

Introduction à la Maintenance maritime

Première partie - les données de base à savoir

Contraintes propres à la navigation maritime

Deux caractéristiques spécifiques à la navigation maritime:

Fonctionnement 24 heures sur 24 en milieu mouvant et agressif (mer, vent...). Les distances à couvrir sont considérables, les traversées durent plusieurs jours, voire plusieurs semaines

En mer, obligation de se débrouiller seul en cas de problème

La mer est composée d'eau salée (essentiellement du chlorure de sodium) à environ 35 grammes par litres en moyenne, (40 à 45 grammes dans les mers chaudes fermées), un milieu conducteur et corrosif mais biologiquement riche, de densité très légèrement supérieure à l'eau douce. Le vent peut s'y développer sans obstacle, engendrant une houle aux vagues d'autant plus hautes que la terre est plus loin (houles courtes en mer du Nord, houles hautes et de grande longueur d'onde dans les océans). Elle est soumise aux marées, surtout près des côtes, et sujette à des courants qui entraînent les objets flottants. Sa température varie de -2°C (Antarctique) à +26°C (mer Rouge)

Mission d'un navire

Se déplacer d'un port à un autre dans un intervalle de temps donné (qui peut durer plusieurs jours, voire semaines), au moindre coût, ce qui exige un équipage (+ passagers), avec ses moyens de subsistance, et des moyens techniques absolument fiables pendant une traversée, à savoir :

- un moyen de propulsion d'une autonomie donnée
- un moyen de direction (gouvernail)
- des dispositifs de guidage
- des moyens de transmission
- des moyens de détection (radars, sonars)
- des moyens de sécurité (parade aux incidents)
- des utilités (électricité, fluides, conditionnement d'air, etc)

Bases de la navigation

Le maintenancier maritime se doit d'avoir une connaissance élémentaire de la navigation, à savoir :

Position: fixée par la latitude et la longitude

Direction : fixée par le cap, exprimé en degrés :

(Nord 0° - Est 90° - Sud 180° - Ouest 270°)

Unité de distance :

le nautique (ou mille marin) = 1852m (soit 1 minute de latitude)

Unité de vitesse :

Le nœud (knot) = 1 nautique par heure

Etat de la mer et du vent selon l'échelle de Beaufort :

0 = calme; 5 = bonne brise; 10 = tempête; 12 = ouragan (maxi)

Définition d'un navire

Il convient aussi d'avoir aussi quelques notions sur ce qu'est un navire :

Un moyen de transport qui flotte (la poussée d'Archimède exercée sur sa carène étant supérieure à son poids). L'important est qu'il puisse y avoir toujours de l'eau en dessous de sa quille, notamment aux approches des côtes.

Organes spécifiques :

Œuvres vives, soumises à la mer :

la carène (partie immergée de la coque)

le gouvernail

la ou les hélices

Œuvres mortes, soumises au vent et embruns : les superstructures

La coque, plus longue que large est assimilable sur le plan résistance des matériaux à une poutre soumise à la flexion, dont les appuis sont changeants, par le passage de vagues d'une extrémité à une autre. Elle est en général en acier soudé, dûment protégé contre la corrosion et la fixation d'animalcules par des peintures spécifiques (anti-fouling). Les petits navires ont des coques en plastique ou en bois.

Ses mouvements s'appellent :

Le roulis (mouvement transversal, le plus sensible)

Le tangage (mouvement longitudinal, sensible surtout à l'avant)

Le lacet (oscillation autour de l'axe vertical, peu sensible)

Appellations à savoir

Comme tous les métiers, la marine a son langage. Quelques mots:

Coque= ensemble constituant le navire
Carène = partie immergée de la coque
Quille = base du fond de carène
Tirant d'eau = hauteur entre quille et niveau de l'eau
Carénage = grand entretien du navire mis à sec
Tin = pièce de bois support de navire au sec
Radoub = mot synonyme de Carénage
Bassin = endroit où le navire est mis à sec
Proue = avant du navire
Etrave = partie de la proue fendant l'eau
Poupe = arrière du navire
Tranches = sections de navire séparées par les cloisons d'étanchéité
Tribord = côté droit du navire, en regardant vers l'avant
Bâbord = côté gauche du navire, en regardant vers l'avant
Passerelle = centre de commandement du navire
Livre de bord = cahier enregistrant les événements d'une traversée
Dunette = support de la passerelle, au dessus du pont
Pont = Surface horizontale de la coque
Plage avant ou arrière = aires AV ou AR du pont supérieur
Dalot = ouverture dans la coque pour l'écoulement d'eau de mer
Coursives = corridors de circulation intérieure
Hublot = ouverture circulaire verrouillable laissant passer la lumière
Tape de hublot = volet de fermeture de hublot
Bastingage = bordure du pont supérieur
Spardeck = superstructure légère au dessus du pont supérieur
Cap = direction à suivre, rapportée au Nord
Barre = commande du gouvernail
Safran = pale orientable du gouvernail
Etambot = support de l'ensemble gouvernail
Hélice = moyen de propulsion agissant sur l'eau
Ligne d'arbre = arbre reliant le moteur à l'hélice
Chaises= paliers de la ligne d'arbre
Soute= local de stockage (notamment de combustible)
Ancre = dispositif placé au bout d'une chaîne pour fixer le navire
Ecubier= ouverture renforcée dans la coque, portant l'ancre
Cabestan = treuil à lever les ancres, situé sur le pont avant
Accostage = mise en contact du navire avec un quai ou un autre navire
Abordage = collision du navire avec un quai ou un autre navire
Aussières = cordages servant à amarrer le navire
Bittes d'amarrage = couple d'axes pour fixer «en 8» les aussières
Equipage = personnel faisant fonctionner le navire en mer
(traditionnellement répartis entre «pont» et «machine»)
Capitaine (« pacha ») = autorité responsable de la navigation
Second lieutenant = responsable du fonctionnement interne
Bosco = maître de manœuvre sur le pont

Cargaison = marchandise transportée par le navire
Containers = boîtes normalisées contenant la marchandise
Coupée = passerelle mobile d'accès à terre
Compas = dispositif (magnétique ou gyroscopique) indiquant le Nord
(un pour l'homme de barre, deux équipés d'alidade sur les côtés de la passerelle)
Mât de charge = dispositif permettant le chargement de la cargaison
Canot de sauvetage = embarcation de survie en cas de naufrage
Chaloupe = embarcation non pontée, avec voile amovible
Brassière = ceinture de sauvetage
Feux de position = feux en mâture, visualisant la direction du navire :
Vert= tribord ; rouge = babord ; blancs sens de marche
Pavillon = drapeau (mot non employé en marine)

(NB - Ne sont pas cités les nombreux termes propres aux navires à voile)

Risques et dangers de la navigation

Risques principaux auxquels est exposé un navire :

- Incendie
- Perdition causée par une avarie de propulsion ou de direction :
(navire jouet des courants, du vent et des vagues)
- Naufrage causé par déchirement de la coque sur un rocher
- Naufrage causé par collision par autre navire ou iceberg (Titanic)
- Chavirement : basculement causé par l'instabilité latérale du navire

La stabilité du navire dépend des positions relatives du centre de gravité du poids du navire et du centre de carène (ou centre de poussée d'Archimède). Dans tous les cas le centre de gravité doit être en dessous du centre de carène. Quand un coup de roulis fait pencher le bateau sur un côté, le centre de carène s'écarte du centre de symétrie du navire : il importe qu'il constitue avec le centre de gravité un couple de forces redressant le navire. Si le centre de gravité se situe de l'autre côté du centre de carène, il constituera un couple de forces aggravant le basculement et le navire chavirera. Il y a donc intérêt à ce que le centre de gravité soit le plus bas possible au dessus de la quille (lestage de quille, par exemple), et aussi que la marchandise transportée soit bien arrimée pour éviter en cas de roulis de déplacer le centre de gravité global du mauvais côté du centre de carène (cas des produits granulés, des liquides dans des citernes non complètement remplies). Exemples :

 naufrage du voilier école Pamir en Septembre 1957, pour cause de cargaison de céréales mal arrimée

 naufrage en 1628 du vaisseau Vasa suédois à son lancement, pour cause de surcharge de canons lourds dans le pont haut

Un couple de redressement élevé est excellent pour la stabilité du navire... tout en secouant les estomacs de ses occupants.

Dispositifs de sécurité d'un navire

Découpage de la coque en plusieurs cloisons étanches (pour garder la flottaison en cas d'un trou sur une cloison)

Deux ancres (tribord et bâbord) pour immobiliser le navire sur un fond peu profond

Compartiment de collision à l'extrême avant, servant de puits pour les chaînes d'ancre

Collecteur incendie alimenté par l'eau de mer

Pompes d'épuisement dans les fonds du navire

Commande de secours locale du gouvernail

Electricité par deux groupes électrogènes

Les dispositifs de sauvetage des occupants sont de leur côté strictement définis par les règlements internationaux

Types de navires

Catégories de navires d'après leurs rôles :

Transport de personnes :

Jadis paquebots, (supplantés par l'avion)

Aujourd'hui : tourisme

Roll-off, roll-on (Ro-ro : passagers + voitures)

Service côtier

Vedettes de service

Yachting

Transport de marchandises :

Jadis cargos polyvalents (lignes régulières, ou tramping)

Aujourd'hui, trafics spécialisés :

Porte-conteneurs (dont conteneurs réfrigérés)

Pétroliers (tankers)

Méthaniers (gaz liquéfié à -160°C)

Minéraliers (vraquiers pour transport de pondéreux)

Ro-ro (Roll on-roll off = transport des autos, camions, remorques par accès direct via une porte levante)

Pêcheries :

Jadis terre-neuvas

Aujourd'hui :

Pêche côtière

Pêche hauturière :

chalutiers (dont morutiers)

navires usines (traitement du poisson à bord)

Marine militaire :

Jadis : cuirassés, croiseurs, destroyers, dragueurs de mines, avisos, vedettes, sous-marins

Aujourd'hui :

- Porte-aéronefs
- Frégates (anti sous-marines, anti aériennes)
- Navires de transport militaire, ravitailleurs
- Navires de débarquement
- Chasseurs de mines
- Sous-marins

Actions scientifiques ou techniques

Jadis : navires hydrographiques (établissement des cartes marines)

Aujourd'hui :

- Recherche scientifique
- Services off-shore (exploitation hydrocarbures, éoliennes)
- Remorqueurs de haute mer

Caractéristiques techniques des navires

Les navires ont des longueurs allant de quelques mètres à près de 400 mètres, d'un port en lourd allant de quelques tonnes jusqu'à 500.000 tonnes (pétroliers), des motorisations allant jusqu'à 80.000 kw, des tirants d'eau allant jusqu'à 24 mètres en charge, ce qui limite leurs zones d'accès près des côtes. Les navires dits Panamax ont la taille maximale pour emprunter le canal de Panama, reliant les océans Pacifique et Atlantique.

La vitesse maximale pratique est d'environ 30 nœuds (navires militaires, navires de tourisme). Elle coûte cher en carburant. Pour le transport de marchandises, le maximum est 17 à 18 nœuds ; la vitesse économique varie entre 11 et 13 nœuds.

Il est à noter que les gros navires ont une inertie considérable : ils mettent plusieurs kilomètres à freiner (en marche arrière toute). Dans un virage, le rayon de giration (qui dépend du rapport entre longueur et largeur) peut atteindre 3,5 à 5 fois la longueur du navire. Ce qui implique pour les gros navires de remorqueurs pour aider son accostage ou son départ.

Quand un navire est haut sur l'eau (lège par exemple), un vent traversier donne une dérive au cap du navire.

La formation des capitaines à la manœuvre de gros navires se fait sur modèles réduits dans des bassins, en utilisant les lois de la similitude hydraulique (lois de Froude), tel le bassin d'entraînement de la marine marchande sur le lac artificiel de Port Revel, à St Pierre de Bressieux en Isère.

Organes essentiels de navigation

Propulsion

Jadis assurée par les bras (galères) et le vent (voiliers), puis par la vapeur (chaudières au charbon, puis au fuel ; machines à pistons multi-étagés à vitesse lente, puis turbines avec réducteurs de vitesse) jusqu'à la moitié du XXème siècle, qui a cédé la place au Diesel à combustion interne, moins encombrant, de meilleur rendement et moins exigeant en personnel.

La puissance de l'appareil propulsif s'exprime traditionnellement en horse-powers (HP) ou chevaux-vapeurs (CV), ou plus scientifiquement en kilowatts (KW), sachant qu'1 KW = 1,34 HP ou 1,36 CV

L'ensemble propulsif dans la plupart des cas est donc constitué d'un moteur Diesel, doté éventuellement d'un réducteur de vitesse avec inverseur de marche, d'un arbre de transmission traversant l'arrière de la coque et d'une hélice . L'ensemble constitue ce qu'on appelle une ligne d'arbre.

Dans certains cas (navires militaires, navire de transport sur longues traversées), le navire est équipé par sécurité de deux lignes d'arbres tournant en sens inverse, la ligne d'arbre tribord tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, la ligne d'arbre bâbord en sens inverse.

Les évolutions modernes sont

- la transmission Diesel électrique, par un Diesel tournant à vitesse constante équipé d'un générateur électrique alimentant des moteurs électriques à proximité immédiate des hélices, parfois installés dans des nacelles orientables (pods), ce qui élimine les grandes lignes d'arbre

- le remplacement du fuel lourd par du gaz naturel stocké sous forme liquide à -165°C

Détails :

L'hélice sert à pousser le navire (marche avant), soit à la freiner en tournant en sens inverse (marche arrière). L'effort est transmis au navire par une butée qui équipe l'arbre porte-hélice, qui traverse la coque par un presse-étoupe. Sa vitesse de rotation à pleine marche se situe entre 250 tours-minute pour les navires de petit tonnage et 90 à 120 tours pour les très gros navires - vitesses limites destinées à éviter une cavitation endommageant les pales de l'hélice.

Les moteurs doivent être extrêmement fiables, pour éviter de tomber en panne en pleine mer. Ce sont les « Diesels marine » dont la vitesse de rotation est limitée (pour une puissance à fournir donnée, plus un Diesel est lent, plus il est fiable, mais plus il est gros et cher). En gros, jusqu'à 1000 HP un Diesel 4 temps tourne à 750 /mn ; de 2 500 à 10 000 HP les Diesels sont des 4 temps semi-rapides tournant à environ 300 à 400 t/mn. Ils sont équipés d'un réducteur de vitesse équipé d'un inverseur de marche attaquant l'arbre. Ils sont en général dotés de turbo-compresseurs améliorant leur rendement.

Les très gros navires sont équipés d'un moteur unique de très grandes dimensions aux énormes cylindres en ligne, dits « Diesels cathédraux », moteurs à deux temps équipés de turbo-compresseurs, et soit à lumières sans soupapes (technique Sulzer), soit à lumières d'admission et soupape d'échappement unique située en fond de culasse (technique Burmeister et Wain). Ils fonctionnent au fuel lourd (fuel résiduel) bon marché préalablement réchauffé et dûment décanté et filtré. Leur puissance va jusqu'à 80 000 kW, leur poids jusqu'à 2 500 tonnes, leur hauteur à plus de 20 mètres. Leur vitesse de rotation va de 90 à 120 t/mn : ils attaquent donc directement la ligne d'arbres. Un dispositif adéquat permet d'inverser leur sens de rotation quand le navire doit aller en marche arrière. Leur hélice est de dimension appropriée, jusqu'à 6 mètres de diamètre, et dotée de 5 ou 6 pales.

La plupart des hélices sont en un bronze facilitant leur coulée et résistant à la corrosion par l'eau de mer. Ceci entraîne un risque de corrosion galvanique avec l'acier de la coque, que l'on maîtrise en plaçant à proximité sur la coque une anode sacrificielle en zinc, renouvelée lors des carénages.

Le moteur est un Diesel à quatre temps pour les petits et moyens navires, fonctionnant selon le niveau de puissance au gas-oil ou au fuel léger. Les gros navires fonctionnent au fuel lourd (jadis appelé mazout), fuel résiduel de la distillation du pétrole brut dans les raffineries, très bon marché, mais visqueux et pollué, notamment par l'eau, le soufre ou les sels métalliques. La teneur en soufre acceptable commercialement a été réduite à 0,5%. Le fuel lourd doit être préchauffé pour être pompable, et purifié avant son introduction dans le Diesel par filtration et décantation (par centrifugeuses). Les pétroles bruts sont réputés soit riches en soufre (Moyen-Orient), soit légers mais paraffiniques (Afrique du Nord), soit visqueux et comportant des sels métalliques agressifs pour les soupapes des moteurs à 4 temps (Amérique latine).

Evolution modernes : hélice d'étrave située dans le plan de symétrie du navire et traversant l'avant de la coque, pour faciliter les manœuvres d'accostage le long des quais.

NB - Deux techniques adaptables à de petits navires remplaçant la propulsion par hélice ont été mises au point :

Le propulseur Voith-Schneider, placé sous le centre du navire, constitué par une plaque circulaire rotative sous laquelle sont fixées des pales verticales orientables selon un processus cycloïdal ajustable, qui permet au navire de se déplacer dans toutes les directions

Le rejet à l'arrière d'un puissant jet d'eau envoyé par une pompe, le navire avançant par réaction

Direction

La direction est assurée par un gouvernail, qui sur les gros navires peut être de grande dimension, dont le safran est mû par un servo-moteur, souvent mû par un système hydraulique, et dont la fiabilité doit être maximale, notamment en cas de défaillance de l'alimentation électrique de bord. Il doit donc être muni de moyens de secours autonomes.

Deuxième partie - Maintenance maritime : application

Les activités de maintenance maritime liées à la navigation, communes à tous les types de navires sont séparées en deux grandes catégories :

- La maintenance en mer
- La maintenance au port

Maintenance en mer

Son exigence principale est une vigilance constante, par un suivi étroit des organes essentiels de navigation : pour la propulsion, le traitement du combustible, la bonne lubrification et le bon refroidissement des moteurs, pour la direction l'appareillage actionnant le gouvernail, pour les utilités de bord les groupes électrogènes, les pompes, la production d'eau douce à partir d'eau de mer, les chaudières auxiliaires, le collecteur d'incendie.

C'est un domaine où la maintenance prédictive joue un rôle majeur. Les équipements de bord sont souvent suivis par des installations appropriées, mais la surveillance visuelle les complète et pallie à leurs défaillances.

Un problème important à suivre en mer est la corrosion des superstructures par les projections d'eau de mer et les brouillards salins, qui impose de fréquents lavages à l'eau douce, et l'application fréquente de peintures protectrices.

Maintenance au port (carénages)

La particularité de la maintenance maritime est l'action de la mer sur la carène du navire, qui ne peut être inspectée quand le navire flotte sur la mer, (sauf par plongeurs).

La carène est l'objet de fixation de coquillages (moules) qui ralentissent la marche du navire, et peuvent contribuer en outre à la corrosion quand la coque est en acier.

L'opération périodique de carénage consiste donc :

1° - A mettre le navire au sec, hissé à terre quand il est petit (quelques tonnes), ou au bassin de radoub quand il est grand. Avant d'introduire le navire, on dispose la ligne de tins qui supporteront sa quille, on remplit d'eau le bassin et on ouvre sa porte pour permettre au navire d'entrer jusqu'à la position adéquate, puis on ferme la porte et on pompe l'eau jusqu'à ce que le navire repose sur ses tins, et on le cale latéralement pour éviter qu'il ne bascule

2° - A décaper la coque au jet d'eau sous pression, pour évacuer les coquillages et la couche de peinture protectrice anti-fouling. Comme elle est toxique, cette opération doit respecter les mesures réglementaires de protection du personnel et de l'environnement

3° - A effectuer par ultrasons un contrôle de l'épaisseur de la coque pour mesurer sa perte d'épaisseur par corrosion, en établir une cartographie pour détecter les zones suspectes, et vérifier si elle reste dans la limite acceptable pour une navigation sûre.

Vérifier en particulier les prises d'entrée ou de rejet d'eau de mer de refroidissement

4° - A vérifier l'état de l'hélice, de la sortie de son arbre, et du gouvernail

5° - Avec les protections nécessaires, passer une nouvelle couche protectrice de peinture de protection anti-fouling, pour limiter la prolifération des coquillages

6° - A renouveler les anodes protectrices en zinc fixées sur la coque près de l'hélice

7° - l'opération terminée, remettre en eau le bassin pour remettre à flot le navire et ouvrir la porte pour permettre sa sortie.

Par extension, le mot « carénage » implique toutes les opérations de maintenance appliquées au port.

Bien entendu en effet, quand le navire est au bassin on effectue toutes les opérations de maintenance ne pouvant s'effectuer qu'au port. Les bassins sont d'ailleurs en général équipés de grues pour faciliter les manutentions d'équipement.

Les organes de propulsion (Diesels et annexes, arbre porte -hélice avec ses paliers, la butée, le presse étoupe) de direction (gouvernail), et autres annexes dont la sûreté de fonctionnement indispensables en mer sont l'objet de contrôles et interventions nécessaires.

En particulier, s'effectue le contrôle des jeux (notamment sur les alésages des pistons et sur les bielles et le vilbrequin) pour détecter l'usure résultant du fonctionnement, et vérifier si elle est acceptable, ou nécessite une intervention (un ordre de grandeur d'usure est d'environ 3 centièmes de millimètres pour 1000 heures de marche)

On distingue :

Le petit carénage, qui s'effectue en principe une fois par an, dont le but principal est le nettoyage de la carène.

Le carénage, qui s'effectue tous les 6 ou 7 ans, où s'effectue tous les travaux d'ampleur.

Le grand carénage, ou rénovation, que s'effectue en général à mi-vie du navire, soit au bout de quinze ans environ, pour remise du navire à l'état neuf

Les opérations de maintenance sont suivies, agréées et certifiées par des organismes de contrôle internationaux, dont le plus connu est le Bureau Véritas

NB - Le terme « grand carénage », qui est très parlant, a été adopté par EDF pour son application à la rénovation de ses centrales nucléaires.

Matériaux employés en construction navale :

Matériau principal : tôle forte d'acier soudable.

(Pour les petits navires, le plastique en polyester armé a remplacé le bois)

Matériaux annexes :

Bronze amirauté (admiralty brass)

Bronze d'aluminium

Titane (tubes de condenseurs)

Aciers inox semi-austénitiques (résistant à l'eau de mer chaude)

Aluminium éventuellement (pour les superstructures)

Bois résistants à l'eau de mer

bois de teck pour la couverture des ponts

gàïac pour coussinets d'arbres porte hélice hors coque

Mais une différence avec la maintenance terrestre : le béton y est inconnu ! (pas de génie civil, pas de problème de fondations...)

(Voir aussi: <https://www.amiraltechnologies.com/actualites/blog/maintenance-des-equipements-industriels-sur-les-navires/>)

* * *

*Par **Gérard Neyret**
Lieutenant de Vaisseau de réserve honoraire
Ancien responsable machines-électricité sécurité
Aviso Garde-Pêche « Ailette »
Ingénieur des Arts et Manufactures et
Vice-Président d'honneur de l'AFIM*