'autres aspects de

Aucune branche des sciences historiques ne peut se développer seule, sans le concours d'autres disciplines, car l'intelligence du passé constitue un tout. Pour illustrer la corrélation de l'histoire, en son sens large, avec l'évolution des techniques, les techniques navales offrent, sans doute, un secteur particulièrement favorable. Moyen de transport universel depuis des temps immémoriaux, le navire, et avec lui l'art de la navigation, ont évolué lentement, en obéissant à des conditions analogues, sinon semblables, de par le monde. Mais puisqu'il convient d'être concret et précis, faute de pouvoir tout dire, nous proposons de porter notre réflexion sur la période médiévale. A travers elle, pendant un millénaire et demi au moins, l'héritage antique — ou plutôt les héritages antiques — se sont modifiés jusqu'à engendrer le type du navire moderne, sous l'influence de circonstances historiques changeantes. D'ailleurs, même l'évolution ultérieure, jusqu'à la fin de la navigation à voile, c'est-à-dire à une époque proche de la nôtre, s'est poursuivie en des directions et selon des principes acquis antérieurement.

Au risque de la banalité, il ne paraît pas superflu de rappeler quelques évidences. D'abord, une invention apparaît lorsque le besoin s'en fait sentir. La fonction crée l'organe. D'autre part, un instrument ou un procédé technique peuvent s'altérer et disparaître, au moins momentanément, sans qu'il y ait eu régression technologique. Pour la même raison, c'est-à-dire pour répondre à des besoins semblables, il faut admettre la possibilité d'invention de mêmes procédés et de mêmes instruments techniques en des milieux éloignés les uns des autres, sans communication réciproque; la recherche des filiations peut être, ainsi, en beaucoup de cas, un faux problème et une recherche vaine. Dans le

domaine qui nous occupe, c'est ce que l'on pourrait dire par exemple de l'invention du gouvernail axial et, peut-être, de la voile triangulaire dite «latine».

La notion de fonction demandée à un instrument technique conduit à une autre constatation, de bon sens. Le navire, défini comme un moyen de transport d'un point à un autre, peut être appelé à diverses missions dont la nature réagit inmanquablement sur la structure du bâtiment et la manière de le conduire. Un bateau reçoit les formes et l'appareillage correspondant à l'usage que l'homme veut en faire, à la durée du service demandé et à son extension dans l'espace marin. La pêche côtière ou hauturière n'a pas besoin des mêmes bâtiments que le cabotage, le transport de passagers, le commerce lointain. Pour les transports de masses lourdes et encombrantes, exigeant un arrimage de cale (grains, liquides, minéraux) ou de pont (bois) les aménagements sont différents de la disposition des cargaisons légères et diverses; le centre de gravité n'est pas le même. Les cargaisons de denrées périssables ou de produits de faible volume, mais de forte valeur, demandent une rotation rapide des bâtiments, donc des formes plus manœuvrières, aptes à la vitesse, une forme motrice plus ardente et une conduite plus souple. Le fret dicte les choix entre les types de navires. Qui ne verrait déjà, en ces considérations, l'influence de facteurs économiques, dont l'influence varie à la fois dans l'espace et dans le temps, donc sur le champ de l'histoire? Il faut en dire autant, en adjoignant et en superposant les facteurs politiques aux incidences économiques, quand on considère la troisième mission du navire: après la pêche et la fonction commerciale, le rôle militaire. La protection des côtes, la surveillance maritime, le

la technique navale. Celle-ci ne se borne pas à déterminer avec quoi on navigue, mais doit répondre à des questions très simples: comment propulse-t-on le navire? comment le gouverne-t-on? où se trouve-t-on en mer? où va-t-on? à quel rythme? Force motrice (bras des rameurs ou force de vent), formes du gouvernail, détermination de la position et de la route, calcul de la vitesse: de l'interférence de ces problèmes techniques avec l'histoire, l'évolution du navire médiéval occidental apporte des témoignages saisissants.

Bateaux longs, bateaux ronds, du Nord ou Midi, le cours de leur évolution avait été, peut-être, schématisé par Guilleux La Roërie qui privilégiait le bâtiment nordique du haut Moyen Age d'une paternité exclusive. On n'aboutit pas moins, à la veille des Grandes Découvertes, à un même aspect général du navire dans les mers européennes. Ne peut-on pas songer d'entrée de jeu, à l'influence de la rencontre des marines méditerranéennes et atlantiques: remontée des Génois et des Vénitiens jusqu'à Bruges à la fin du XIII^e siècle, descente des «Atlantiques» vers la Mer Intérieure, timidement au XIV^e siècle puis «en rangs serrés» (F. Braudel) fin XV^e-début XVI^e siècles? Dans l'intervalle entre ces deux zones maritimes, les marins du golfe de Gascogne, les «Biscayens» selon un terme générique, ont joué un rôle intermédiaire considérable sur lequel il faudra insister.

L'obligation de la brièveté conduit à choisir des exemples dans le domaine où la recherche la plus récente a obtenu des résultats nouveaux. Les navires antiques méditerranéens ont, sans doute, encore des secrets à révéler, mais ils sont déjà relativement bien connus et l'importance historique de leur technique, des Phéniciens jusqu'à la fin de l'empire romain, n'est plus à démontrer. En revanche, les recherches de l'archéologie navale, au cours des dernières décennies, en Europe du nord-ouest, ont fait progresser considérablement la connaissance des navires les plus anciens connus en ce secteur (fig. 1). Aux fouilles et à l'étude des documents graphiques subsistants (miniatures, sculp-

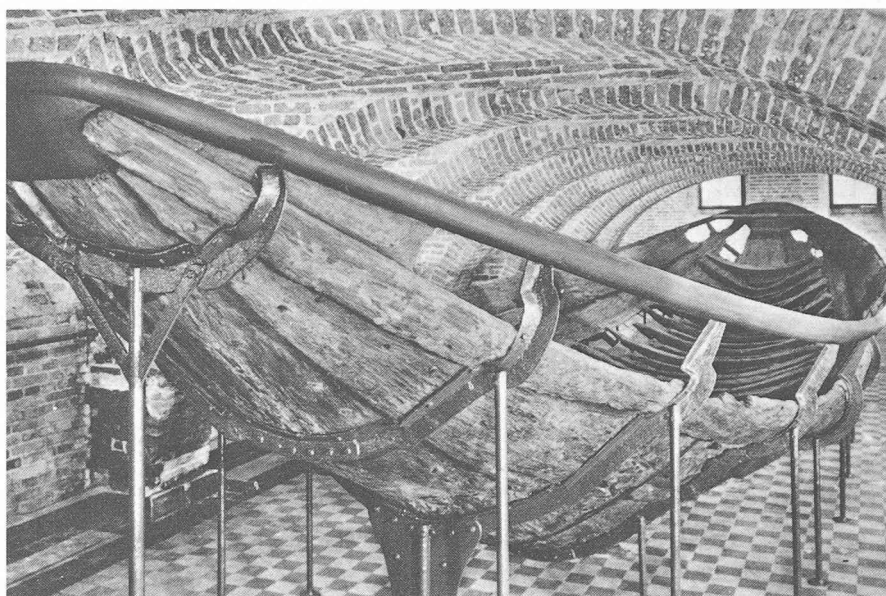


Fig. 2. — Epave d'Utrecht (fin du VIII^e siècle; Musée d'Utrecht). Extérieur de la coque monoxyle surélevée.

tures, sceaux, graffiti) s'est jointe la méthode expérimentale d'essais à la mer de bateaux restitués d'après les modèles archéologiques. Sans entrer dans les détails, comment expliquer, sinon par l'histoire, aidée de l'ethnologie, les transformations, ici comme ailleurs dans le monde, de la pirogue monoxyle originelle? Sa surélévation, à l'aide d'éléments rapportés aux flancs de la coque, l'intercalation d'autres éléments dans le sens transversal ou longitudinal ont eu pour objet une augmentation de la capacité. Le passage du fond plat, adapté aux rivières et aux chenaux côtiers de la mer du Nord, à la quille constituant une adaptation à la navigation maritime, entraîna d'autres conséquences et posa d'autres problèmes; la charpente axiale joue un rôle prédominant; les bordés se font plus élevés; les extrémités plus pincées. La sécurité cependant a ses droits. La pratique du bordage à clin, où les planches se recouvrent à la manière des tuiles ou des ardoises d'un toit tend à restituer la cohérence à la carène. La multiplicité des articulations exige des liaisons solides, par clouage, chevillage ou ligatures végétales; elles imposent le calfatage. Du moins la recherche de formes déliées

visée à compenser la perte de vitesse qu'un certain alourdissement de la carène aurait pu engendrer (fig. 2 et 3); ainsi l'histoire des peuples nordiques, au haut Moyen Age, offre beaucoup de témoignages de la rapidité de leurs bateaux; la fréquence de l'évocation des serpents dans leur désignation et dans les comparaisons littéraires est révélatrice de leur souplesse. C'est alors qu'interviendrait un autre élément: le mode de propulsion: rame, voile, rame et voile.

Peut-être sans gabarits, mais sachant par l'expérience comment choisir et traiter les bois, pourvus d'outils dont les épaves pourront révéler la nature et la qualité, les constructeurs frisons, scandinaves, slaves, anglosaxons et francs avaient adapté leurs techniques aux besoins commerciaux et guerriers du haut Moyen Age. L'archéologie et l'histoire concourent à montrer que leur héritage ne fut pas perdu. L'évolution des monoxyles surélevés et assemblés a fini par engendrer un bon navire, la cogge, dont on a retrouvé depuis 20 ans, sur les rives de la mer du Nord, quelques spécimens caractéristiques de la seconde moitié du XIV^e siècle. Leur structure intègre trois modes de construction: le clin (héritage

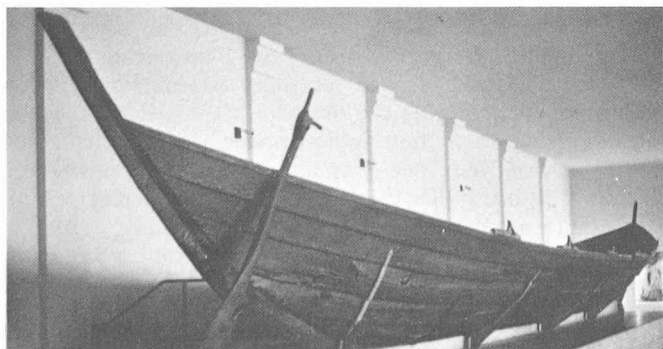


Fig. 1. — Poupe du bateau trouvé à Nydam (Musée de Schleswig). On remarquera l'aviron de gouverne à tribord.

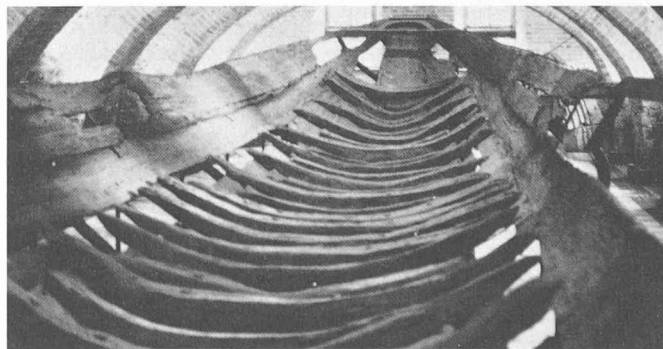


Fig. 3. — Epave d'Utrecht: structure intérieure laissant apparaître le découpage de la coque monoxyle en plusieurs parties et l'assemblage d'éléments découpés.

scandinave), le fond plat de l'Europe du nord-ouest, le franc-bord où les planches sont jointives bord à bord. Cette fusion des influences, la date de ces épaves ont presque valeur de symboles. Vers la fin du XIV^e siècle et le début du XV^e toutes les conditions paraissent réunies pour tirer le meilleur parti, alors possible, d'inventions techniques et de circonstances économiques dont l'origine remonte à un siècle plus tôt au moins.

L'accélération du commerce maritime s'accroît depuis la fin du XIII^e siècle. Après que les « nations » méditerranéennes eurent organisé de véritables lignes de trafic par Gibraltar vers le nord-ouest européen, la Hanse teutonique prenant son essor allongea ses relations jusque sur les côtes portugaises. Vers 1400 la navigation exigeait des navires plus nombreux, plus divers, gros porteurs et de bonne tenue à la mer. La pêche harenguière, concentrée jusqu'à présent à l'entrée de la Baltique, entre le Jutland et la côte suédoise, s'étend à la mer du Nord et gagne la Manche. L'importance des trafics de denrées pondéreuses en masses exige non seulement beaucoup de bâtiments, mais des vaisseaux de forte capacité. Le fait est européen. En Méditerranée, il faudrait rappeler les transports de blé, de sel, d'alun pour lesquels Venise et Gênes ont construit de grosses naves et de grandes carraques. Plus nouvelle fut l'organisation des flottes saisonnières de dizaines de gros navires hanséates effectuant l'échange du seigle et des bois du Nord de l'Europe contre le vin et surtout le sel de Bretagne, du Poitou, de l'Aunis et de la Saintonge. Un des effets des mutations économiques de la fin du Moyen Age et de l'accélération du commerce à longue distance fut de poser sur une grande échelle le problème des tonnages.

Une parenthèse sur la notion du tonnage est donc indispensable à l'intelligence des problèmes posés par l'évolution de la capacité des navires. Chacun sait qu'au Moyen Age, même en Italie, malgré l'avance technique de ce pays, on ne distinguait pas, avec la rigueur au moins apparente que nous connaissons, la jauge brute, c'est-à-dire le déplacement du navire en volume d'eau, le tonnage global du navire chargé, et le port en lourd c'est-à-dire la charge de marchandises que le navire pouvait recevoir. Dès le XIV^e siècle, les règles de jaugeage étaient couramment définies par le produit des trois dimensions principales du navire : longueur, largeur, profondeur. Mais la détermination de ces dimensions pouvait varier selon les parties du navire qui servaient de base au calcul. En effet, le pragmatisme habituel aux marins du Moyen Age — et d'ailleurs à leurs successeurs — les rendaient sensibles aux formes réelles des logements intérieurs du navire suscepti-



Fig. 4. — Débarquement d'hommes d'armes d'une grosse nef à hune et d'une barge, construites à clins, grées carré (Chronique de Froissart). Paris, Bibl. Nationale, ms. français 2643, fo. 42 vo.

bles d'accueillir les marchandises ainsi qu'aux modes de conditionnement de celles-ci. Compte tenu aussi de la diversité de toutes les mesures, il est assez difficile de comparer entre elles les capacités des navires indiquées dans la documentation. Quant au tonneau, avec ses valeurs variables, il est à la fois une unité de charge et d'affrètement, une unité de poids et une unité de déplacement. Ici, l'histoire et la technique font assez mauvais ménage, sans pouvoir s'ignorer, et les historiens ne sont pas toujours d'accord entre eux. Le débat n'est pas clos. Du moins, nous pouvons retenir que l'empirisme voulait, par exemple à Rouen en 1509, qu'on recourût aux arrimeurs de vins : à bord, cercle de barrique en mains, ils comptaient le nombre de fûts qu'il était possible de charger dans les espaces utiles, sans tenir compte des logements. Quoiqu'il en soit de la complexité du problème, on constate que, pour satisfaire aux besoins accrus de la navigation, la technique des constructions navales allait offrir, tour à tour, la tradition de tonnages globaux importants, fournis par de nombreux bateaux de faible capacité, et l'innovation de tonnages individuels élevés. Jusqu'au début du XVI^e siècle, la mode fut aux navires de fort tonnage. Cela impliquait évidemment des transformations morphologiques de la carène et entraînait des conséquences notables quant au mode de propulsion, à la gou-

verne et à l'art nautique. Ce fut un ensemble de réactions en chaîne dont le début se place vers 1300 et l'apogée au cours du XV^e siècle. Nous en retiendrons quelques épisodes particulièrement significatifs à titre d'exemples.

L'usage de la nef traditionnelle, si tant est que ce nom désigne un type défini et constant, ne perdit pas son importance au Ponant, mais en arrondissant ses formes pour augmenter sa capacité, on lui fit perdre l'élégance du profil et la légèreté de son prototype nordique (fig. 4 et 5). La courbure reste accentuée, l'étrave demeure convexe ; et le plan assez mince qui achève la poupe est propre à recevoir sur l'étambot le gouvernail axial, progrès certain, mais lent. La gouverne demeure longtemps assurée par deux avirons, à tribord et à babord, qui subsistèrent parfois concurremment avec le nouveau timon (fig. 6).

L'invention de la cogge, dont il a été question, comporta, au bénéfice des Nordiques, un certain accroissement du tonnage. Vers 1400, la charge moyenne atteignait une centaine de lasts (soit, selon certains, environ 200 tonnes métriques), au lieu des 40 à 50 d'antan. Trente ans plus tard, dans les premiers temps de l'institution du péage du Sund, le tonnage moyen avait doublé, grâce à la transformation qui donna naissance à la houlque, gros navire de charge, typique des flottes hanséatiques. Et pourtant, alourdi de ses châteaux de proue et

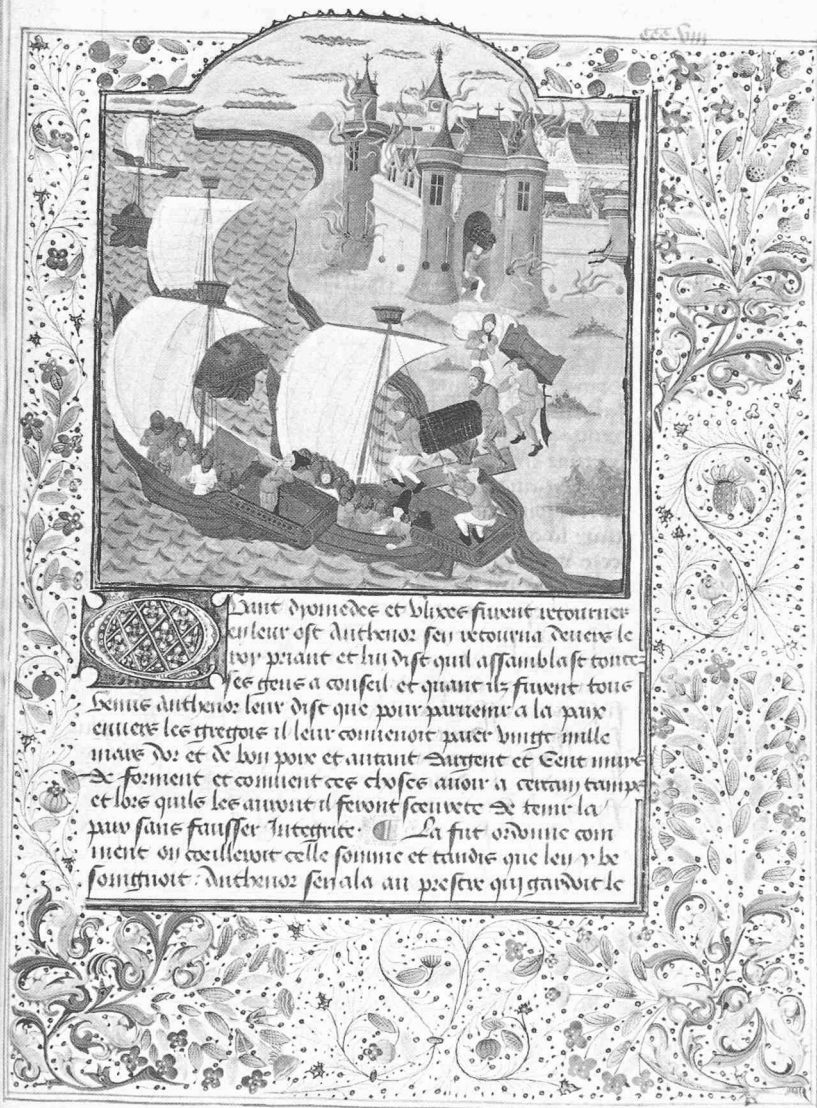


Fig. 5. — Chargement d'une flotille de nef, hunes et voiles carrées (Recueil des Histoires de Troie, par Raoul Le Fèvre, XV^e siècle). Bibl. Nat., ms. français 59, fo. 308.

de poupe, le navire était un médiocre marcheur, en dépit des essais faits pour seconder la grand'voile carrée par une autre voile placée généralement à l'arrière, quelquefois sur le bordage. A vrai dire, seules les allures portantes, avec vent arrière, étaient rentables. L'avenir était cependant dans la recherche d'un grément plus souple, comme dans l'allègement de la carène.

L'ouest européen fut alors, aux XIV^e et XV^e siècles, un foyer d'innovations techniques dues à l'expérience nautique de ses marins, comme à sa situation intermédiaire entre les zones atlantique et méditerranéenne. Il n'est pas besoin de mentionner longuement l'importance de la célèbre *coca* dont l'influence se répandit en Méditerranée comme dans les mers nordiques. Ce n'est pas qu'elle fût un modèle de navire gros chargeur, inférieure qu'elle était aux 300 tonnes. Mais, avec son timon « bayonnais », ou navarresque, gouvernail axial qu'elle contribua à répandre au début du XIV^e

siècle, avec sa possibilité de développer la surface de la toile enlaçant une bonnette au bas de la grand'voile, facile à manier, avec son équipage restreint, la coque fut un bateau bien marin, même en hiver (fig. 7). Tant qu'elle demeura un navire de moyen tonnage, le commerce y trouva son compte.

La vogue des gros tonnages dura cependant jusqu'au début du XVI^e siècle, souvent pour des raisons de simple prestige, par exemple en France sous Louis XII, et les grosses hourques nordiques, comme les carraques génoises, ont longtemps suscité l'admiration. Néanmoins, leur lourdeur n'était pas sans inconvénient. Ainsi, dès 1412, à Damme, on qualifia de « scélérate » la construction à clin rendue responsable d'un nombre insolite de naufrages. C'est pourquoi dans les décennies du milieu du siècle un nouveau mode de bordage et un nouveau type de navire eurent la faveur. La côte française de l'Atlantique, la Bretagne en particulier, en furent le foyer

de diffusion. Construite à carvel, donc à franc bord, la carvelle (qui en tira son nom, à ne pas confondre avec la caravelle) avait moins de rotondité que la nef, était plus creuse et plus pincée, avec une capacité dépassant rarement 150 à 200 tx; de 30 à 40 m de long et 6 m de large, elle pouvait porter couramment deux ou trois mâts. La diffusion de ce modèle fut remarquable. Il devait faire la fortune des caboteurs bretons jusqu'au delà de 1550, moment où de plus gros tonnages revinrent à la mode. Au XV^e siècle, il se répand rapidement. Vers 1440 à Damme, certains des navires équipés pour la Croisade par le duc de Bourgogne Philippe le Bon étaient des carvelles. La première construite à Dieppe, le fut en 1458-59. Mais l'épisode le plus marquant — le plus connu d'ailleurs — concerne Gdańsk et le fameux *Pierre* de la Rochelle. Ce bâtiment, stationné depuis des années dans l'attente de réparations, encombra le port et les échevins parlaient de le démolir. La guerre entre Gdańsk et l'Angleterre les fit changer d'avis, car on avait été étonné par ses caractères insolites dont un procès-verbal en 1474 a laissé l'inventaire. Construit à carvel, le *Pierre* portait non seulement un grand mât avec une grand'voile et trois bonnettes, un mât d'artimon avec une bonnette et un mât de misaine avec une petite voile, le tout manœuvré par un équipage moins nombreux que sur la grosse hourque avec sa seule grand'voile. Les qualités de ce bâtiment désormais réquisitionné à leur service, n'avaient pas échappé aux Hanseates de Gdańsk (fig. 8). Allégé, il se prêtait avec souplesse à l'exploitation maxima du vent et, sa troisième voile, à l'avant, neutralisait les effets du tangage. Capacité, sécurité, vitesse étaient conciliées. L'entrée du trois-mâts dans l'histoire était un événement qui mérite les recherches dont elle est actuellement l'objet.

L'Europe entière, y compris la Méditerranée, allait adopter ces innovations importantes, mais ne va pas s'en contenter. En effet, le cap étant fermement tenu grâce au gouvernail d'étambot, la grand'voile carrée permettait d'utiliser pleinement le vent arrière, mais elle n'offrait pas la possibilité de remonter le vent en louvoyant. Le louvoyage exige de réduire au maximum la résistance de la carène à la propulsion et de pouvoir manœuvrer les voiles avec la plus grande souplesse. A cette fin, en simplifiant d'ailleurs les choses, nous relevons deux adaptations. L'une consista à donner au navire des formes fines, capables de neutraliser la dérive; l'autre à lui ajouter une voile très maniable grée sur un mât aussi fortement haubanné que le mât porteur de la grand'voile qui demeura l'élément propulseur principal. Cette voile, triangulaire, est montée sur une antenne toujours inclinée sur le

même angle. C'est la « latine », inventée, si l'on peut dire, par les Byzantins aussi bien que par les Arabes; elle devint un caractère typique de la caravelle portugaise. Ainsi, après s'être pourvues des moyens nécessaires à la propulsion de navires gros porteurs, les marines européennes furent dotées de navires légers et rapides, capables de toutes les allures et de vitesses jusqu'alors inaccessibles: la découverte lointaine pouvait survenir. Le progrès technique accompagnait l'extension du rayon d'action et lui en donnait les moyens.

Arrivons-en maintenant aux progrès de l'art nautique, réciproquement solidaire de ceux de la construction navale et de la voilure dans le développement de la navigation. S'il était nécessaire de connaître sa position et sa route, l'invention de procédés pour les déterminer constituait une incitation à se lancer sur de grandes distances. Chronologiquement et logiquement, c'est de la boussole qu'il convient de parler d'abord. Venue peut-être de Chine par des voies jusqu'à présent non précisées, les propriétés de l'aiguille aimantée étaient connues en Occident dès le XII^e siècle, puisque Guiot de Provins en fait état explicitement; elle devint d'usage courant avec l'invention d'un mode pratique d'utilisation à bord des navires, attribué à un marin d'un des ports les plus anciennement connus de l'Italie médiévale, Amalfi. Amalfi était au contact des centres scientifiques siciliens où la science arabe avait fleuri et en relations habituelles avec l'Orient. L'invention de la petite boîte *bossola* (boussole) de l'aiguille aimantée venait à son heure, au moment où les navires marchands italiens, comme nous l'avons dit, dépassaient Gibraltar. Une invention n'a vraiment de succès qu'à partir du moment où elle est concrètement utilisable.

Il faut en dire autant de la mise à la disposition des navigateurs d'un type nouveau de carte, la carte marine, dite *marteloio* par les Italiens et portulan par les Français. Sur ce point encore, la coïncidence chronologique est frappante. Sans doute, l'usage de cartes à bord des navires fut antérieur au plus ancien portulan connu; Joinville, racontant la tempête subie par Saint Louis à son retour de Terre sainte en 1254 au large de Chypre, dit que l'on consulta une carte pour essayer de savoir où le navire était égaré. Mais c'est un fait que la célèbre carte pisane, en réalité génoise, de la Bibliothèque Nationale de Paris, est de peu antérieure ou postérieure à 1300. Ce nouveau genre de cartes était appelé à un énorme et durable succès, jusque dans la pleine époque des Grandes Découvertes (fig. 9). Sans doute, un certain nombre de ces cartes furent des œuvres scientifiques et artistiques destinées à des collections, tel le fameux Atlas Catalan, construit pour le roi Charles V de France par le maître de l'école cartogra-



Fig. 7. — Embarquement d'une troupe sur une nef «à la planche». L'artiste a fait valoir le développement de la voilure. Précision du costume des gens de mer (Passages faits oultremer par les François contre les Turcs et autres Sarrasins et Mores, 1473). Paris, Bibl. Nat. ms. français 5594, fo. 232 vo.

phique majorquine, Abraham Cresques. Il n'en reste pas moins que le portulan est une carte marine; dont les exemplaires courants ont en majorité disparu. Pour en prouver l'usage dans la navigation, il suffirait de noter que le roi d'Aragon, en 1354, prescrivit que tout patron de navire devait disposer de deux cartes à bord. Un coup d'œil, même rapide, sur la construction de ces cartes met en évidence la rencontre historique de la théorie et de la pratique techniques.

Le portulan repose sur un réseau de lignes indiquant les positions et les distances réciproques d'un certain nombre de lieux connus. Il suppose l'usage préalable d'instruments d'observation et de calculs, dont précisément étaient, avec la boussole, les tables astronomiques; faisant suite à de nombreux traités plus anciens, les Tables Alphonsines (d'Alfonse le Savant, roi de Castille) venaient

d'apporter, justement au milieu du XIII^e siècle, des bases de calcul plus exactes. De fait, il est très remarquable que, du premier coup, le portulan représente la Méditerranée avec une erreur d'un degré seulement en longitude.

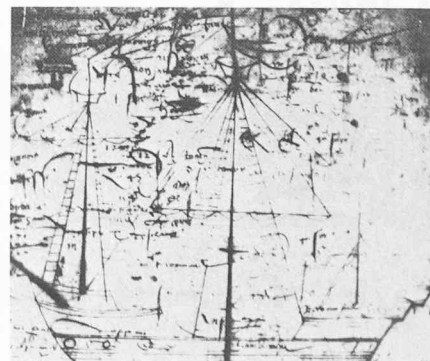


Fig. 8. — Terre-neuvier normand, dessin figurant dans un livre de navigation d'un Marchand de Rouen, Jean Cordier (vers 1544). Paris, Bibl. Nat., ms. français 24269.

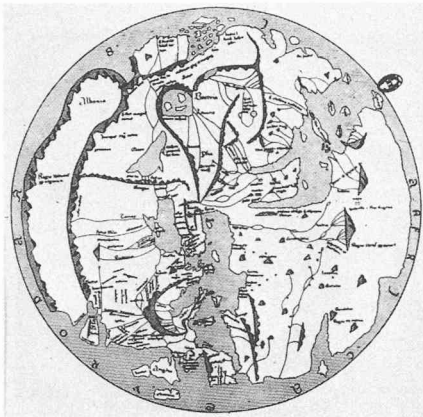


Fig. 9. — Mappemonde génoise (1320), de Pietro Vesconte (dans le *Liber Secretorum, fidelium Crucis de Marino Sancedo il Vecchio*, éd. Bongars, *Gesta Dei per Francos, Recueil des Histoires des Croisades*, II, 1859).

Ajoutons que l'analyse attentive des premiers portulans a soulevé l'hypothèse de la connaissance, chez leurs constructeurs, de la différence entre le Nord géographique et le nord magnétique. Ces constructeurs de portulans re-

cueillent dans les livres de mer déjà en usage ou de la bouche même de navigateurs les distances des ports entre eux (en milles en Méditerranée, en lieues dans l'Atlantique). Ces points et des distances leur ont servi de base, après calculs, à la construction d'un canevas de lignes disposées en étoiles, inscrites dans des circonférences tangentes divisées en 16 aires de vents; à partir des points ainsi déterminés sur ces cercles, on peut construire de nouvelles circonférences à l'infini. D'une carte régionale, on passe aisément à une carte générale ayant l'apparence d'une toile d'araignée. Le dessin sur cette carte plate est déformé au fur et à mesure qu'il s'écarte du cercle principal qui a servi de base. Cependant, grâce à un système de lignes de couleurs diverses entre les lieux représentés, à une graduation marginale et à une nomenclature toponymique abondante en proportion de la fréquentation des régions, le navigateur pouvait reconnaître sa route. N'oublions pas cependant qu'il disposait, en même temps

que de la carte, de livres de mer, décrivant les rivages, indiquant les amers, les écueils et les feux (phares), les passes et les accès portuaires; les langues européennes ont des mots équivalents pour désigner ces guides: routier (français), *rotero* (espagnol), *roteiro* (portugais), *rutter* (anglais), *Seebücher* (allemand), *Luskaart* (néerlandais) et *portolano* en italien. Le routier le plus connu, traduit d'ailleurs en diverses langues, date de la fin du XV^e siècle et fut édité à plusieurs reprises au XVI^e s.: c'est le célèbre *Routier de la Mer* de Garcie Ferrande, Portugais établi en Poitou.

Auprès d'une partie descriptive, ces livres contenaient des tables de déclinaisons, des calendriers de marées. De ces derniers, on conserve des exemples illustrés, à la manière de calendriers de bergers, dont l'œuvre de navigateurs bretons, du Conquet, les Brousson, au XVI^e siècle, est un exemple (fig. 10).

Ces propos conduisent au problème de l'art nautique proprement dit. En ce domaine comme dans les autres, le progrès



Fig. 6. — La comparaison allégorique de la destinée humaine à une navigation donne à l'artiste l'occasion de présenter des nefs où apparaît, fait rare, le double appareil de gouverne: gouvernail d'étambot et avirons latéraux (dans Gerson, *Livre des Contemplations*, XV^e siècle). Paris, Bibl. Nat. ms. français 990, fo. 2.



Fig. 11. — Nef mouillée devant un rivage. L'artiste traite le sujet avec fantaisie: tonsures excessives, multiplication des gabies et des haubans (Épîtres d'Ovide, XVI^e siècle). Paris, Bibl. Nat., ms. français 874, fo. 182.

technique s'efforça de marcher de pair avec l'évolution des besoins nautiques. Carte, boussole et compas étaient déjà, au témoignage de Ramon Lull, l'équipement du navigateur. Point n'était nécessaire d'être sorcier ou clerc averti pour observer la hauteur du soleil ou de la polaire par temps clair, c'est-à-dire, pour naviguer en latitude. Depuis le milieu du XV^e siècle, depuis l'époque d'Henri le Navigateur, l'usage du gnomon, servant de cadran solaire, celui du quadrant, le procédé de la lance, enfin l'adaptation de l'astrolabe à son utilisation à bord et non plus seulement à terre, permirent aux découvreurs des côtes africaines de procéder à des relevés précis dans l'Atlantique Sud. Le calcul des longitudes était un tout autre problème et la technique, à cet égard, demeura longtemps en retard sur les besoins. L'observation, déjà ancienne des éclipses de la lune, avait théoriquement conduit à la conclusion, correcte, que la comparaison entre des observations simultanées en des lieux différents, permettrait la transformation en unités de distance, donc en degrés, de la différence des heures relevées au moment des observations. Au terme du XV^e siècle, la référence à la fameuse « ligne de démarcation » imaginée sur l'Atlantique par la Bulle *Inter cetera* d'Alexandre VI et le traité de Tordesillas rendaient la question plus épineuse que jamais. A l'aide de tables indiquant l'heure des occultations pour le méridien initial, on pouvait déterminer la longitude par l'écart de deux heures. Les recherches de Ruy Faleiro dont Magellan utilisa les résultats fondèrent des solutions partielles d'où devait dériver la méthode de calcul des distances lunaires. On appréciait aussi la longitude par la combinaison de l'évaluation des distances parcourues et des latitudes observées. Verazano, en 1524, raconte qu'il calculait la longitude en observant « à toute heure » la hauteur du soleil et la distance parcourue « sans recourir aux éclipses de lune ni à d'autres phénomènes dérivant du mouvement du soleil ». Six ans plus tard, un Allemand, Gemma Frisius, imaginait d'utiliser de « petites horloges, qu'on appelle montres, dont on commence à se servir »; après avoir réglé sa montre sur l'heure du port de départ, on pouvait en tout point connaître sa longitude par l'écart entre l'heure du départ et l'heure du lieu atteint, connue par l'astrolabe. En fait, il fallut attendre l'invention d'Harrison et de Le Roy et sa diffusion sur les navires après 1770, pour pouvoir déterminer la longitude avec certitude. Faire le point demeura jusque-là une opération approximative, porteuse d'erreurs et de risques. Sans paradoxe excessif, on pourrait dire qu'au point de vue nautique, le Moyen Age a duré jusque dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle. L'estime, faisant appel à l'expérience, à

l'observation et au flair du marin, emportait la confiance. Par une démarche inverse de celle d'un esprit scientifique moderne, Christophe Colomb (il le raconte lui-même) recourait à l'estime pour vérifier ses calculs. Sur les navires, il y avait bien des « horloges », mais par là il faut entendre des sabliers, dont le calcul du temps demeurerait approximatif et servait d'ailleurs à un usage non astronomique dont il va être question dans un instant. En fait, malgré leur expérience de la mer, les navigateurs de la Renaissance pouvaient se rallier à l'opinion de Rabelais dans son *Pantagruel*: « Il n'est horloge plus juste que ventre ». L'horloge de mer servait au moins à un calcul, utile sans doute à la détermination de la position du navire, mais surtout à celle de la distance parcourue et de la vitesse ainsi qu'au contrôle de la tenue du navire à la mer. Les récits de voyage sont pleins d'approximations d'interprétation difficile si bien que les erreurs des historiens ne le cèdent pas à celles des découvreurs. Selon l'amiral Morison, Colomb calcula sa vitesse avec exactitude à un dixième près. Le coefficient personnel du navigateur valait, semble-t-il, des certitudes techniques qui se firent attendre. A l'œil, connaissant bien son bâtiment, il commet rarement des erreurs importantes. L'observation du temps écoulé par le glissement le long du bateau d'une planchette flottant de l'avant à l'arrière et tenue par un cordage portant des nœuds espacés régulièrement est une méthode empirique d'une valeur pratique certaine; le nombre de nœuds ainsi filés sur la rambarde en 30 secondes égale celui des milles nautiques courus en une heure. Le procédé, appelé à la destination que l'on sait, ne céda la place que plus tard, dans le courant du XVI^e siècle, à l'invention du loch, qui normalisa l'empirisme antérieur.

A s'en tenir aux navigations du Moyen Age et le début des Découvertes, on possède déjà un aperçu exemplaire de la relation réciproque de l'invention technique et de l'évolution historique. Il serait possible de poursuivre fort loin l'enquête jusqu'à la construction du très grand voilier du XVIII^e siècle, jusqu'au clipper qui fut, peut-être, le chef d'œuvre du genre, jusqu'au bateau à vapeur, aux « tankers » et aux navires à propulsion atomique, jusqu'aux instruments les plus sophistiqués de l'observation astronomique et nautique et de la conduite automatisée des bâtiments. Cela n'est pas nécessaire, malgré son intérêt. La période considérée, par ses tâtonnements, ses recherches, ses orientations semble avoir été décisive, en tous cas, significative. Il suffira donc, pour conclure, de dégager certains aspects des conséquences de ces expériences. Des exemples limités dans le temps et dans l'espace n'ont pas permis un tour complet de la question. Il aurait fallu

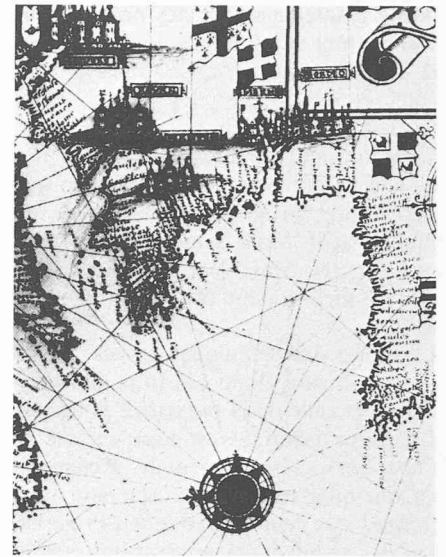


Fig. 10. — Carte nautique (golfe de Gascogne et Manche), par G. Brouscon, cartographe du Conquet (Finistère), Manuel de Pilotage à l'usage des marins bretons (1548). Paris, Bibl. Nat., ms. français 27310.

être plus précis, mais des difficultés multiples jalonnent le chemin parcouru. Les difficultés documentaires ne manquent pas, du fait de l'insuffisance du volume de l'information, et surtout, peut-être, de l'incertitude, de l'instabilité et de la diversité du vocabulaire technique: on a vu l'ambiguïté des notions anciennes du tonnage et les confusions possibles à propos des mots carvel et caravelle (fig. 11). La recherche est souvent malaisée en raison de l'imprécision fréquente, sinon de l'absence, de définitions anciennes des types de navires, au reste assez fluctuantes. Entre genres de carène et modes de gréement, il n'y avait aucune correspondance absolue et l'on ne peut en induire ni déduire aucune généralisation. Les mêmes bateaux ont pu remplir des missions très différentes successivement ou alternativement, surtout ceux de petit et moyen tonnage: pêche, commerce ou guerre. Néanmoins, certaines observations méritent réflexion. Il n'est pas besoin d'insister sur le lien étroit de l'histoire économique et de celle des techniques. Il est apparu à l'évidence, encore qu'on devrait ajouter à ce qui a été dit tout ce qui concerne les chantiers, les engins de

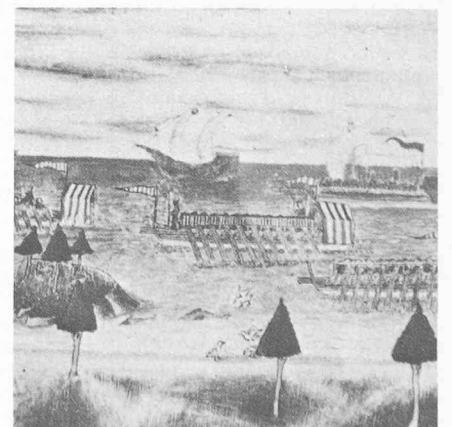


Fig. 12. — Galères et nef sous voiles, 1499. Paris, Bibl. de l'Arsenal, ms. 630, fo. 15 vo.

pêche, l'aménagement des ports et leur équipement en appareils de chargement et de déchargement, le balisage des côtes et des fleuves, les phares, enfin l'aspect technique de la guerre sur mer. La technique, en ces secteurs, suit plus qu'elle ne précède les besoins, bien que ses propres progrès constituent un stimulant actif. Mais la mode sévit autant que l'intérêt. Ainsi s'explique que les petits bâtiments aient pris l'avantage sur les gros.

L'histoire des techniques navales explique et illustre donc l'histoire de la richesse et celle de la puissance politique. L'histoire technique est aussi une clé de l'histoire sociale et mentale. Retenons-en quelques traits moins souvent mentionnés que leur importance l'exigerait. Un des résultats des innovations techniques médiévales fut de renforcer l'autorité à bord du capitaine seul maître de la machine la plus complète et la plus autonome que le Moyen Age ait connue. Il en est résulté une modification des rapports sociaux. Le capitaine est devenu, pour les voyages lointains, le mandataire des armateurs ou de la puissance publique, et le navire est un instrument de cette puissance. C'est ainsi également qu'une élite de navigateurs, pourvus du prestige de la technicité du métier et de l'autorité, jouissant d'une sorte de promotion, s'éleva au-dessus de la foule des gens de mer, sorte de prolétariat international, quelque peu méprisé (fig. 12). A terre, les progrès techniques ont accentué une certaine spécialisation professionnelle des constructeurs et des artisans d'arsenaux. En mer, il faudrait chercher si les nouveautés techniques ont modifié la communauté du bord; ce n'est pas certain; car si les

progrès de la sécurité furent déjà notables, les risques se multiplièrent du fait des campagnes lointaines de découverte. Les attitudes devant la mort n'ont guère changé et les solidarités ont subsisté.

Sortons enfin d'un secteur réservé et clos. L'évolution des techniques navales apparaît en pleine lumière de l'histoire des cultures, et l'illustre avec éclat. Il suffit d'évoquer la concomitance entre l'impulsion décisive des progrès techniques navals et l'élargissement de la culture occidentale. Nous dépassons les cadres, déjà notés, du contexte économique. Quand le gouvernail d'étambot a cause gagnée, que la boussole devient d'un usage courant et que la navigation a, grâce à des cartes tracées à son intention, le moyen de savoir où elle va, voici brusquement beaucoup de nouveautés. Marco Polo et les missionnaires viennent de révéler des «merveilles» lointaines. La curiosité pour l'inconnu se renforce de l'incitation à connaître des cultures différentes par l'enseignement des langues orientales, alors à son début; le *Codex Cumaniacus* (vers 1305) en livre les secrets aux marchands et aux missionnaires sous la forme trilingue d'un glossaire. Bien que le mythe du Prêtre Jean et la légende des Rois Mages nourrissent beaucoup de rêves, la primauté du réel et la recherche de l'observation directe, dans la foulée des spéculations du XII^e siècle, sont mis en honneur par un Roger Bacon et un Vincent de Beauvais. Les sciences mathématiques font un bond en avant, dans l'arithmétique et l'astronomie. Les voyageurs distinguent des rumeurs et des mythes, ce qu'ils ont appris par oui-dire et ce qu'ils ont vu de leurs yeux, touché

de leurs mains, en des pays qu'ils ont foulé de leurs pieds, comme l'écrivait, de Socotora, un dominicain missionnaire, Guillaume Adam, vers 1320. Ces gens là témoignaient d'un élargissement vécu de la notion de Chrétienté, cette Chrétienté dont la Bulle *Unam Sanctam* affirmait, à l'aube du siècle, la vocation universelle. Les circonférences du portulan, indéfiniment extensibles, de proche en proche, pouvaient s'étendre à la terre tout entière. A travers cette double invitation à la possession de l'espace intellectuellement et physiquement, l'Occident percevait les premiers appels à la découverte. Justement, ce fut en ce temps-là qu'en 1291 les frères Vitaldi osèrent tenter l'expérience insensée d'une exploration océanique. Trop tôt, bien sûr, puisque la technique n'avait encore conquis les moyens nécessaires. Ce n'en était pas moins le prélude des vraies grandes découvertes, celles des XV^e et XVI^e siècles et celles du XVIII^e. Mais sans prélude, rien ne se fait.

En conclusion, l'exemple de la navigation est significatif de l'insertion du progrès technique parmi les faits de civilisation et les formes concrètes de la culture. Condorcet écrivit non sans raison qu'«on ne fait pas une découverte (seulement) parce qu'on en a besoin, mais parce qu'elle est liée à des vérités déjà connues et que nos forces peuvent enfin franchir l'espace qui nous en sépare».

Adresse de l'auteur:

Michel Mollat,
Membre de l'Institut de France
Rue Bousset 1, F-75015 Paris

Bibliographie

Inventaire urbain de la ville de Lausanne

Un album A3 de 30 pages, édité par le Centre de documentation de la direction des travaux, Commune de Lausanne. Prix: Fr. 42.—.

La publication d'une partie importante de la cartographie du BEAU (Bureau d'étude d'aménagement urbain) a pour but de mettre à disposition de ceux qui s'intéressent aux phénomènes urbains une image «radiographique» de la ville de Lausanne.

Pour les conseillers communaux, les architectes et les urbanistes, les milieux économiques, les mouvements et associations diverses, ce document devrait être un élément de référence, au même titre que d'autres ouvrages d'illustration et d'analyse de la ville ancienne et actuelle: document nécessaire en particulier à l'approche et à la compréhension des actions proposées par la Mu-

nicipalité en matière d'urbanisme.

Les cartes publiées sont les plus significatives parmi celles réalisées par le BEAU (démographie, emplois, domaine bâti, équipements, plans d'extension et de quartier, etc.). Les originaux ont été établis au 1/5000 puis réduits au 1/20 000 pour les besoins de la publication. Chaque carte est accompagnée d'un bref commentaire et d'une indication des sources statistiques.

Le service d'urbanisme de la ville est à disposition du public pour fournir des informations complémentaires ou présenter les cartes originales.

Dictionnaire Visine, le dictionnaire de l'Européen

par François Visine. — Un volume de 336 pages, format 10,5 x 18 cm. Editions Fondation du Mérite européen, 80, boulevard de la Pétrusse, L-Luxembourg. Prix, broché: 550 fr. belges ou luxembourgeois ou 80 fr. fr.

L'auteur, Dr en droit et ès sciences économiques, jurisculte international, préside aux destinées de la Fondation du Mérite européen dont le siège est à Luxembourg.

Dans le dictionnaire européen Visine, comprenant plus de 1500 rubriques, chaque terme institutionnel ou politique européen, chaque notion juridique ou économique concernant les institutions et les activités de l'Europe d'hier, d'aujourd'hui et de demain, fait l'objet d'une présentation et d'une analyse aussi précises et complètes que possible. Un index alphabétique des abréviations (ou «sigles») le complète utilement.

Mécanique expérimentale des fluides, tome III, recueil de problèmes

par R. Comolet et J. Bonnin. — Un vol. 16 x 24 cm, 412 pages, Editions Masson, 3^e édition, Paris 1981, broché.

Ce volume, dont l'équivalent n'existe pas en langue française, est, comme les deux tomes précédents, destiné aux étudiants des

universités et aux élèves des grandes écoles d'ingénieurs, mais aussi aux ingénieurs confirmés qui y trouveront un développement progressif depuis les notions théoriques anciennement acquises jusqu'à leurs problèmes journaliers.

Les exemples proposés, avec leurs solutions complètes, couvrent pratiquement toute la mécanique des fluides exposée dans les deux premiers tomes, à l'exception de la thermodynamique.

Sommaire

I. Hydrostatique. — II. Cinématique des fluides. — III. Equation du mouvement des fluides parfaits. Théorème de Bernoulli et applications. — IV. Théorème des quantités de mouvement et applications. — V. Analyse dimensionnelle et similitudes. — VI. Ecoulements visqueux. — VII. Pertes de charge. — VIII. Efforts sur les obstacles. — IX. Couche limite. — X. Coups de bélier et oscillations en masse. — XI. Turbomachine à fluide incompressible. — XII. Ecoulements dans les canaux découverts. — XIII. Problèmes généraux.