

**SCIENCE
et VIE**

MARINE
72

NUMÉRO HORS SÉRIE

5 F



votre future carrière...

..ne doit pas être choisie au hasard!

Choisissez une profession qui vous passionne, bien payée, aux débouchés nombreux, vous assurant par la suite une promotion certaine et continue.

Seule une formation professionnelle de qualité vous permettra d'atteindre votre but.

★ Faites confiance à l' **ECOLE UNIVERSELLE**
PAR CORRESPONDANCE

ÉTABLISSEMENT PRIVÉ CRÉÉ EN 1907

qui vous guidera sur le choix de votre future profession et vous donnera toutes les connaissances décisives pour réussir pleinement.

★ Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse



P.R.585 **INFORMATIQUE** : Initiation - Crs de Programmation Honeywell-Bull ou I.B.M., de COBOL, de FORTRAN C.A.P. aux fonctions de l'Informatique, B.P. de l'Informatique, B.Tn en Informatique - Stages pratiques gratuits.

E.C.585 **COMPTABILITE** : C.A.P. (Aide-comptable), B.E.P., B.P., B.Tn, B.T.S., D.E.C.S. - Expertise, C.S. révision comptable, C.S. juridique et fiscal, C.S. organisation et gestion - Caissier, Conseiller fiscal - Cpté élément., Cpté commerciale, Gestion financière.

C.C.585 **COMMERCE** : C.A.P. (employé de bureau, Banque, Sténo-dactylo, Mécanographe, Assurances, Vendeur, B.E.P., B.P., B.Tn, H.E.C., H.E.C.J.F., E.S.C., Professorats - Administrateur, Représent. - **MARKETING**, Gestion des entreprises, Publicité, Hôtellerie - C.A.P. : Cuisinier, Commis de restaurant - Employé d'hôtel.

HOTESSE : (Commerce et Tourisme).

R.P.585 **RELATIONS PUBLIQUES** et Attachés de Presse.

C.S. 585 **SECRETARIATS** : C.A.P., B.E.P., B.P., B.Tn, B.T.S., - Secrétariats de Direction - Bilingue, trilingue, de Médecin, de Dentiste, d'Avocat. Secrétariats Techniques - Correspondance - **STENO** (avec disques) - **JOURNALISME** - Graphologie.

A.G.585 **AGRICULTURE** : Classes préparatoires au B.T.A., Ecoles Nationales Agronomiques, Ecoles vétérinaires -

I.N. 585 **INDUSTRIE** : C.A.P., B.E.P., B.P., B.Tn., B.T.S. - Electrotechn., Electron., Mécan., froid, Chimie.

DESSIN INDUSTRIEL : C.A.P., B.P., Admission F.P.A. - Prépar. aux diverses sit.

T.B.585 **BATIMENT, DESSIN de BATIMENT, TRAVAUX PUBLICS** (C.A.P., B.P., B.T.S.) - **METRE** : C.A.P., B.P., Aide-métreur, Métreur, Métreur-vérificateur - **ADMISSION F.P.A.** etc.

P.M.585 **CARRIERES SOCIALES et PARAMEDICALES**.

C.B.585 **COIFFURE** (C.A.P. dame) - **SOINS DE BEAUTE**.

C.O.585 **COUTURE, MODE** : C.A.P., B.P., Coupe, Couture

R.T.585 **RADIO-TELEVISION** (N. et Coul.) : Monteur, Dépann.

ELECTRONIQUE : C.A.P., B.E.P., B.Tn., B.T.S.,

C.I. 585 **CINEMA** : Cinéma 8 mm, 9,5 et 16 mm.

P.H.585 **PHOTOGRAPHIE** - Cours de Photo : C.A.P. de photogr.

C.A.585 **AVIATION CIVILE** : Pilotes, Ingénieurs et Techniciens - Hôtesse de l'air - Brevet de Pilote privé.

M.M. **MARINE MARCHANDE** : Ecoles, Navigation de plaisance.

C.M. **CARRIERES MILITAIRES** : Terre, Air, Mer, Admiss. aux écoles.

T.C.585 **TOUTES LES CLASSES, TOUS LES EXAMENS** : du cours préparatoire aux cl. terminales de A à H. - C.E.P., B.E., E.N., C.A.P. - B.E.P.C., Adm. en seconde, Bac.

E.D.585 **ETUDES DE DROIT**.

E.S. 585 **ETUDES SUPERIEURES DE SCIENCES:**
MEDECINE : 1er et 2e cycle - **PHARMACIE** -
ETUDES DENTAIRES.

E.L. 585 **ETUDES SUPERIEURES DE LETTRES**.

E.I. 585 **ECOLES D'INGENIEURS** (ttes branches de l'industrie).

O.R.585 **COURS PRATIQUES ORTHOGRAPHE, REDACTION**, Latin, Calcul, Conversation - Initiat. Philo, Maths. modernes - **SUR DISQUES** : Cours d'orthographe.

L.V.585 **LANGUES ETRANGERES** : Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Russe, Chinois, Arabe. Chambres de Commerce étrangères - Tourisme - Interprétariat.
SUR CASSETTES : Anglais, Allemand, Espagnol.

P.C.585 **CULTURA** : Perfectionnement culturel. **UNIVERSA** : Initiation aux études supérieures.

D.P.585 **DESSIN, PEINTURE et BEAUX-ARTS**.

E.M.585 **ETUDES MUSICALES** : tous instruments sous contrôle sonore.

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements

★ L'ÉCOLE UNIVERSELLE s'est toujours refusée à pratiquer le démarchage à domicile.

— BON D'ORIENTATION GRATUIT N° 585 —

Nom.prénom _____
Adresse _____

Niveau d'études _____ âge _____
Diplômes _____

INITIALES ET NUMERO DE LA BROCHURE DEMANDEE PROFESSON CHOISIE

585

PROFESSION CHOISIE

ECOLE UNIVERSELLE
PAR CORRESPONDANCE

59 Bd.Exelmans.PARIS 16^e

43, RUE WALDECK-ROUSSEAU - 69-LYON 6^e
14, CHEMIN FABRON - 06-NICE



Notre couverture :

Le fait le plus spectaculaire intervenu dans le domaine maritime au cours des dernières années est certainement la construction de pétroliers géants de 200 000, 300 000 ou 350 000 tonnes. L'escalade n'est pas terminée et deux supertankers de près de 500 000 tonnes sont en construction. En dépit de ses 223 000 tonnes, l'*Emeraude* pourrait presque être considéré comme un « petit » pétrolier.

Photothèque Total

SOMMAIRE DU N° HORS-SÉRIE

MARINE 72

MARS 1972

LA RÉVOLUTION MARITIME	2
PÉTROLIERS GÉANTS : VERS LE MILLION DE TONNES ?	5
LES MINÉRALIERS GÉANTS	17
DES TANKERS D'UN NOUVEAU GENRE	20
DU PORTE-CONTAINERS AU NAVIRE PORTE-BARGES	30
LE DÉVELOPPEMENT DES PORTS	42
VERS LE CARGO SOUS-MARIN	52
NAVIGATION ET CIRCULATION MARITIME	57
DE LA VAPEUR A LA TURBINE A GAZ	64
LA PROPULSION NUCLÉAIRE MARINE	84
LES NAVIRES DE GUERRE	104
NAVIRES-LABORATOIRES	114
LES SOUS-MARINS MINIATURES	120
LES HYDROPTÈRES ARRIVENT	132
ENGINS MARINS SUR COUSSIN D'AIR	142
LES CATAMARANS LOURDS	152

Tarif des abonnements: UN AN. France et États d'expr. française, 12 parutions : 35 F (étranger : 44 F); 12 parutions envoi recom. 51 F (étranger 76 F); 12 parut. plus 4 numéros hors série : 50 F (étranger : 63 F); 12 parut. plus 4 numéros hors série envoi recom. : 71 F (étranger : 104 F). Règlement des abonnements : Science et Vie, 32, boulevard Henri IV, Paris. C.C.P. PARIS 91-07 ou chèque bancaire. Pour l'Étranger par mandat international ou chèque payable à Paris. Changements d'adresse : poster la dernière bande et 0,80 F en timbres-poste. — Belgique, Grand Duché de Luxembourg et Pays-Bas (1 an) : service ordinaire FB 300, service combiné, FB 450. Règlement P.I.M. Services, Liège, 10, boulevard Sauvenière, C.C.P. 283-76. — Maroc : règlement à Sochepress, 1, place de Bandoeng, Casablanca, C.C.P. Rabat 199.75.

Directeur général : Jacques Dupuy. Rédacteur en chef : Serge Caudron. Maquettiste : Louis Boussange. Direction, Administration, Rédaction, Excelsior Publicité : 32, boulevard Henri IV, Paris 4^e. Tél. : 887.35.78. Chèque Postal : 91-07 PARIS. Adresse télégr. : SIENVIE PARIS.

En septembre 1971, un armement japonais mettait en service entre le Golfe persique et le Japon un pétrolier de 372 000 tonnes de port en lourd, le Nikessi Maru. C'est actuellement le plus gros pétrolier construit. Le record sera, d'ici deux ou trois ans, le fait de deux « supertankers » de 477 000 tonnes actuellement en construction au Japon.

L'apparition de pétroliers géants a certainement été l'événement le plus spectaculaire enregistré dans le domaine maritime au cours des dix dernières années. En 1962, les plus grands pétroliers en service ou en commande n'excédaient pas 125 000 tonnes.

A l'origine de la montée en flèche des tonnages unitaires se trouve la fringale de sources d'énergie à bon marché manifestée par tous les pays développés. Multiplier les pétroliers de 100 000 tonnes de 1960 n'aurait pu conduire à abaisser le coût du transport de « brut ». Il n'en est plus de même avec de très grandes unités.

Le poids (donc le prix) des structures augmente en effet beaucoup moins vite que celui du contenu des cuves. A vitesse égale, la puissance de l'appareil propulsif ne croît que comme la puissance $2/3$ du poids du navire en charge. D'où une économie relative en carburant qui rend admissible un allongement considérable des roules maritimes. Depuis 1967, en particulier, le canal de Suez est interdit au trafic maritime et la route du Cap est de règle. Les chiffres sont éloquents : transportée dans les cuves d'un « 80 000 tonnes », du Golfe persique à un port français, par la route du Cap, la tonne de pétrole brut n'est pas très loin de coûter, à l'arrivée, deux fois plus qu'avec les tankers de 500 000 tonnes de demain.

Revenons un instant au Nikessi Maru pour préciser ses mensurations. Longueur 347 mètres ; largeur 54,50 mètres ; tirant d'eau 27 mètres. De tels chiffres posent maints problèmes. Les infrastructures portuaires seront peut-être le facteur limitant principal de la croissance des pétroliers (des « megatankers » d'un million de tonnes ne sont pas, techniquement, irréalisables).

L'aménagement à grands frais de ports en eau profonde est un peu partout à l'ordre du jour (sans aller aux extrêmes, un 200 000 tonnes « cale » 17 mètres, un 280 000 tonnes près de 22 mètres). On en arrive à concevoir des ports artificiels en pleine mer. Ainsi du projet du Cap d'Antifer, près du Havre, étudié ces dernières années.

La bousculade énergétique des pays industriels est encore à l'origine de navires très particuliers, les méthaniens. La liquéfaction à -160° du gaz naturel permet son stockage et son transport sous volume très réduit. Encore faut-il disposer de tankers cryogéniques de forte capacité. En France même, plusieurs techniques de construction ont vu le jour. Le record de capacité est d'ailleurs détenu par un chantier français auquel une compagnie gazière américaine a passé commande de trois méthaniens de 125 000 m³. Le plus grand méthaneur en service actuellement est un 71 000 m³. La course au gigantisme n'est pas, on le voit, l'apanage des pétroliers.

Gigantisme encore pour les transporteurs en vrac (navires mixtes pétroliers-minéraliers ; minéraliers ; charbonniers...) ; 106 unités de 150 000 tonnes et plus de port en lourd ont été commandées dans le monde en 1970.

Le transport des « marchandises générales » a peut-être connu, techniquement parlant, des développements encore plus intéressants au cours des 10 dernières années. Schématiquement, le problème était de diminuer les temps morts passés au port en opérations de chargement-déchargement. D'où la conception de navires « ouverts », de navires à manutention horizontale (ouverts sur les flancs ou aux extrémités), puis le développement de la containerisation. On en est arrivé à construire des unités très spécialisées, les porte-containers (intégraux ou mixtes), souvent caractérisés par une vitesse élevée, de l'ordre de 30 nœuds. Ces porte-containers évoluent eux aussi vers des tailles de plus en plus grandes. Le Kangourou des Messageries Maritimes, lancé à La Ciotat en 1970, mesure 228 mètres et transporte 1500 containers de 20 pieds.

LA REVOL MARI

UTION TIME

Solution extrême, à l'heure actuelle, pour accélérer la rotation des navires marchands, le navire... porte-navires. Les barge, sortes de containers flottants pouvant être pris en charge par des remorqueurs ou des pousseurs et remonter des canaux, sont mis à l'eau ou chargés très rapidement par un portique équipant le navire-mère. Cette innovation, encore balbutiante, pourrait éviter le recours à des infrastructures portuaires complexes et coûteuses.

Le trafic par containers exige en effet des équipements de manutention spécialisés, des aires de stockage, des dessertes routières et ferroviaires. Le gigantisme est, par ailleurs, la règle en matière portuaire pour répondre à l'accroissement de taille des navires, du porte-containers au minéralier. Il existe enfin un autre axe au développement des zones portuaires : pour les pondéreux (pétrole, minéraux, phosphates, charbon), transbordements et transport terrestre peuvent faire perdre une bonne partie des avantages de prix autorisés par les navires géants. On a donc tout intérêt à concentrer les industries utilisatrices à proximité des zones de débarquement. Les « complexes portuaires industriels » connaissent, dans ce contexte, un développement colossal. Il suffit de citer, pour la France, Le Havre, Dunkerque, et surtout Marseille-Fos.

Au large, l'accroissement des échanges maritimes et le gigantisme de certaines unités, qui les rend peu « manœuvrants », créent une foule de problèmes. C'est vrai, en particulier, dans la Manche et surtout pour le Pas-de-Calais (où un millier de navires transitent chaque jour, du voilier de plaisance au pétrolier de 200 000 tonnes). Imprécision de la cartographie des fonds, insuffisances des radars anti-collision, indiscipline de certains commandants, autant de circonstances à l'origine de collisions ou d'échouages aux conséquences parfois catastrophiques.

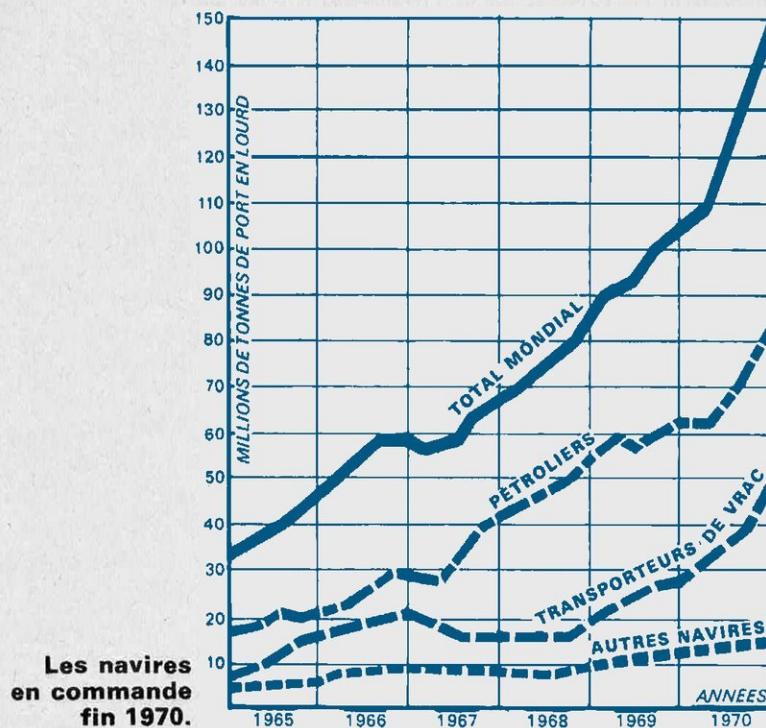
Moins étroitement lié aux nouvelles conditions du trafic maritime, le problème de la navigation à longue distance réclame lui aussi des solutions. Les nouveaux réseaux radioélectriques (émetteurs très basse fréquence à couverture mondiale, peu sensibles aux conditions atmosphériques) devraient y contribuer.

En matière d'appareils propulsifs, dont le choix est étroitement lié aux paramètres d'exploitation du navire, la turbine à vapeur vient en première place pour les très grandes unités, du genre super-pétrolier. Les diesels semi-rapides (dans la construction desquels la France tient une place de choix) connaissent des applications extrêmement diverses. Les diesels « lents », dont la puissance par cylindre atteint 4 000 ch, sont intéressants dans la gamme des 35 000-40 000 ch.

Assez peu économique, la turbine à gaz commence à s'implanter comme mode de propulsion unique sur certains navires spécialisés rapides (porte-containers). Sur les bâtiments militaires, la vogue actuelle est à son emploi comme source d'appoint, capable de fournir quasi instantanément de très fortes accélérations.

L'expérience acquise en matière de propulsion nucléaire à bord des sous-marins et bâtiments militaires de surface n'a pas encore très largement « débouché » dans le domaine civil. Le problème est d'ordre financier : prix de l'installation, coût du combustible, frais d'exploitation... Il semble toutefois que des puissances de l'ordre de 80 000 ch justifieraient, au-delà des expériences actuelles, l'emploi de réacteurs nucléaires. Le navire de charge sous-marin à propulsion nucléaire est, quant à lui, l'objet d'études très poussées.

En dehors des sous-marins nucléaires lance-missiles, nul ne songe à nier que les flottes de combat occidentales aient pris un sérieux retard sur celle de l'URSS. Destroyers rapides, porte-hélicoptères, navires d'assaut sont en projet ou en construction, aux USA, en France ou Grande-Bretagne, pour combler ces lacunes. Le recours aux missiles et à l'électronique est, d'une façon générale, le trait le plus saillant des flottes de combat modernes.



L'océanographie, la géophysique, la biologie marine se voient alloués d'importants crédits par la plupart des nations industrielles. Des navires-laboratoires dotés d'équipements très évolués, y compris d'ordinateurs, partent pour des missions de longue durée. En France une nouvelle série de petits bâtiments océanographiques est en cours de construction.

L'exploitation industrielle des fonds marins, ou au moins du plateau continental, s'accompagne de la mise au point de nouveaux engins sous-marins d'intervention et de surveillance. Le sous-marin « crache-plongeurs » a, en particulier, commencé sa carrière effective pour les besoins des pétroliers. La grande limitation du navire de surface a été et reste sa vitesse relativement faible, résultant des forces de frottement de l'eau sur la coque et du choc des vagues. Déjauger la coque grâce à une puissance initiale suffisante est une solution, mais peu économique pour des bâtiments de conception classique. L'utilisation de plans porteurs totalement ou partiellement submergés est plus satisfaisante. Les hydroptères en sont aujourd'hui à leur deuxième génération, représentée par des engins plus ou moins expérimentaux capables de croiser à 40 ou 50 nœuds par mauvaise mer.

Les navires sur coussin d'air cherchent aussi à s'affranchir de l'eau et des vagues. Rarement développement et exploitation commerciale d'une technique entièrement nouvelle n'auront été aussi rapides. Au 1^{er} octobre 1971, quelque 2 millions de passagers avaient emprunté l'hovercraft pour traverser la Manche depuis la mise en service régulier en 1968 (moins de 10 ans après la première traversée de la Manche par le SRN-1 du professeur Cockrell).

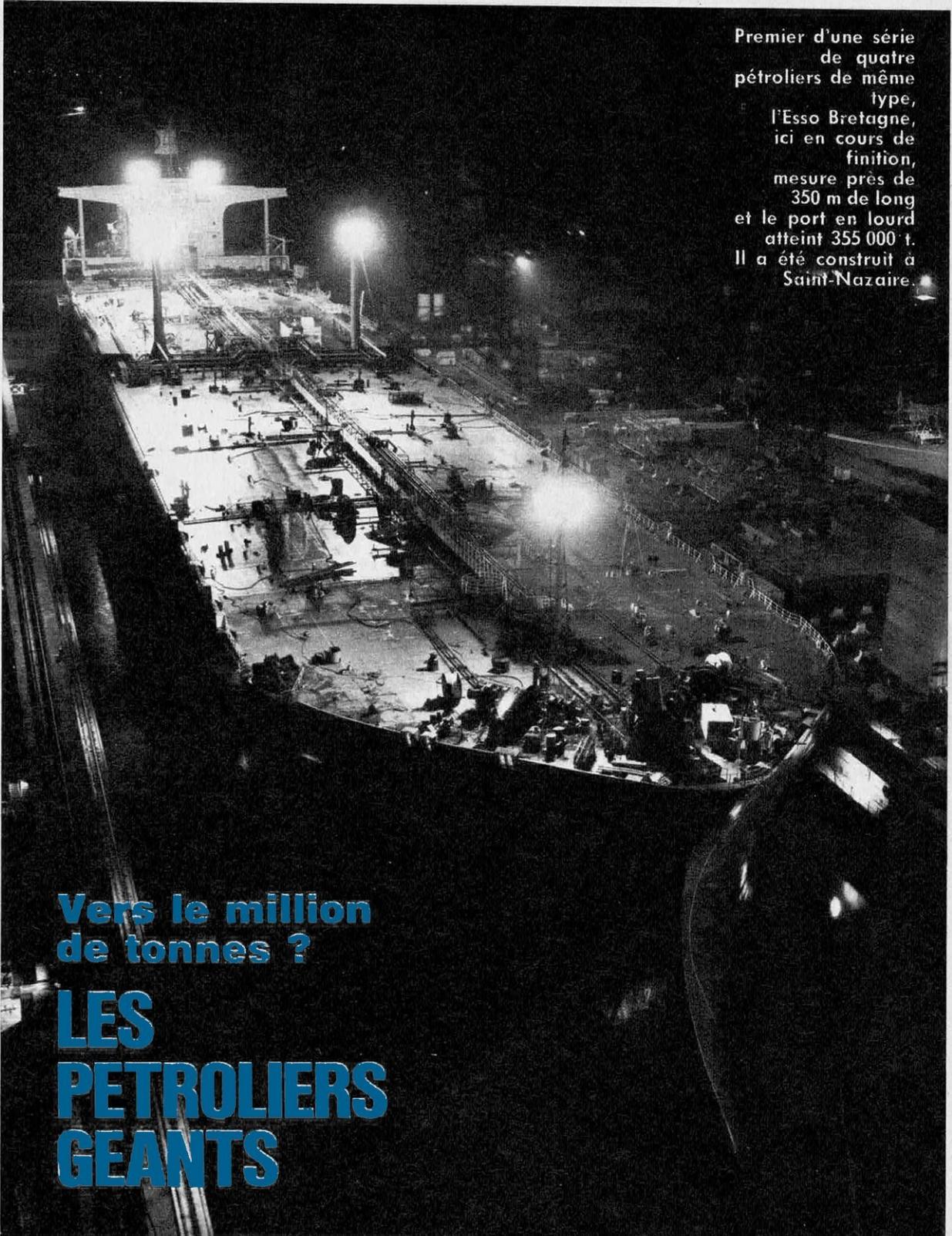
La technique des aéroglisseurs n'a d'ailleurs pas fini d'évoluer. L'aéroglisseur hybride (à propulsion par hélice marine) ou les types à flancs rigides, assez proches des catamarans, n'en sont qu'à leurs tout débuts. Quant au catamaran proprement dit, il n'est pas oublié par les bureaux d'études navales. Les catamarans lourds seront peut-être la solution la plus satisfaisante, demain, comme navires porte-barges ou même comme porte-avions.

On a dit qu'il s'était passé plus de choses dans le domaine maritime au cours des dix dernières années que pendant les cinquante précédentes. La formule ne paraît pas exagérée.

Alors ? rendez-vous en 1982 ?

S.C.

Premier d'une série de quatre pétroliers de même type, l'Esso Bretagne, ici en cours de finition, mesure près de 350 m de long et le port en lourd atteint 355 000 t. Il a été construit à Saint-Nazaire.

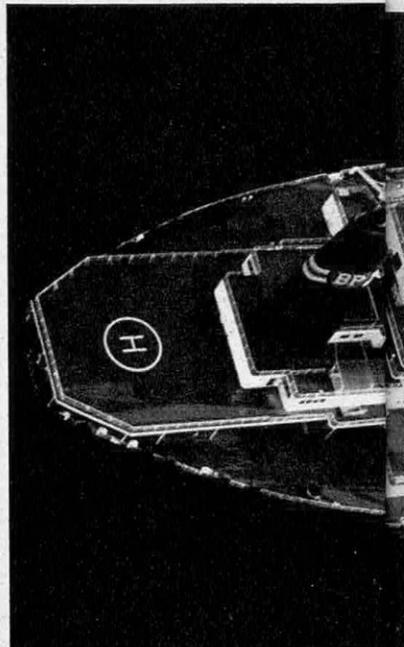
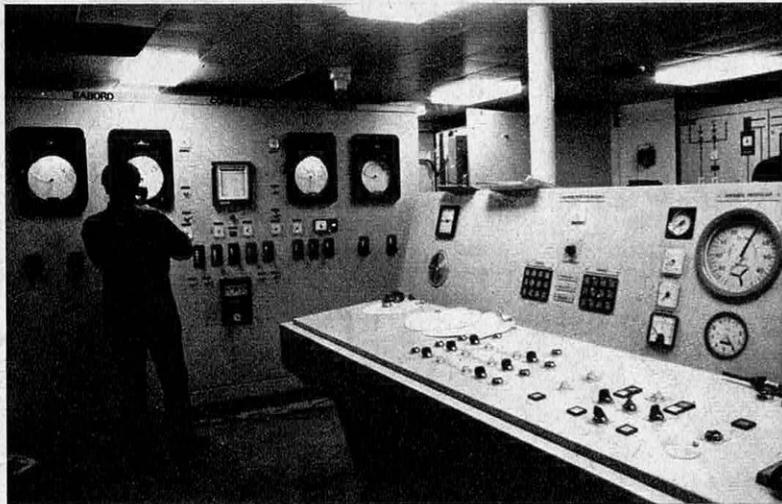


Vers le million
de tonnes ?

LES PETROLIERS GEANTS

Il y a plus de cinquante ans qu'on utilise les termes de « grands pétroliers », « supertankers », ou « géants des mers ». Vers 1920, ils s'appliquaient à des navires de 20 000 tonnes. Aujourd'hui, ils concernent des bâtiments de 200 000 à 500 000 tonnes, en attendant ceux de 1 000 000 de tonnes. On peut se demander, comme pour les grands transports aériens, s'il existe une limite à ce gigantisme. Dans la courbe de croissance des tonnages, on note plutôt des paliers que des limites : il y a deux ans, on trouvait un palier vers 190 000-250 000 tonnes, mais il s'est déjà déplacé vers les 250 000-320 000 tonnes. Deux navires de 477 000 tonnes ont même été commandés.

355 m de long, 49 m de large, plus de 26 m de creux, 240 000 t de port en lourd, le Blois (Pétroles BP) a été construit aux chantiers de La Ciotat.



Devant l'accroissement continu des transports pétroliers internationaux, qui représentent plus de la moitié en tonnage du commerce maritime en 1971, l'incitation majeure à la construction de pétroliers de plus en plus gros est la diminution du prix de la tonne de port en lourd (tpl). Celui-ci est réduit à peu près de moitié quand on passe d'un pétrolier de 30 000 tpl à une unité de 250 000 tpl.

Le prix à la tonne se calcule à partir du prix d'achat du navire, des charges d'assurances et d'une série de dépenses d'exploitation incluant les soutes, les frais de ports, les charges d'équipage, les réparations, etc. Une bonne partie des économies sur le prix à la tonne se fait dans cette dernière catégorie. Un pétrolier de 250 000 tpl n'a pas beaucoup plus de frais d'équipage qu'un 30 000 tpl et son appareil propulsif a une puissance d'environ 30 000 ch contre 17 000, soit moins de deux fois plus pour une capacité six fois plus grande.

L'augmentation du port en lourd résulte de trois facteurs : augmentation des dimensions ; évolution des formes ; emploi de nouveaux matériaux. Le tableau p. 10 retrace l'évolution des dimensions principales des pétroliers de 30 000 à près de 500 000 tonnes. Indépendamment de leurs dimensions, les pétroliers sont devenus plus carrés, le rapport du volume de la carène au parallélépipède rectangle des trois dimensions passant de 0,77 à 0,80 puis 0,85, d'où une augmentation de capacité de l'ordre de 10 %. Comme on le dit parfois, ces navires tendent vers la « caisse à savon ». Au chapitre matériaux, enfin, l'usage d'acières à haute résistance et de revêtements protec-

teurs plus efficaces a permis une réduction sensible de l'échantillonnage (l'épaisseur) des tôles et du poids total d'acier utilisé, avec augmentation corrélatrice du port en lourd. Ce gain risque cependant d'être remis en question par de nouveaux règlements internationaux visant, pour des raisons de sécurité (risques de pollution en cas d'accident), à augmenter le compartimentage, donc la quantité d'acier.

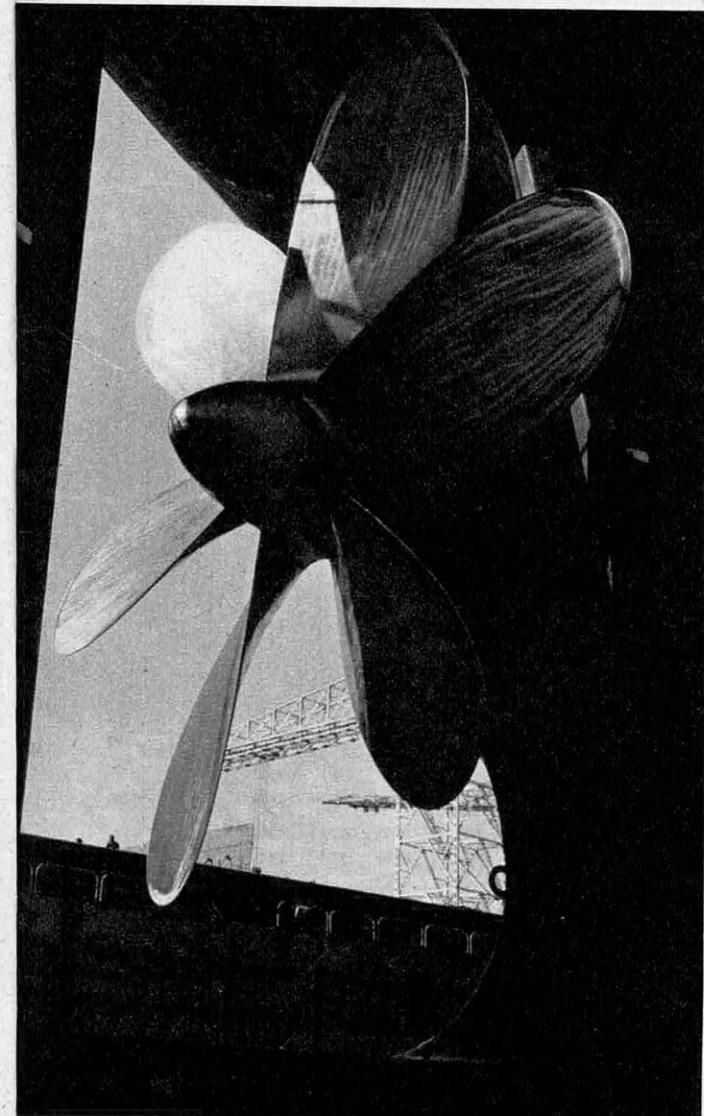
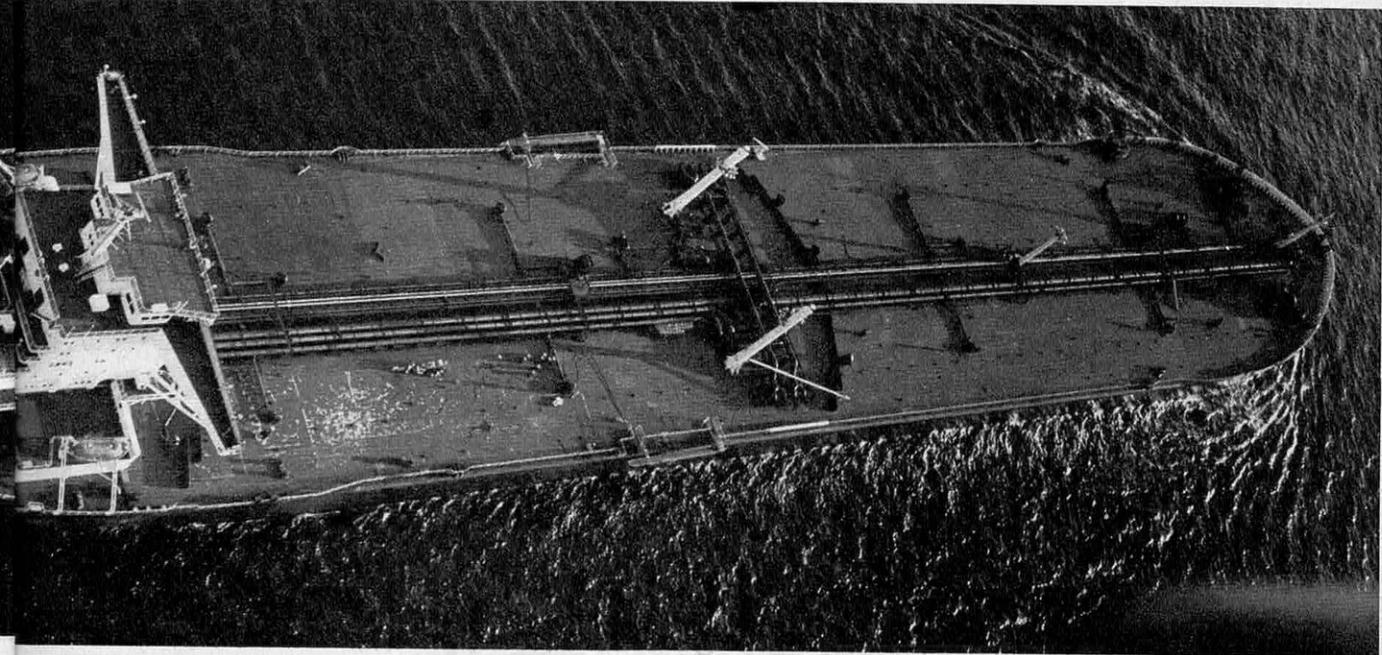
En fait, au cours des deux dernières années, les avantages de coût résultant de l'accroissement des dimensions se sont trouvés réduits par d'importantes augmentations de prix qui n'étaient pas prévues (investissements, de l'ordre de 50 à 100 % ; soutes, environ 30 % ; primes d'assurance, 20 à 80 % selon le cas). Cette augmentation des coûts a eu pour conséquence d'améliorer l'économie d'utilisation des pipes-lines du Moyen-Orient. Il n'en reste pas moins que, pour un voyage entre le golfe Persique et le port de Rotterdam par le Cap, la tonne transportée revient à près de 55 F pour un 30 000 tpl, 41 F pour un 70 000 tpl et 30 F pour un 250 000 tpl.

Sur le parcours entre golfe Persique et ports européens, le canal de Suez a longtemps imposé une limite majeure à l'accroissement des dimensions des navires. La première génération des 190 000-220 000 tpl a d'ailleurs été définie de façon à permettre le passage ilége (à vide) de Suez. Dans le détail, les limitations dimensionnelles du Canal étaient les suivantes :

— tirant d'eau : 11,40 m, excluant les pétroliers de 100 000 tpl en charge.

L'aspect de la salle de commandes de l'appareil propulsif (page de gauche) fait mesurer le chemin parcouru depuis l'époque héroïque des anciens

navires à vapeur. L'appareil propulsif du Blois développe plus de 32 000 ch et entraîne une hélice à six pales d'une dizaine de mètres de diamètre.



— longueur : 300 à 305 m à la flottaison, à cause de certains passages courbes.

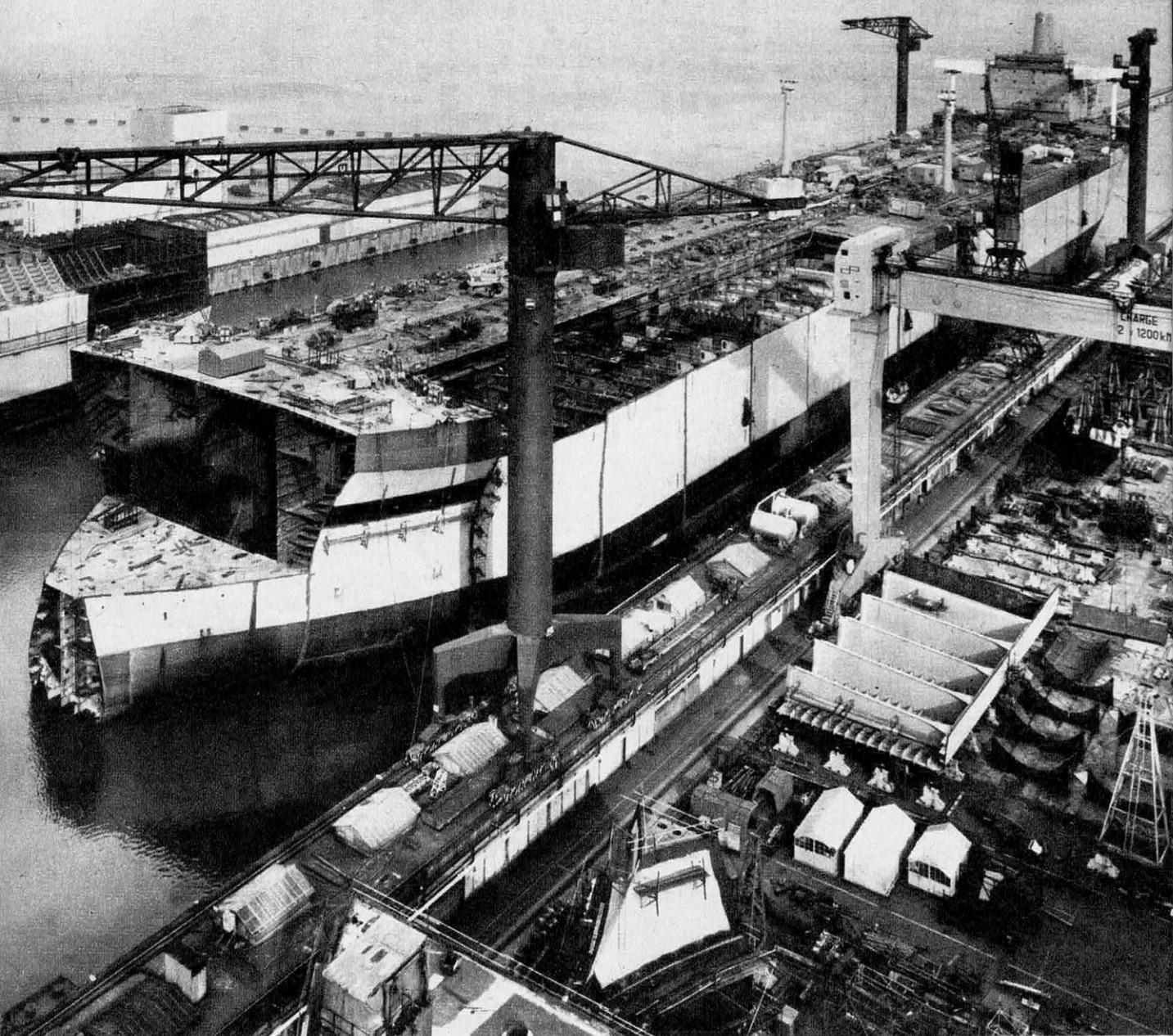
— largeur : la section transversale immergée du navire ne devait pas excéder le quart de la section droite du canal, soit environ 1 800 m². Cette limitation, basée sur des impératifs hydrodynamiques et de tenue des ouvrages, était la plus contraignante. Un important programme de travaux était d'ailleurs prévu pour la reculer.

Pour satisfaire aux besoins de transport soudainement accrus par la crise de 1967, les armateurs se lancèrent résolument dans la voie des pétroliers géants. Le goulet d'étranglement de Suez étant, à proprement parler, tourné, il n'était plus de limites au gigantisme des navires...

LES INCONVENIENTS DU GIGANTISME

Le trafic international intéresse deux parcours principaux reliant une région productrice, le golfe Persique, à deux régions de consommation forte et sans ressources pétrolières propres ou presque, l'Europe et le Japon. De nouvelles contraintes liées à la nature de ces parcours viennent momentanément freiner la course aux très grandes dimensions. Il s'agit de la profondeur de certains passages et de l'insuffisance des ports terminaux.

A marée basse, la Manche a, par exemple, une profondeur d'eau de 23-24 m. Compte tenu de l'enfoncement dû à la vitesse sur petits fonds (environ 1 m) et au roulis (0,5 à 1 m pour un grand navire), les tirants d'eau limite

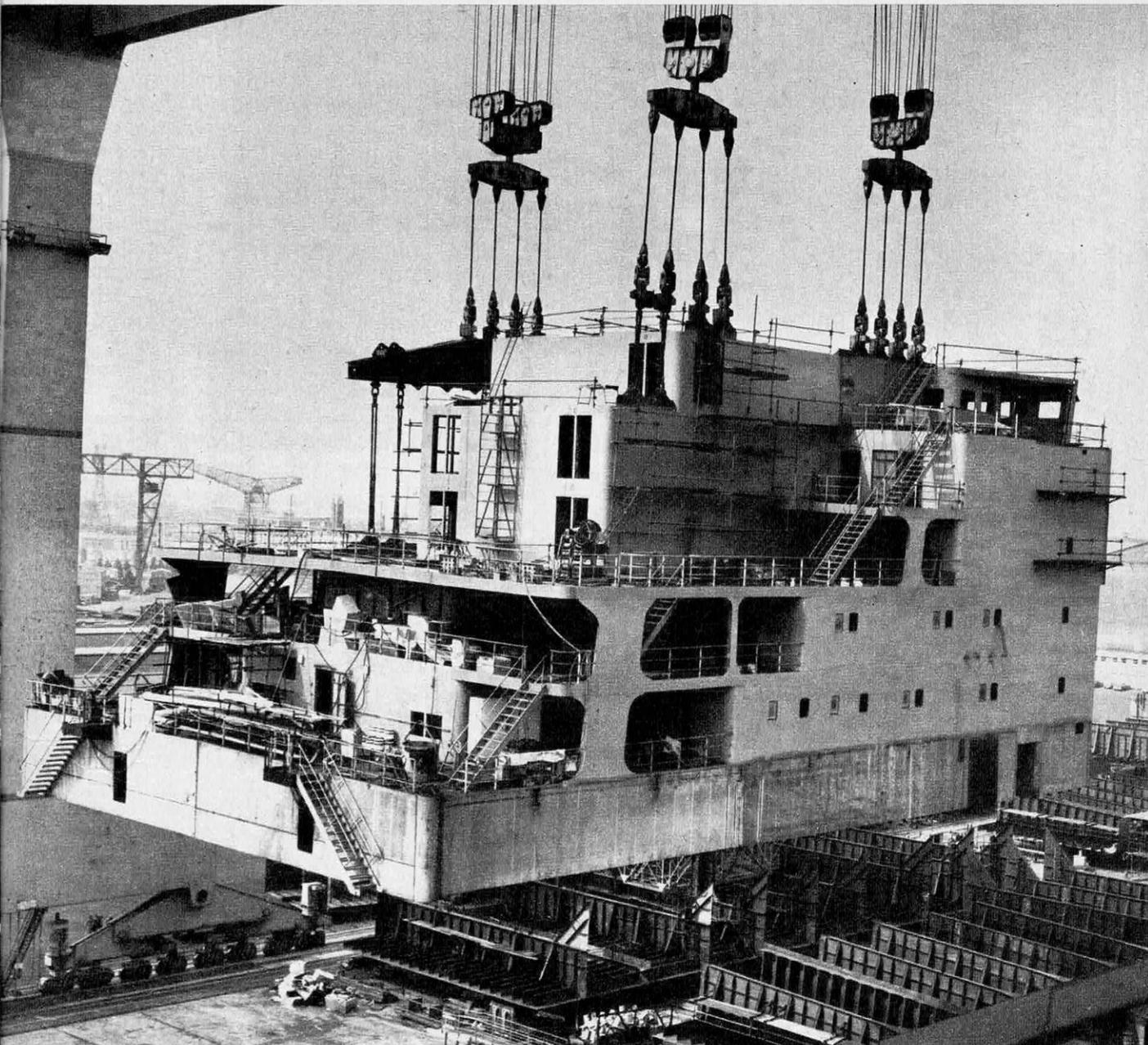


sont de 19-20 m. Il en est de même pour la route du golfe Persique au Japon : le détroit de Malacca, 18 m de profondeur, oblige les pétroliers de plus de 200 000 tpls à passer par le détroit de Lombok, en plein archipel indonésien, d'où un allongement du voyage de deux jours.

Ce problème explique le palier récent dans les tonnages unitaires, vers 250 000 tpls, qui correspond à un tirant d'eau d'une vingtaine de mètres.

La seconde contrainte est liée aux ports. La plupart des ports européens, hollandais, belges et allemands en particulier, sont situés sur des eaux insuffisamment profondes. En 1969, trois ports en Europe seulement autorisaient des tirants d'eau de 19 à 20 m. Il s'agit de Fos, du Havre, de Rotterdam-Europort (au prix de quels efforts, pour ce dernier...). Pour Le Havre, décision a été récemment prise, au terme d'une sévère compétition avec Cherbourg et Dunkerque, de créer un port en eau profonde

Retour à l'Esso-Bretagne en cours de construction : en page de gauche, le pétrolier avant mise en place des derniers blocs gauches de la partie avant et du bulbe d'étrave. En page de droite, à un stade antérieur de la construction, installation par un portique du gigantesque château arrière.



pour le déchargement des pétroliers jusqu'à 500 000 tonnes.

Une solution au problème des terminaux, mais très onéreuse, est l'installation de ports-relais artificiels (encore appelés terminaux d'éclatement) en eau profonde. La cargaison y est partagée entre plusieurs pétroliers plus petits, pour aller alimenter les raffineries. Actuellement un terminal d'éclatement existe à Bantry-Bay, en Irlande, un autre à Okinawa, deux au Canada (Point-Tuper, en Nouvelle-

Ecosse et Saint-John au Nouveau-Brunswick). Les trois premiers sont utilisés par la série des **Universe** de 326 000 tpl de la Gulf Oil. A noter également un projet récent de terminal d'éclatement près de Hambourg (le long des hauts-fonds de l'estuaire de l'Elbe) pour des navires jusqu'à 350 000 tpl, qui devront contourner l'archipel britannique. Le manque de ports est à l'origine d'énormes pertes financières. En 1970, sur 107 voyages entre le golfe Persique et l'Europe, 31 % seu-

Evolution des dimensions des grands pétroliers

Port en lourd (en tonnes)	Longueur (en mètres)	Largeur (en mètres)	Tirant d'eau (en mètres)
30 000	190	26	11
55 000	215	31	11,8
75 000	247	36	13,2
95 000	254	37	14,3
120 000	263	41	15,1
220 000	315	48	19,4
326 000 *	340	52	24,3
377 000	340	53	26,7
477 000 **	374	61	27,6

* Navires de la série Universe pour la Gulf Oil.

** Navires Globtik (deux en commande) pour la Tokyo Tanker.

lement concernaient un seul port de chargement et un seul de déchargement. Le fait de charger à deux ports différents et décharger dans deux ports entraîne une perte de temps de l'ordre de cinq jours par voyage.

Autre contrainte née du gigantisme, les chantiers navals et les formes de réparation. Aussitôt après la crise de Suez, les Japonais avaient été les premiers à se lancer dans la construction de super-pétroliers, mais de nombreux pays les ont suivis. Au 1^{er} janvier 1971, sur un total de plus de 3 000 unités représentant un tonnage global de 152 millions de tonnes, 131 navires d'au moins 200 000 tpd étaient en service. En 1970, la classe des 250 000-300 000 tpd en commande a dépassé celle des 200 000-250 000 et cette tendance s'est renforcée dans le cours de l'année dernière. Les constructeurs nippons détiennent encore près de 40 % des commandes mondiales et la capacité de leurs chantiers continue de s'accroître à vive allure. D'ici 1975, elle pourrait bien dépasser la capacité mondiale actuelle.

Encore faut-il pouvoir réparer, en cas de nécessité, les navires ainsi construits. Il n'existe actuellement dans le monde qu'un petit nombre de formes susceptibles d'accueillir des navires de plus de 50 m de large, d'autant que ces installations doivent se trouver de préférence à proximité des grandes routes pétrolières. L'exemple du **Mactra**, pétrolier de 208 000 tpd de la Shell, est significatif: accidenté, ce navire dut subir une réparation de fortune à Durban pour pouvoir reprendre sa route, cahin-caha, vers le Japon, à fin de remise en état complète. Compte tenu de l'escalade actuelle des prix, le montant total de l'opération dépassera sensiblement le coût initial du navire...

L'expérience acquise avec les pétroliers géants est encore assez limitée, ce qui milite

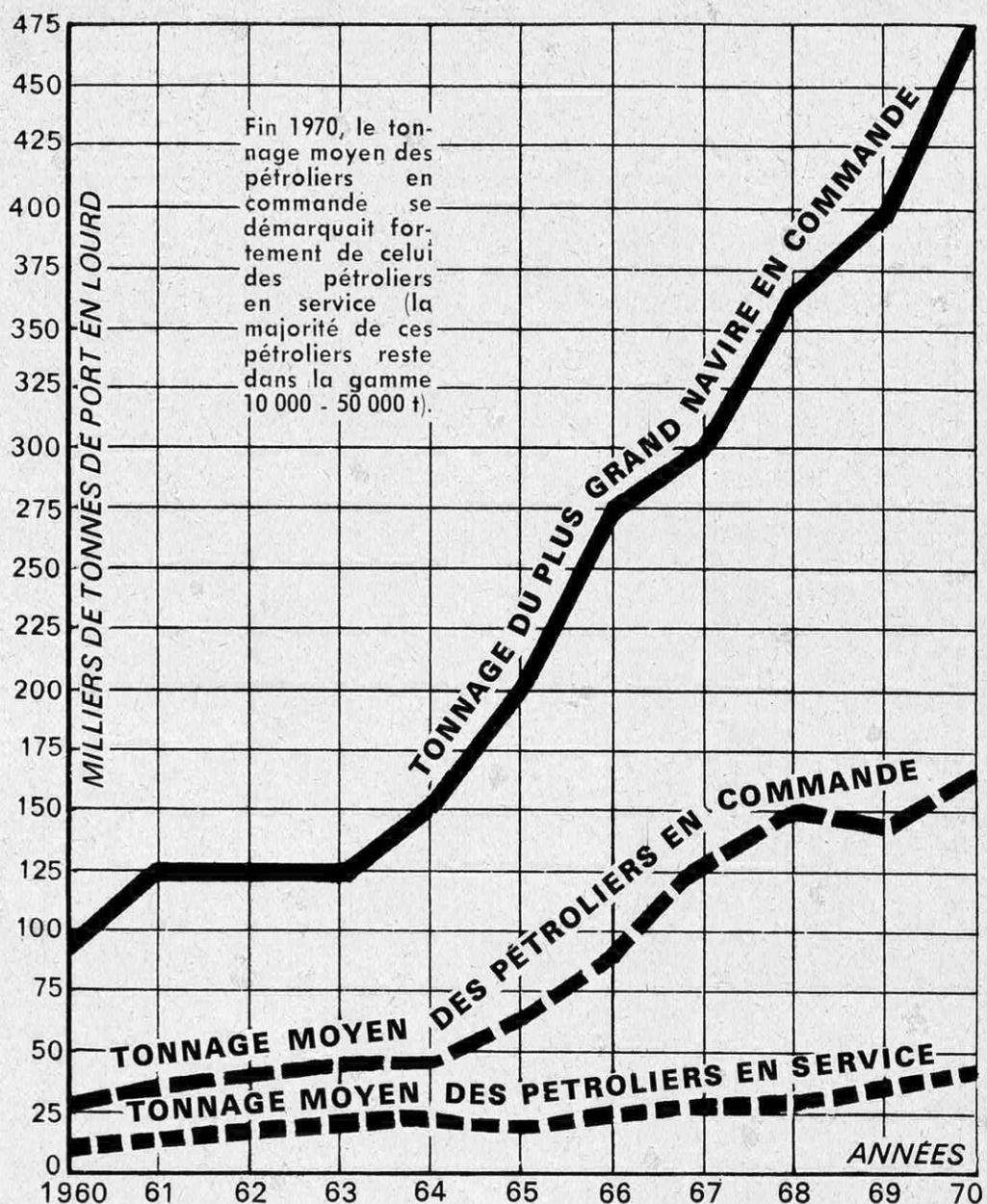
en faveur d'une pause. Trois navires de la classe des 200 000 tpd ont été perdus en 1969 par suite d'explosions mal expliquées. Ceci a d'ailleurs conduit les assureurs à augmenter leurs tarifs, qui représentent maintenant plus de la moitié des frais d'exploitation annuels... Si nous considérons que la génération des 200 000-300 000 tpd correspond à un certain palier, il est intéressant d'examiner les principaux problèmes qui se posent pour l'étude, pour la construction et pour l'exploitation de ces navires. Mis à part les problèmes de sécurité, les considérations économiques sont déterminantes. Gagner un nœud de vitesse, c'est gagner un jour ou deux sur chaque parcours, et peut-être un voyage dans l'année. Gagner un pour cent sur les formes de carène, c'est charger 2 000 à 3 000 tonnes de « brut » en plus. Cette hantise économique s'explique. Les sommes en cause sont énormes : indépendamment de la valeur du navire (de l'ordre de 165 millions pour un 250 000 tpd), la cargaison elle-même représente en valeur 10 à 15 millions de francs.

DU BUREAU D'ETUDES A LA MISE A FLOT

Pour construire ces géants des mers, extraire des techniques anciennes n'a pas toujours suffi. Il a fallu étudier de nouvelles carènes, rechercher de nouveaux matériaux de construction, accroître la stabilité, améliorer les appareils propulsifs. Les nouvelles méthodes de construction ont aussi eu pour effet de transformer progressivement les chantiers navals en « usines » à fabriquer des navires. Entendons qu'une usine met en œuvre des ensembles fortement automatisés où la programmation des fabrications est souvent assurée par l'ordinateur.

La construction d'un grand pétrolier commence évidemment par le dessin des plans, à partir des dossiers du projet établis tenant compte du choix des matériaux, des dimensions, et de la conformité aux règles de sécurité. En France, le bureau Véritas se charge de tous les contrôles de projets. Les ordinateurs permettent de calculer avec une grande précision les formes de la coque, la résistance des matériaux, les contraintes etc. Afin d'essayer de gagner un point ou une fraction de point sur la vitesse, de nombreuses études ont porté sur des formes capables de diminuer la résistance à l'avancement. Des formes différant radicalement des formes conventionnelles ont été essayées en bassin des carènes : creux d'étrave, navire à bouchains vifs (formes angulaires) ou, au contraire, carène de révolution en cigare (contrairement aux calculs, celle-ci a montré un accroissement considérable des résistances hydrodynamiques).

Curieusement, les études ont plutôt mis en évidence le bien-fondé des solutions actuelles,



ce qui n'est pas trop surprenant si on considère qu'elles résultent de quelque 6 000 ans d'expérience.

Un des résultats les plus intéressants a été la mise au point du bulbe d'étrave. Un navire sur ballast (sa cargaison de pétrole étant déchargée et partiellement remplacée par de l'eau de mer pour assurer la stabilité) déplace 50 à 60 % de sa pleine charge et devrait bénéficier d'un accroissement de vitesse de 10 à 15 %. L'expérience révèle que l'accroissement ne dépasse pas, en fait, 4 à 6 %. On devait découvrir qu'un bulbe de dessin convenable à l'avant améliorait de façon sensible la vitesse à vide et même en charge. Diverses formes ont été essayées, l'action dynamique du bulbe étant encore mal comprise. Actuellement encore, le choix se fait après des essais en bassin, la forme sélectionnée étant

un compromis entre celle qui s'avère la meilleure sur ballast et en charge normale.

Quand, après les calculs et les essais, la forme du navire a été définie, les ordinateurs permettent encore d'obtenir, sous la forme de rubans perforés, les instructions pour le traçage et le découpage des pièces.

La coque d'un navire, c'est essentiellement un assemblage de tôles et de profilés. Les profilés, fers longs de diverses sections, sont soudés aux tôles pour assurer la rigidité de l'ensemble. L'emploi dans la construction de matériaux nouveaux, tels que les aciers à haute résistance, a été facilité par les études menées dans l'industrie aéronautique.

Pour l'ingénieur naval, le navire est assimilé à une poutre devant résister à une vague dont la distance entre crêtes est égale à sa longueur, le creux étant égal au 1/20 de cette

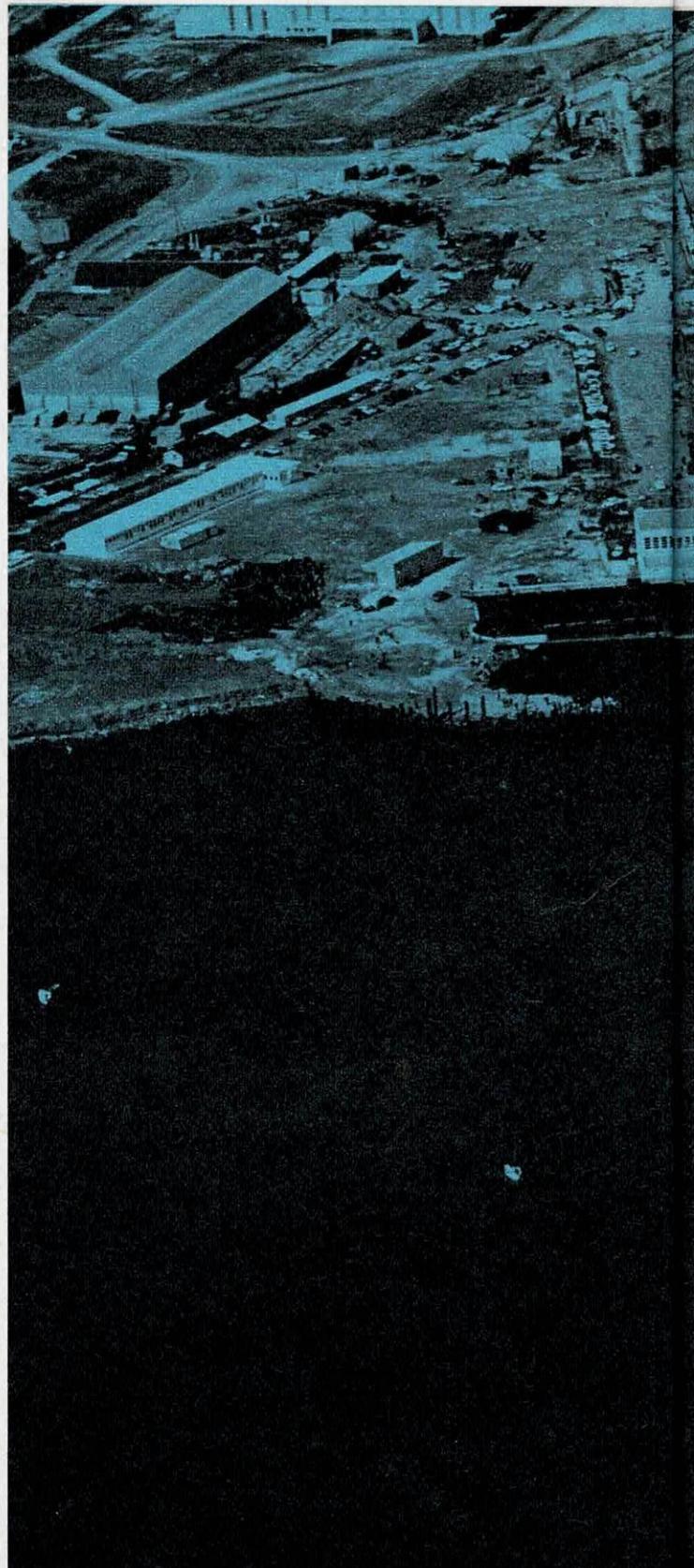
L'entrée en service de pétroliers de 200 000 t et plus pose de nombreux problèmes : problèmes portuaires, évoqués en détail en page 42 et suivantes ; problèmes des réparations. La forme de radoub de Brest, qui peut accueillir des navires de 200 000-250 000 t, est un atout pour notre pays.

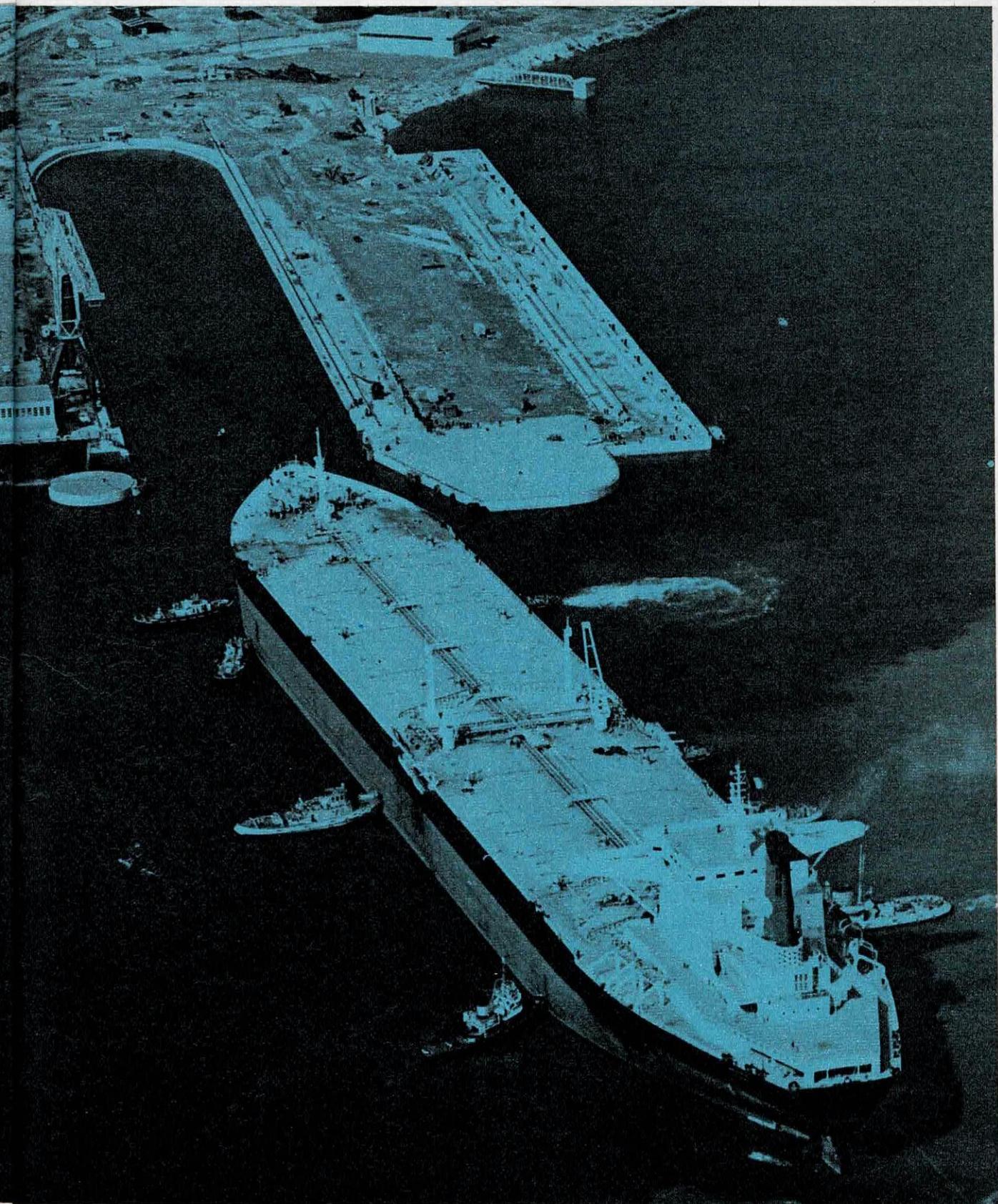
longueur. Fondamentalement, c'est donc de la flexion longitudinale que dépend la résistance d'une coque. A noter toutefois que les coefficients de sécurité ont pu être modifiés du fait que de telles vagues ayant une distance entre crêtes de plus de 200 m n'ont qu'une faible probabilité.

Si les parties longitudinales inférieure et supérieure du pétrolier sont en acier à haute résistance, toute la tranche « citerne » est en acier spécial, le gain de poids pouvant atteindre 11 à 13 %. La diminution de l'épaisseur des tôles (de 10 à 35 mm aujourd'hui) entraîne une diminution du volume des soudures, un gain de temps pour le soudage, ainsi que de moindres risques de déformation après l'opération. Ces avantages se paient, hélas, par un prix de revient plus élevé, par des problèmes de soudage parfois difficiles et par la nécessité, lors des réparations, de disposer rapidement de tôles de la nuance voulue. Le découpage des tôles se fait par oxycoupage sur des bancs à commande automatique, selon le tracé défini par les rubans perforés. La précision obtenue est plus grande que par l'emploi du « gabarit », tracé sur papier avec spot lumineux suivant le trait et guidant le chalumeau.

Tôles et profilés sont assemblés en de grands « panneaux-plans » constituant 70 % de la coque métallique. L'atelier des panneaux-plans constitue une véritable chaîne de montage : soudage sur une face, retournement, mise en place et soudage des profilés, habillage avec des éléments secondaires (cloisons, conduits, vannes...). Parallèlement aux panneaux-plans sont préparés les « blocs gauches » pour certaines parties du navire, constitués de tôles et de profilés mis en forme par des rouleaux ou des presses hydrauliques.

Les panneaux-plans et les blocs gauches achevés sont revêtus d'une couche protectrice dans des conditions de propreté rigoureuse et d'hygrométrie soigneusement contrôlée. Les nouveaux matériaux de revêtement — car on ne parle plus aujourd'hui de « peintures » — ont autorisé des progrès considérables. Le phénomène bien connu de salissure des coques détériorait les performances au point de faire perdre facilement un nœud au bout de quelques mois de mer et d'imposer de fréquents carénages. Les nouveaux revêtements — à base de résines époxy, de résines polyuréthane ou de résines vinyliques ou acryliques — ont permis d'espacer les carénages de six ou neuf mois à dix-huit et même vingt-quatre mois.





A leur sortie des cabines de « peinture », les panneaux et les blocs sont transportés vers la forme de construction, précédée le plus souvent d'une zone de prémontage. La longueur de la forme proprement dite peut atteindre un kilomètre. Elle est équipée de puissants portiques de levage (300 à 800 tonnes).

LE MONTAGE FINAL

Le montage de la coque procède naturellement du fond du navire (ensemble de caissons utilisés comme réservoirs d'huile, de fuel, d'eau douce), jusqu'au pont supérieur sur lequel seront soudées les superstructures : dunette, logements, passerelle (à l'arrière pour un pétrolier). Signalons qu'entre machines et passerelle supérieure, il y a quelque 40 à 50 m, soit la hauteur d'un immeuble de 15 étages.

La fabrication des citernes, raison d'être du navire, réclame évidemment le plus grand soin. Ces structures supportent des contraintes importantes à cause du déplacement des masses liquides qu'elles contiennent. Contrairement à ce qu'on pourrait croire, on ne cherche pas tant à réduire les déplacements de la cargaison qu'à les organiser. Les grands pétroliers, très larges, ont tendance à donner des roulis durs et des conditions de route désagréables. Le roulis augmentant le tirant d'eau, on est conduit à abaisser la ligne de charge. Pour accroître la stabilité du bâtiment et lutter contre le roulis, on dote généralement le navire d'un système de stabilisation consistant à déplacer la masse liquide à l'opposé des oscillations du navire. Le plus souvent, le système de stabilisation est purement passif, sans pompes ni vannes, consistant en ouvertures pratiquées dans les cloisons de certaines citernes.

Particulièrement délicat est le montage à bord de l'appareil propulsif, qui nécessite un ali-

gnement rigoureux des machines et de l'arbre dans l'axe général du navire. Pour les pétroliers de gros tonnage, la solution la plus courante consiste en des turbines alimentées par chaudières. On utilise généralement deux chaudières produisant, pour un pétrolier de 200 000 t.p.l., environ 100 tonnes par heure de vapeur à 550°. Chaque chaudière alimente plusieurs turbines en série, à haute et basse pression. Ces turbines, tournant à quelque 2 300 tours/minute, nécessitent des réducteurs de vitesse.

Robustes et d'entretien relativement facile, les chaudières ont l'inconvénient d'être longues à mettre en marche (plusieurs heures de chauffe). D'où l'intérêt des moteurs diesel qui ont fait en quelques années des progrès considérables, surtout pour les moteurs lents capables d'entrainer directement l'arbre porte-hélice.

L'augmentation de puissance des machines semblait avoir conduit à la limite d'emploi de l'hélice unique traditionnelle, eu égard à son rendement comme aux interactions avec la coque et aux efforts de torsion et de flexion engendrés par le moteur. De nombreuses variantes ont été étudiées, telle l'hélice unique à pales variables et orientables, les hélices sur deux lignes d'arbre, les hélices carénées ou contrarotatives. Un peu comme pour les carènes, les solutions classiques semblent encore les meilleures. On a donc tendance à conserver la propulsion par hélice centrale. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des hélices de grand diamètre tournant à faible vitesse grâce à un réducteur intermédiaire. Pour la génération des 200 000 t.p.l., les diamètres varient entre 8 et 10 m, donnant des poids de 40 à 65 tonnes et des vitesses de rotation de 70 à 115 tours/minute.

DES PROBLEMES QUOTIDIENS

A supposer le mastodonte terminé et lancé, les difficultés ne font que commencer. La ma-

Répartition de la flotte pétrolière mondiale selon les tonnages à la fin juin 1971

Catégorie (t.p.l.)	Flotte existante		Navires en commande	
	Nombre	Milliers de t.p.l.	Nombre	Milliers de t.p.l.
10 000 - 49 999	2 179	56 014	156	4 066
50 000 - 99 999	658	45 577	20	1 602
100 000 - 149 999	119	13 867	37	4 679
150 000 - 199 999	36	6 308	5	848
200 000 - 249 999	138	29 972	108	24 460
250 000 - 299 999	18	4 619	137	36 311
300 000 et plus	6	1 960	16	5 408
Total *	3 154	158 317	479	77 374

* A l'exclusion des pétroliers appartenant aux gouvernements qui représentent encore 121 unités totalisant ensemble quelque 2,3 millions de t.p.l. (d'après Petroleum Press Service).

nœuvre des pétroliers géants pose des problèmes : machines stoppées, il faudrait de 7 à 10 km à un pétrolier de 500 000 tonnes pour pouvoir s'arrêter, tant est grande son inertie. Accoster au mètre près, c'est manœuvrer avec une précision du trois millième de la longueur.

Pour entraîner les commandants de bord, une « école de manœuvre » a été organisée par le groupe Esso, près de Grenoble. Là, des modèles réduits permettent l'entraînement au pilotage sur un lac de montagne. Les dimensions du navire et des obstacles, y compris un faux canal de Suez, sont à la même échelle.

Pour l'exploitant, répétons-le, la mise en service d'un monstre de 250 000 tpls se prolonge d'une angoisse quotidienne. Chaque jour passé sans incident représente des dizaines de milliers de francs gagnés.

C'est finalement sur le temps de séjour dans les ports que peuvent être réalisées les plus grosses économies. Pour le chargement et le déchargement de ces énormes citernes flottantes, on tend de plus en plus vers l'automatisation, qui accélère les opérations. L'automatisation diminue également les charges d'équipage, lequel peut se réduire à une trentaine d'hommes. On vient d'ailleurs de lancer, au Japon, un tanker de 138 000 tpls, le **Seiko Maru**, contrôlé par ordinateur. Après une période d'essai, l'équipage pourra être progressivement ramené de 36 à 15 hommes. Le nettoyage des citernes est lui aussi de plus en plus réduit, ce qui tend à diminuer les effets de la corrosion et surtout à réduire les risques de pollution. Le système de chargement sur résidu (**load on top**) est basé sur une circulation forcée des eaux de lavage ou de ballast vers une citerne spécialement aménagée où peut s'effectuer la décantation du « brut » et de l'eau, cette dernière étant rejetée dans des conditions « propres ». Le « brut » résiduel ne contient plus que des quantités d'eau minimes et le chargement suivant est effectué directement par-dessus.

La prévention des risques d'épandage en mer de la cargaison a entraîné diverses études : les doubles fonds, formule utilisée par la série Pégase de la Mobil Oil ; les systèmes de pompage par aspiration à grand débit, pour extraire rapidement le pétrole d'une citerne endommagée ; le ballastage des citernes latérales ; un compartimentage plus poussé. Cette dernière solution a été proposée par l'OMCI (organisation maritime internationale dépendant de l'ONU). Elle tend à limiter les dimensions des citernes pour réduire les pertes de pétrole à la mer en cas d'échouage. Pour un navire à deux cloisons longitudinales, par exemple, les citernes centrales ne dépasseraient pas 30 000 m³ et les citernes latérales 15 000 m³. L'inconvénient de cette solution serait un relèvement des coûts d'environ 10 %,

Enregistrement des pétroliers (fin juin 1971)

	En milliers de t.p.l.	% du total
Libéria	39 429	24,5
Royaume-Uni	24 094	15
Norvège	17 791	11
Japon	16 482	10
Etats-Unis	9 177	6
Grèce	8 342	5
France	6 706	4
Panama	5 660	3,5
Italie	4 648	3
U.R.S.S.	4 286	3
Pays-Bas	3 413	2
Allemagne féd.	3 216	2
Suède	2 787	2
Espagne	2 442	1,5
Danemark	2 337	1
Finlande	1 137	1
Brésil	805	0,5
Koweit	793	0,5
Autres pays	7 421	5
Total		100

D'après Petroleum Press Service.

une augmentation sensible du poids des structures (de 3 000 t pour un 320 000 tpls) et une réduction correspondante de la capacité de transport.

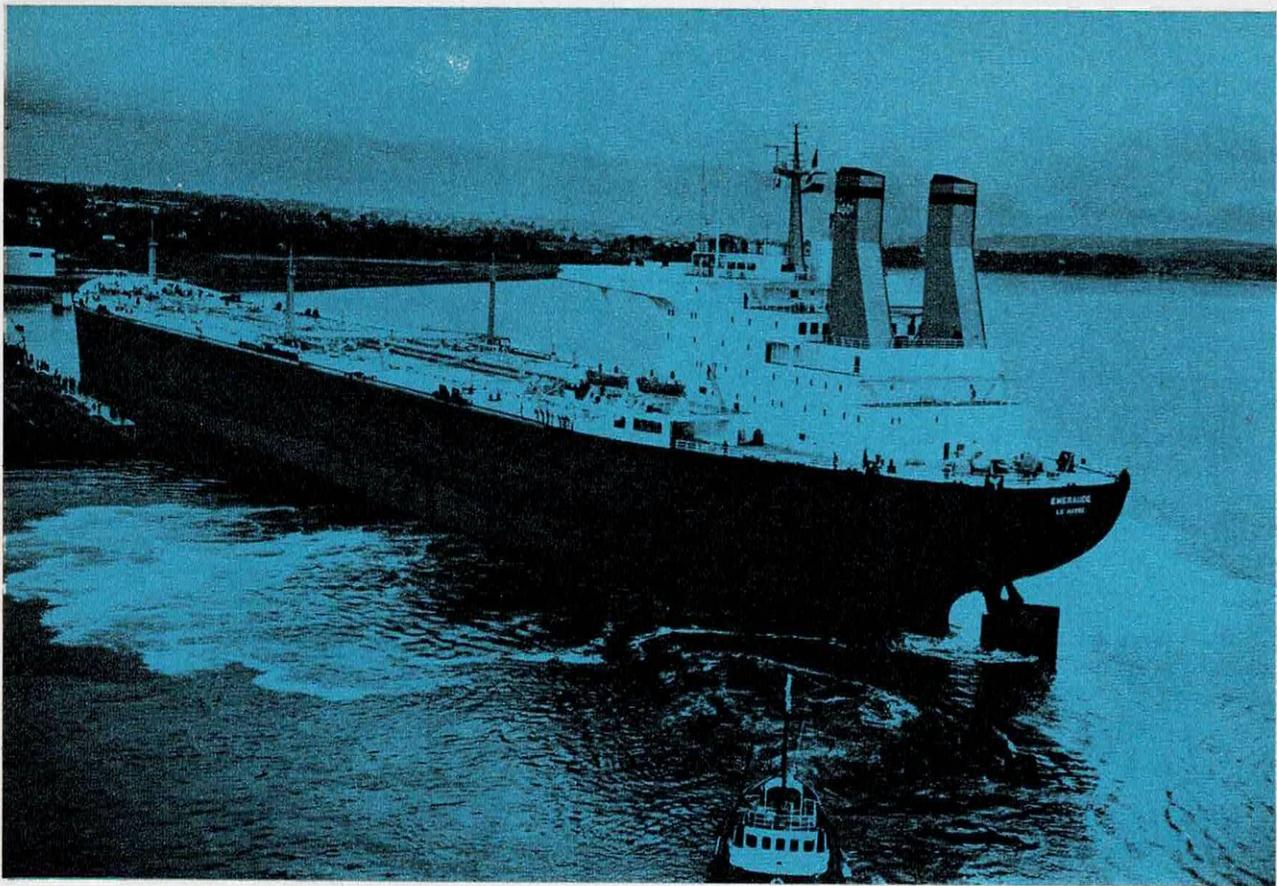
LA FLOTTE MONDIALE

La répartition par catégories des navires pétroliers en service ou en commande dans le monde à la fin juin 1971 montre que la catégorie la plus nombreuse reste celle des petites unités de 10 000 à 50 000 tpls, tant en nombre qu'en tonnage. Les pétroliers de plus de 200 000 tonnes représentent plus de 20 % du tonnage en service et plus de 85 % du tonnage en commande. A ces chiffres, il conviendrait d'ajouter les navires mixtes minéraliers/pétroliers, qui contribuent de façon non négligeable au trafic mondial et connaissent actuellement une brillante expansion.

A qui appartiennent les pétroliers ? Les deux tiers approximativement de la capacité totale appartiennent à des armateurs indépendants et un tiers aux sociétés pétrolières. Parmi les sociétés pétrolières, Esso est le plus grand armateur, suivie par Shell, BP et la SOCAL (Standard Oil of California). Shell est le plus grand utilisateur de pétroliers géants, les sociétés pétrolières affrétant de nombreux navires appartenant à des indépendants pour de longues périodes (jusqu'à 20 ans, soit pratiquement la vie du navire).

Le reste des besoins des compagnies pétrolières est satisfait soit sur le marché à temps (affrètements pour des périodes s'échelonnant entre 18 mois et 5 à 6 ans) soit sur le marché

Construit en Suède, le pétrolier Emeraude (223 000 t) n'est pas le plus important de la flotte armée par le groupe Total. Il est largement battu par le Jade (qui atteint 260 000 t de port en lourd).



spot, en affrétant pour un seul voyage ou quelques voyages consécutifs.

Ce dernier marché, bien que ne touchant qu'une fraction du trafic pétrolier, est particulièrement sensible aux événements internationaux. Les coûts peuvent y varier du simple au double et plus (fermeture de la Tapline, etc.).

QUELQUES TERMES USUELS

La JAUGE BRUTE dont l'unité est le tonneau (soit 100 pieds cubes ou 2,83 m³) mesure le **volume** sous pont principal, plus celui des entrepôts et superstructures, à l'exclusion de tout espace ouvert.

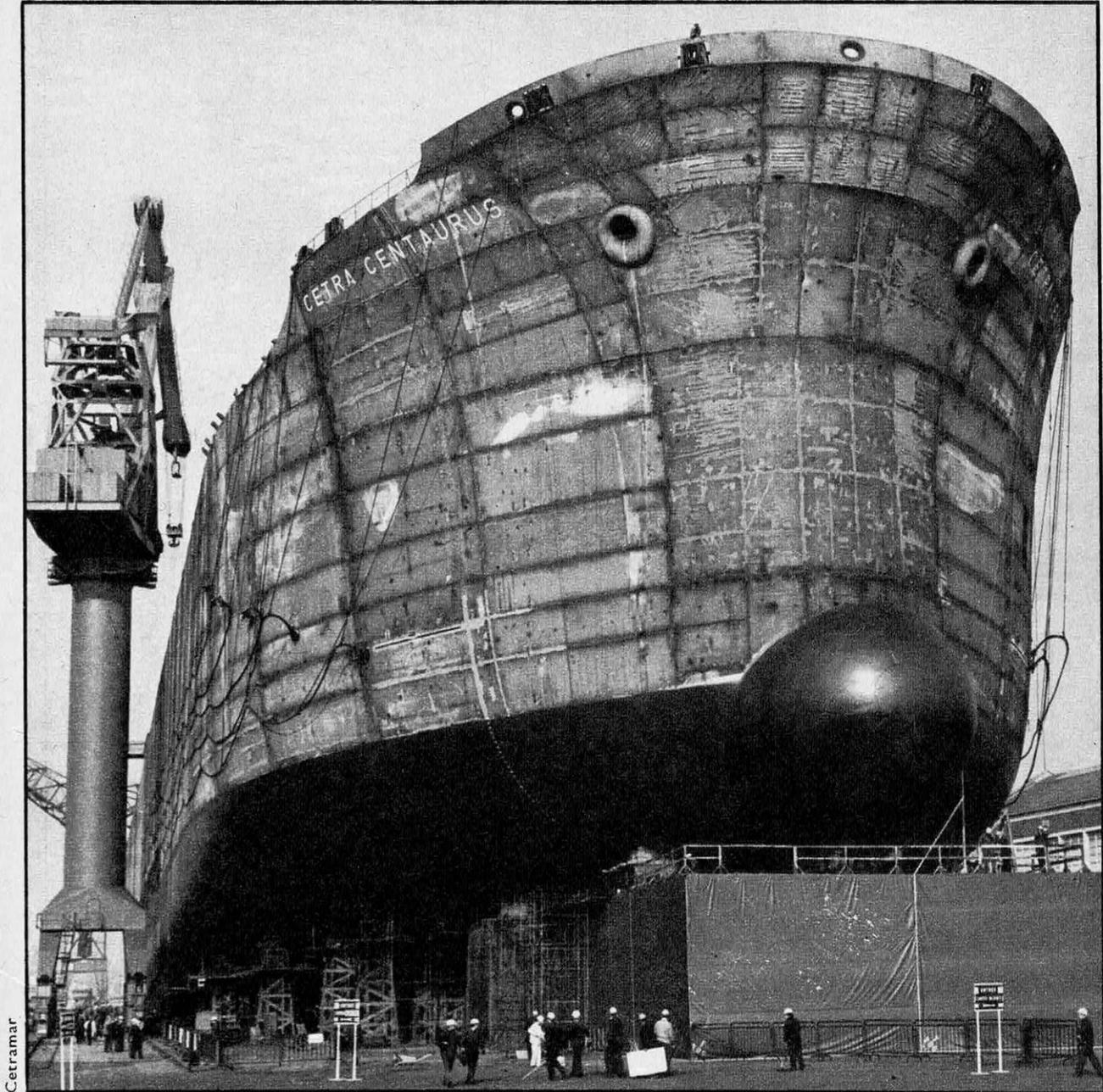
Le PORT EN LOURD, exprimé en tonnes métriques, est égal au **poids** des marchandises embarquées, des approvisionnements, de l'équipage et éventuellement des passagers (lorsque le navire est dans sa ligne de flotaison normale).

Le TONNEAU PONDÉRE est obtenu en multipliant les tonneaux de jauge brute par un coefficient variable selon le type du navire. Cette nouvelle unité, de conception française, n'a été adoptée que tout récemment sur le plan international.

Armateurs et pétroliers n'ont pas la tâche facile. Les coûts sont en pleine escalade et les risques d'erreur sont grands. Il faut en effet prévoir les besoins très longtemps à l'avance. Pour 1980, par exemple, certains économistes prévoient un taux d'augmentation de la consommation mondiale d'environ 6,5 % par an, soit presque un doublement en une décennie. D'autres prévoient même 8,5 % par an, remarquant que, depuis quelques années, on attendait un ralentissement et que c'est une accélération qui s'est produite (taux de 9 % par an actuellement). Dans la première hypothèse, le tonnage des pétroliers nécessaire pour 1980 est de 320 millions tpl. Or, on en prévoit 345. Il y aurait donc un excédent de 25 millions de tonnes. Si, par contre, la seconde hypothèse est la bonne, la capacité devrait atteindre 450 millions de tonnes, soit un déficit de l'ordre de 100 millions de tonnes, équivalent des deux tiers de la flotte actuelle.

On comprend dès lors pourquoi beaucoup considèrent les navires de la classe 200 000-300 000 tpl comme un simple palier et pensent sérieusement aux 1 000 000 tpl qui, à leur tour, ne seront peut-être qu'un palier...

Michel GRENON



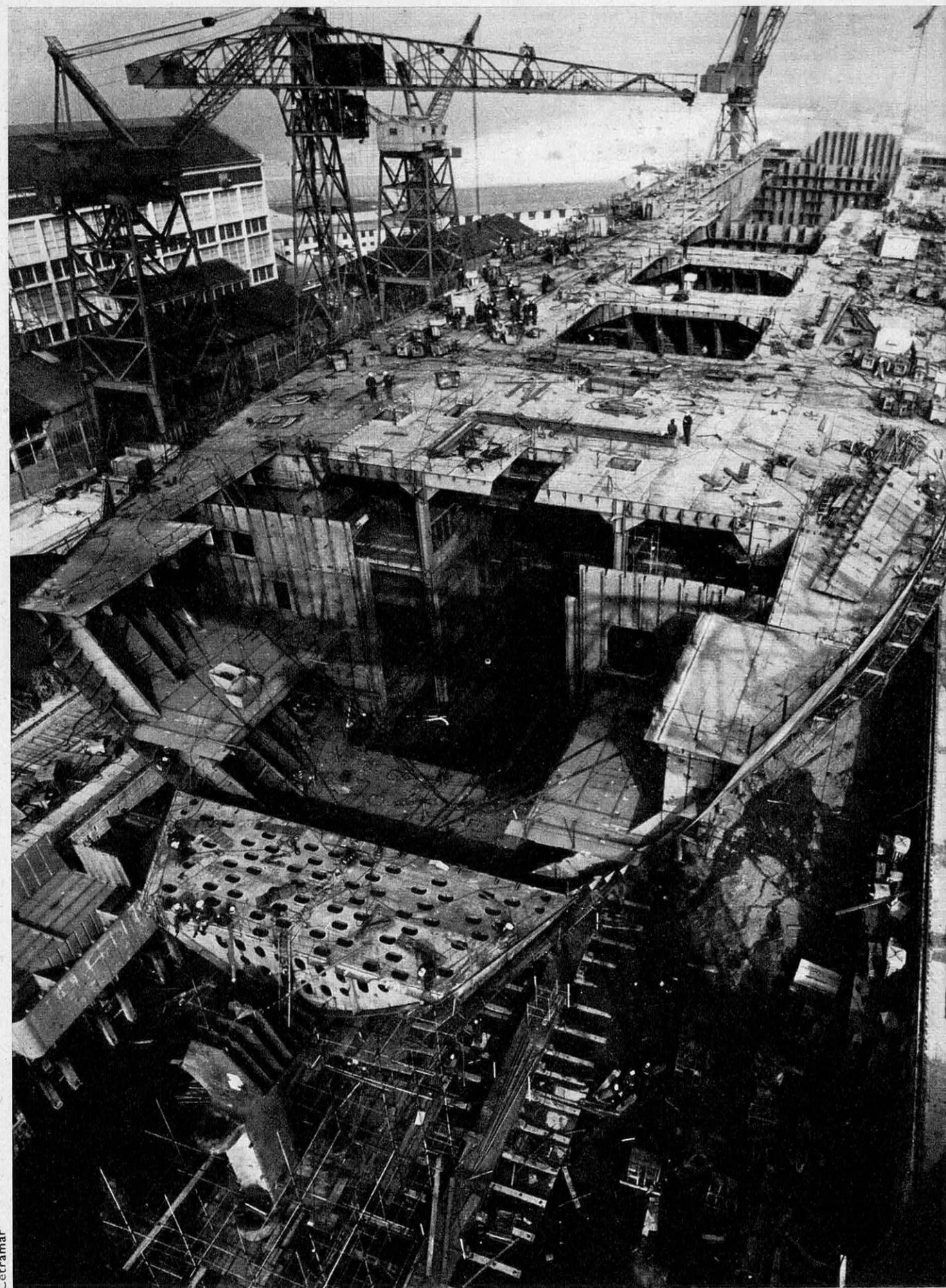
Cetramar

L'étrave du Cetra-Centaurus, pétrolier-minéralier de 170 000 t.p.l.

LES MINERALIERS GÉANTS

Le développement du transport maritime de pétrole depuis la deuxième guerre mondiale a été suivi de celui de certaines matières de base chargées en vrac. Il s'agit de produits chimiques (soufre, ammoniac, phosphates, acide sulfurique, phosphore...), de ciments, de bois et de céréales, mais surtout de minerais.

Au XIX^e siècle, l'existence de gisements de fer et de charbon déterminait la création d'industries lourdes près des centres d'extraction. Seules pouvaient être alors industriellement prospères les pays disposant sur leur sol de ces richesses. Aujourd'hui, des gisements mis en exploitation outre-mer offrent des minerais de haute teneur, faciles à extraire et dont le transport par navires de fort tonnage jusqu'à notre continent donne un prix de revient à



l'arrivée inférieur à celui des minerais européens. Dès lors, la sidérurgie cesse de se développer dans les régions traditionnelles et de nouveaux centres de production s'établissent sur le littoral. C'est, pour la France, le cas de Dunkerque, et bientôt de Fos.

Très remarquable est, par ailleurs, la situation de pays comme le Japon et l'Italie, dépourvus de ressources naturelles, mais qui ont réussi à se placer dans le peloton de tête des producteurs d'acier en créant sur leurs côtes de puissants complexes sidérurgiques. Ce développement industriel appuyé sur les ressources d'autres continents est un des aspects de ce que Louis Armand appelait la « planétarisation de l'économie ».

Si le transport maritime des minerais a pris depuis une vingtaine d'années un extraordinaire développement, on a vite constaté que le meilleur résultat serait obtenu avec des navires spécialisés de grande taille et dont les rotations seraient accélérées.

LES MINÉRALIERS PURS

A partir du moment où l'on voulait transporter des minerais en masse, il fallait utiliser des navires spécialement conçus. Cela impliquait notamment une structure renforcée, de très vastes cales sans faux-ponts, et de larges ouvertures facilitant la manutention. Quant aux machines, à la passerelle, aux locaux d'équipage, ils étaient déportés vers l'arrière pour dégager les cales.

Le coût de la construction du navire et ses dépenses d'exploitation n'augmentant pas proportionnellement à ses dimensions, la tendance à l'accroissement du tonnage unitaire s'est manifestée pour les minéraliers comme pour les pétroliers, quoiqu'à un moindre degré. Les possibilités de déchargement offertes par les ports, les problèmes de stockage et d'évacuation des minerais débarqués créent en effet une limite.

Une légère augmentation de la vitesse des navires l'a portée, en moyenne, à quinze noeuds. En fait, c'est surtout l'équipement spécialisé des postes minéraliers qui a permis de gagner du temps, aux escales. A Dunkerque, le quai minéralier, d'une longueur de 900 m, est doté de trois portiques de déchargement dont chacun permet une cadence de pointe de 1 500 t à l'heure.

En dehors des minerais, les charbons fournissent d'importants chargements aux minéraliers, les principaux importateurs étant les pays de la C.E.E. et surtout le Japon. Le charbon en question vient principalement des Etats-Unis et de l'Australie.

LES GROS PORTEURS COMBINES

Le transport des minerais par navires spécialisés présente l'inconvénient de faire voyager

le navire sur lest dans l'un des deux sens. La « monovalence » des minéraliers peut d'ailleurs se révéler économiquement désastreuse si les seuls trafics qu'ils sont capables d'assurer sont affectés par quelque crise. On s'est donc efforcé de trouver des formules plus souples.

Une première solution consiste à transporter dans les mêmes cales, tantôt du pétrole, tantôt des minerais. C'est ce qu'on nomme en langage professionnel les navires « o/o » (oil/ore ou pétrole/mineraï). On peut même transporter d'autres marchandises en vrac (des grains, par exemple). Il s'agit alors de navires « o/b/o » (oil/bulk/ore ou pétrole/vrac/mineraï).

Ces deux types de navires connaissent un extraordinaire développement. Depuis 1967, leur tonnage global a augmenté de 40 % par an et c'est sur de tels navires que porte la quasi totalité des commandes en cours. Au 1^{er} juillet 1971, la flotte mondiale des minéraliers purs, avec un port en lourd de 9 410 000 t, dépassait à peine le tonnage des « o/o » (9 112 000), les « o/b/o » passant de 6 871 000 t au début 1971 à 8 462 000 t au 1^{er} juillet. L'évolution des commandes confirme bien la stagnation des minéraliers purs.

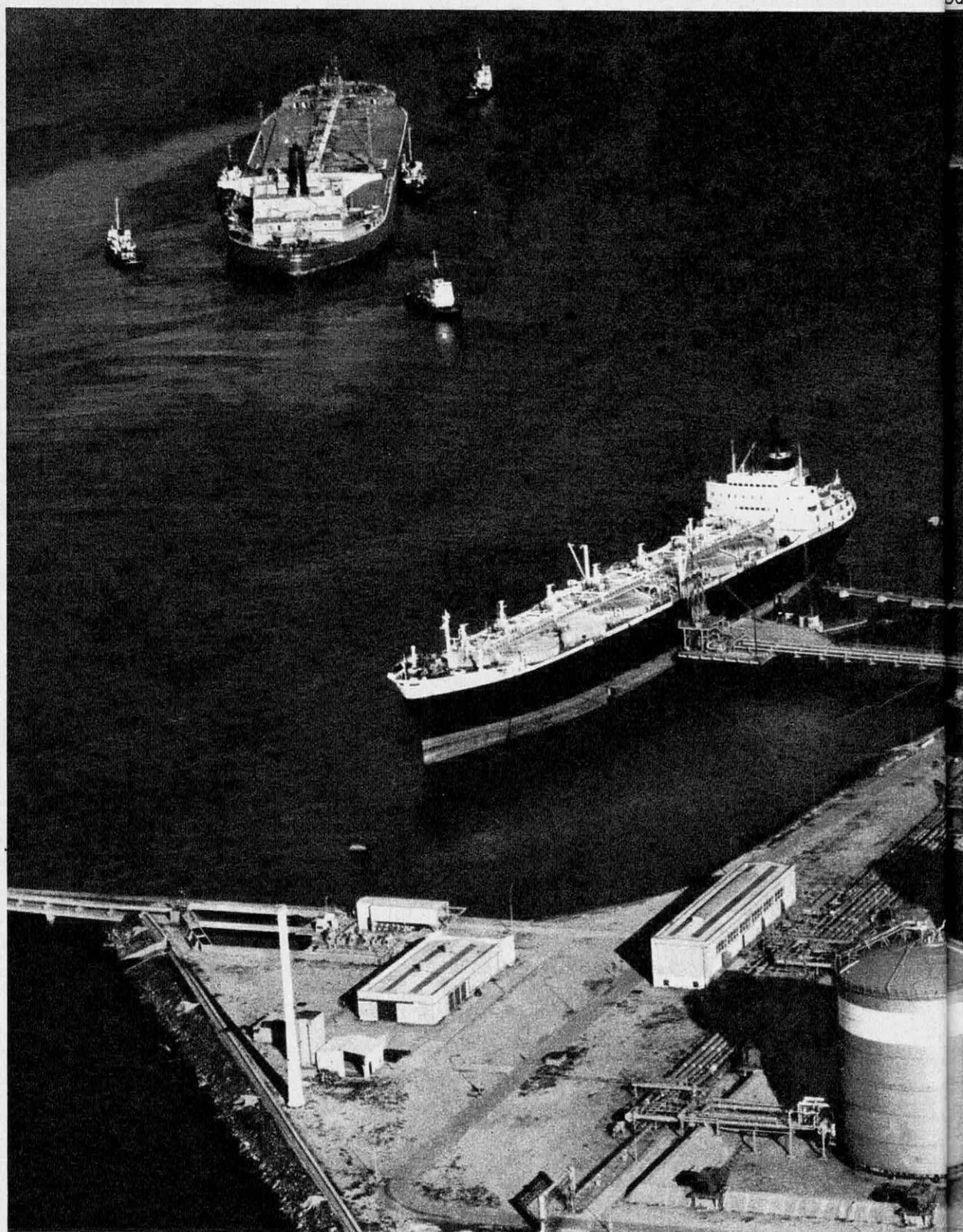
Les o/b/o sont des unités de port en lourd compris entre 40 000 et 170 000 t, tandis que les o/o actuellement en commande sont, pour la plupart, des 150 000 à 250 000 t. Cette différence tient au fait que les progrès les plus récents des équipements portuaires permettent de prévoir pour les minerais des manutentions d'un tonnage supérieur à celui des autres marchandises en vrac.

Comme les minéraliers, les o/o et les o/b/o doivent offrir de larges ouvertures de pont permettant un accès facile aux cales lorsqu'ils sont chargés de marchandises solides. Ces ouvertures sont obturées par des panneaux offrant une étanchéité absolue. Compte tenu des dimensions des ouvertures, les panneaux sont fort lourds et leur manœuvre est le plus souvent effectuée par roulement.

Malgré leur polyvalence, les o/o et o/b/o ne sont généralement pas exploités à plein chargement sur tout leur parcours. On peut citer le cas d'un navire américain ayant transporté du minerai de fer d'Australie en Italie qui, au lieu de retourner en Australie sur ballast, a pu charger du pétrole en Libye à destination de Philadelphie. De là, il a fait escale à Norfolk pour prendre du charbon à destination du Japon, revenant enfin sur ballast du Japon en Australie. Ce circuit compliqué, pas entièrement satisfaisant, a eu le mérite d'assurer au navire une meilleure rentabilité que s'il avait effectué à vide le trajet de retour Italie-Australie.

H.C.

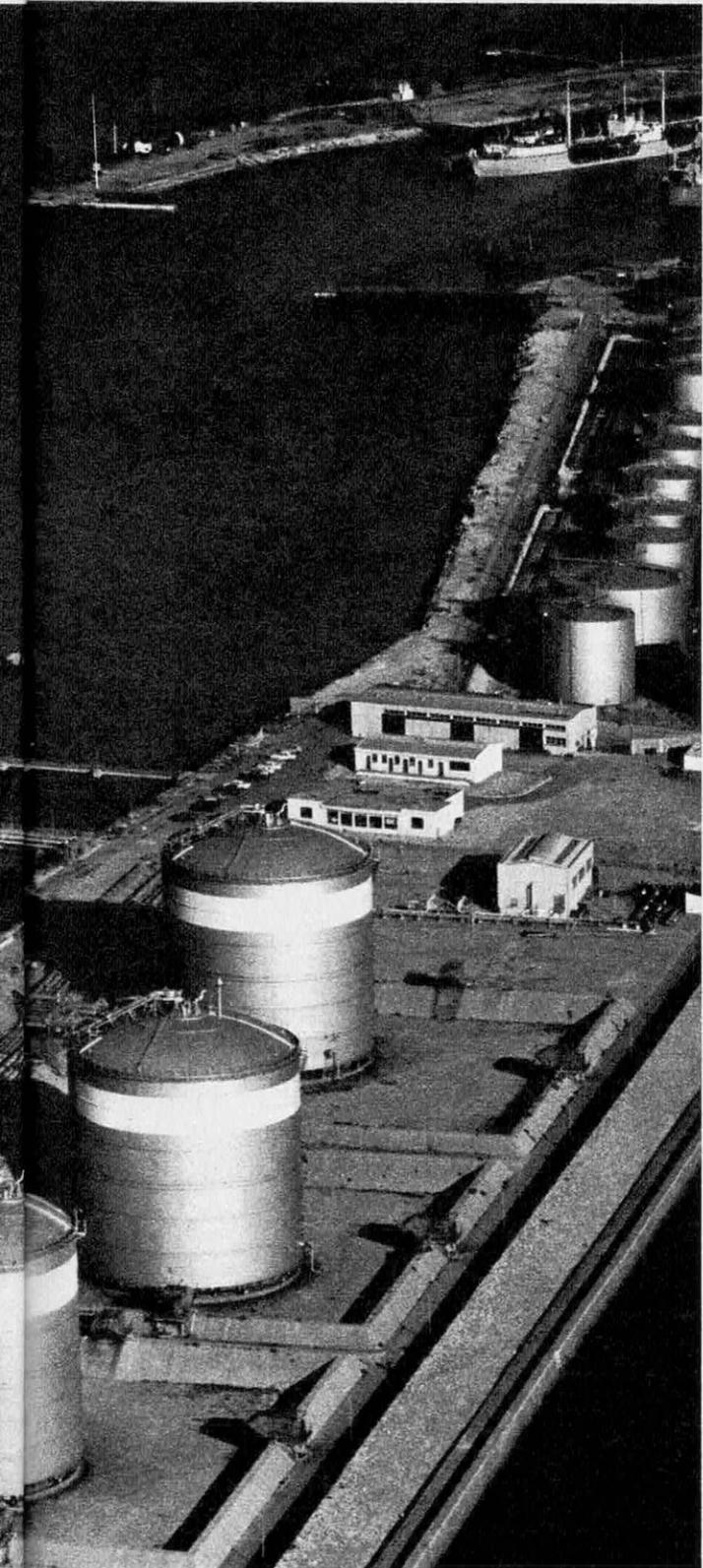
Des tankers d'un nouveau genre
LES METHANIERS



Le Jules Verne, un méthanier de 25 000 m³ à cuves cylindriques autoporteuses, photographié à son

Le gaz naturel tient une place de plus en plus large parmi les sources d'énergie des pays développés mais les gisements sont souvent éloignés des zones d'utilisation et pas toujours accessibles par terre. D'où la naissance de navires très spécialisés qui transportent le gaz liquéfié à basse température. Il existe plusieurs voies dans la conception et la construction des méthaniers. Des solutions très originales ont vu le jour en France.

gaz de France



poste de déchargement au port méthanier du Havre.

Le gaz naturel est utilisé aux Etats-Unis depuis 1930, où il a conquis la première place du bilan énergétique en satisfaisant environ 35 % des besoins. Son développement en Europe fut plus tardif, puisqu'il date d'après la guerre, mais il n'en a pas moins été spectaculaire. Après les découvertes de la vallée du Pô, de Lacq (1951) et surtout de Groningue, aux Pays-Bas (1959), le gaz naturel s'est, en Europe, progressivement substitué au gaz manufacturé dont le déclin a été parallèle à celui du charbon. Dénormes réserves, actuellement les plus importantes du monde (entre 10 et 20 000 milliards de mètres cubes) ont été découvertes en U.R.S.S. Ce pays exporte vers l'Europe occidentale son gaz naturel en échange de canalisations en acier de grand diamètre et des équipements industriels nécessaires à la mise en valeur de ses régions orientales.

Comme le pétrole, les gisements de gaz naturel se trouvent généralement très éloignés des zones de consommation. Des réseaux de gazoducs ont dû être construits. Ils nécessitent des canalisations de gros diamètre (on envisage 2,50 m pour certains gisements soviétiques) et des stations de recompression tous les deux cents kilomètres environ. Ces gazoducs sont extrêmement coûteux et constituent des entreprises gigantesques. De telles exigences ont indéniablement freiné le développement du gaz naturel dans de nombreuses régions.

D'ailleurs, le parcours terrestre n'est pas toujours possible. De nombreux gisements de gaz sont séparés des zones de consommation par des océans, sans parler des pays insulaires comme la Grande-Bretagne ou le Japon. Pour des raisons économiques, le transport maritime sous forme gazeuse, en con-

tainers, n'est pas pensable. La seule possibilité semblait donc de transporter le gaz sous forme liquide, comme on transportait déjà divers fluides cryogéniques. Mais les problèmes techniques étaient particulièrement difficiles. Plus encore, il n'était pas certain que des solutions économiques puissent être trouvées. Recherches et projets furent, en France, aiguillonnés par la découverte (en 1956) du très riche gisement de gaz d'Hassi R'mel, au Sahara. Moins de dix ans plus tard, du gaz du Sahara arrivait au Havre, où il était mélangé à du gaz de Groningue pour alimenter la région parisienne.

En fait, quand on parle de gaz naturel liquifié, de GNL comme on dit, il faut évoquer une chaîne complète d'opérations industrielles : acheminement du gaz par gazoduc à partir du gisement ; liquéfaction dans une usine spécialisée ; stockage en attente de chargement ; transport maritime par méthanier ; stockage de déchargement ; regazéification par chauffage ; enfin restitution au réseau utilisateur après ajustement éventuel des caractéristiques.

Le maillon le plus difficile à forger a été évidemment celui des méthaniers. Mais aujourd'hui une bonne dizaine de navires sont déjà en service, et près du double en construction. Grâce à eux, demain, ce sont non seulement les gisements les plus lointains qui pourront être exploités, mais aussi l'énorme quantité de gaz qui accompagne le pétrole et qui, pour l'instant, est brûlé à longueur d'année, en pure perte, au bout des torchères.

LES TECHNIQUES DE LIQUEFACTION

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures généralement saturés, dont les composants majeurs sont le méthane (85 à 95 % le plus souvent), l'éthane, le propane et le butane. La densité du mélange est faible, de l'ordre de 0,55. Ceci a même conduit à un projet futuriste de transport du gaz naturel par containers type Zeppelin...

Les premiers essais de liquéfaction de gaz na-

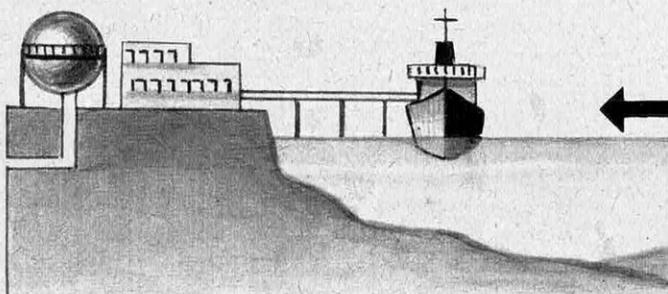
turel ont été effectués aux Etats-Unis dès 1917, mais la première usine de liquéfaction de capacité industrielle a été construite à Arzew, en Algérie, en 1964, pour expérimenter la chaîne de GNL d'Hassi R'mel à la région parisienne. A la pression atmosphérique, le gaz naturel devient liquide vers — 160 °C, avec une réduction de volume d'environ 600 fois, ce qui est évidemment favorable à son transport. Pour liquéfier le gaz à la pression atmosphérique, deux systèmes principaux sont utilisés : les cycles à **détente** et les cycles à **cascade** (ces derniers comprenant d'ailleurs généralement une détente finale).

Dans le cycle à détente, la liquéfaction est obtenue par compression, puis par détente du gaz, celui-ci ayant été « prérefroidi » après la compression par un groupe frigorifique auxiliaire ainsi que par les gaz détendus à l'intérieur d'un échangeur. Les cycles à cascade, qui sont de loin les plus répandus pour les grosses installations, utilisent le changement de phase d'un ou de plusieurs fluides frigorigènes.

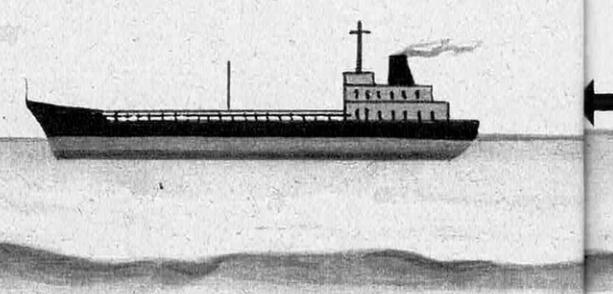
Dans le cycle à cascade classique (usine d'Arzew), le gaz comprimé à une pression de l'ordre de 40 bars est refroidi à des températures progressivement décroissantes par échange de chaleur avec trois fluides, le propane, l'éthylène et le méthane, circulant dans trois circuits indépendants. Le cycle à cascade incorporée, mis au point par des sociétés françaises (Technip et Air Liquide) en association avec le Gaz de France, a été utilisé pour l'usine de Skikda (ex-Philippeville). Cette usine, de 4,5 milliards de mètres cubes par an, est intégrée à la chaîne Hassi R'mel-Fos-sur-Mer qui dessert la région Sud-Est de la France. La technique utilise un circuit relativement simple, puisqu'elle n'a recours qu'à un seul fluide frigorigène, un mélange d'hydrocarbures légers.

Une fois liquéfié, le gaz naturel est stocké dans des réservoirs cylindriques à double paroi. Le récipient intérieur est en matériau résistant aux basses températures. L'espace intermédiaire est rempli d'une isolation thermique pulvérulente (qui doit aussi résister à la

STOCKAGE, REGAZEIFICATION, ET ACHEMINEMENT PAR PIPE-LINE



METHANIER



Composition de divers gaz

	Hassi R'mel %	Zetlen (Libye-EssO) %	Moyen-Orient Typical I %	Moyen-Orient Typical II %	Moyen-Orient Typical III %
Méthane	81,3	64,5	69,8	44,1	9,6
Ethane	6,8	21	25,2	43	44
Propane	2,3	8,4	2,2	6,5	15,9
Butane	1,5	4,2	1,8	4,5	18,7
Hydrocarbures lourds	8,1	1,9	—	2,5	11,8

compression pour la partie comprise entre les deux fonds). Le récipient extérieur est en acier de qualité courante.

LES PROBLEMES DU TRANSPORT MARITIME

Les transports cryogéniques sont connus de longue date. Ils utilisent des réservoirs de stockage isolés dont la capacité ne dépasse pas en général quelques dizaines de mètres cubes. Ainsi sont transportés par mer l'ammoniac, le butadiène, des gaz de pétrole liquéfiés comme le butane, le propane, l'éthylène, le propylène...

Dans le cas du gaz naturel, combustible qui doit garder un caractère concurrentiel sur un marché énergétique âprement disputé, le problème est d'abord de quantité. Le transport doit porter sur des milliards de mètres cubes à l'état gazeux, sur des millions de mètres cubes à l'état liquide. Notons au passage que les chiffres doivent toujours être entendus, pour les gazoducs et les usines de liquéfaction ou de regazéification, en mètres cubes de gaz ; pour les méthaniers ou les installations de stockage, en mètres cubes de liquide. La première solution est donc d'extrapoler vers des tailles de plus en plus grandes les réservoirs isolés déjà utilisés pour d'autres produits industriels, en n'oubliant pas que ces cuves seront soumises à des sollicitations thermiques importantes (contraction à basse température) et aussi à de nombreux efforts mé-

caniques exercés de façon cyclique des millions de fois pendant la vie du navire (poids de la cargaison, efforts induits par les mouvements du navire, etc.).

Cette première solution, c'est la technique des **cuvettes autoporteuses**, la même barrière épaisse en métal spécial résistant aux deux types d'efforts, thermiques et mécaniques.

On peut concevoir aussi de séparer les deux fonctions, c'est-à-dire d'avoir une barrière mince en matériau résistant aux basses températures et de transmettre les efforts mécaniques à travers une isolation thermique vers la coque du navire. C'est la technique des **cuvettes intégrées**, due aux ingénieurs navals français, et dont l'avantage est d'offrir un plus grand volume utile et une construction plus aisée.

Parmi les problèmes restant à résoudre, il faut, indépendamment des dangers liés à une vapeur très inflammable, éviter toute fuite du liquide cryogénique : à basse température, les matériaux courants se fragilisent, ce qui pourrait avoir des effets catastrophiques sur la solidité d'ensemble du navire.

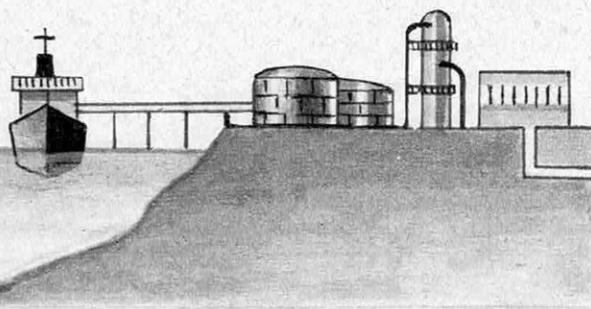
LES CUVES AUTOPOREUSES

Le premier méthanier qui traversa l'océan fut le « Methane Pioneer », navire expérimental anglo-américain qui accomplit plusieurs voyages à partir de 1959 entre les Etats-Unis et la Grande-Bretagne. Puis, en 1962, le navire français « Beauvais » effectua à son tour des essais concluants. En 1964 et 1965 furent inaugurées deux lignes régulières : Arzew-Canvey Island (Grande-Bretagne), avec les « Methane Princess » et « Methane Progress », et Arzew-le-Havre avec le « Jules Verne ».

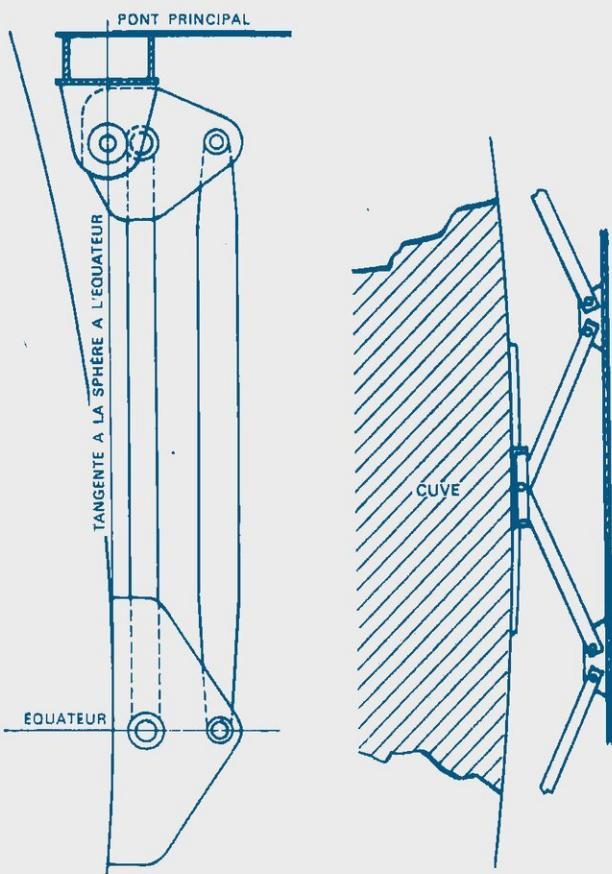
Les cuves autoporteuses, qui peuvent être prismatiques ou cylindriques, sont généralement construites en acier à 9 % de nickel résistant bien aux basses températures. Entre la paroi épaisse de la cuve et la double coque⁽¹⁾ du navire est tassée une matière isolante pulvérulente. Le plus souvent, noyée dans l'isolant, une barrière secondaire s'oppose aux fuites éventuelles de liquide cryogénique.

(1) Cette double coque est imposée dans la construction des méthaniers par les règlements de sécurité.

USINE DE LIQUEFACTION DU GAZ NATUREL



Mis en service au début de l'année dernière, le méthanier prototype Euclides a été affecté au transport de gaz entre l'Algérie et les Etats-Unis. Ce navire de 4 000 m³ a été construit selon la technique des cuves sphériques. Les dessins ci-dessous se rapportent aux systèmes vertical et latéral de suspension des cuves.



Gazocéan

A titre d'exemple, le « Jules Verne », opérationnel depuis 1965, est un navire de 201 m de longueur. Il peut transporter dans ses cuves cylindriques 26 000 m³ de gaz naturel liquéfié.

A remarquer que, dans cette technique, à mesure que croît la taille des navires et des réservoirs, ceux-ci pèsent de plus en plus lourd à cause de l'épaisseur des parois. Les réservoirs pèsent parfois autant que la cargaison.

LES NAVIRES A BOULES

Les navires « à boules », avec cuves sphériques conçues pour résister à une certaine pression, constituent une variante intéressante des navires à cuves autoportantes. Leur intérêt est notable pour les navires de taille modérée, et s'adapte bien aux transports mixtes de gaz naturel, d'éthylène, de propane et de butane ; ces derniers peuvent y être transportés soit à la pression atmosphérique, soit

sous pression modérée, à une température relativement élevée.

Dans le cas de l'« Euclides », navire mis en service par Gazocéan en 1971 (105 m de longueur, capacité de 4 000 m³), il n'y a aucune barrière secondaire. Pour des navires de plus grandes dimensions, une barrière secondaire peut être imposée par les règlements, pour éviter qu'un jet de gaz jaillissant d'une cassure de petites dimensions ne vienne frapper directement des éléments structuraux du navire.

L'épaisseur maximale autorisée par les règlements les plus sévères est de 25,4 mm. Elle permet d'envisager la construction de réservoirs de 18 000 m³, soit 32 m de diamètre. Selon la taille des sphères et du navire et l'équipement des chantiers, deux méthodes de construction peuvent être adoptées :

- soit la préfabrication complète des sphères avant leur installation à bord ; cette méthode, pas toujours possible, ne perturbe que faiblement la construction de la coque ;
- soit, à bord, le montage de la sphère à



partir d'éléments préfabriqués. La durée de construction de la coque s'en trouve notablement allongée.

Cette dernière méthode n'est pas propre aux cuves sphériques. Elle est couramment utilisée pour les cuves prismatiques ou cylindriques. Les conditions de mise en œuvre la désavantageant par rapport à la technique des cuves intégrées.

LES CUVES INTEGREES

A l'époque où les « Methane Princess », « Methane Progress » et « Jules Verne » inauguraient leurs premières liaisons commerciales, la société Gazocéan lançait le « Pythagore », premier navire expérimental à cuves intégrées. Long de 57 m, ce bâtiment avait une capacité de 593 m³.

Aujourd'hui, la majorité des navires en construction ont adopté cette technique.

Dans ce type de méthanier, les cuves sont intégrées à la coque à laquelle elles transfèrent, à travers un calorifuge résistant, tous les ef-

LES CUVES SPHERIQUES

Mise au point par la société Gazocéan et sa filiale d'engineering Technigaz, la technique des cuves sphériques est surtout originale par le système de support et d'ancrage des sphères et par la suppression ou la réduction de la barrière secondaire. La tenue verticale des cuves est réalisée par une série de parallélogrammes articulés qui permettent la libre dilatation de la sphère. L'élasticité du système est telle qu'une fraction seulement des déformations de la coque est retransmise à la sphère.

La tenue au roulis ou au tangage est assurée par des dispositifs équivalents, placés sur de grands cercles transversaux ou longitudinaux. Comme les réservoirs, les systèmes de support articulés sont réalisés en acier à 9 % de nickel. L'isolation peut être réalisée de différentes manières. On a :

- soit une isolation pulvérulente introduite en vrac dans l'espace entre la double coque du navire et la cuve ;
- soit une isolation en matériaux plastiques cellulaires ou laine de roche montée sur la double coque.

LA FLOTTE DE TRANSPORTEURS DE GAZ

(en milliers de mètres cubes de gaz liquéfié)

	1.1.1965	1.1.1966	1.1.1967	1.1.1968	1.1.1969	1.1.1970	1.1.1971
Transporteurs de gaz	350	550	690	1 005	1 295	1 595	1 964
dont :							
G.N.L.	54	81	81	81	81	224	390
G.P.L.	296	469	609	924	1 214	1 371	1 574

Sources : Gazocéan et évaluations C.S.C.N.

forts mécaniques, statiques et dynamiques. L'enveloppe intérieure mince peut être gaufrée, souple, d'une épaisseur d'un millimètre environ, en acier inoxydable. Cette paroi est appuyée à la coque par l'intermédiaire d'un système isolant rigide. C'est la technique préconisée par Gazocéan (associée depuis 1966 à la société britannique Conch).

On peut aussi avoir des membranes planes, épaisses d'un demi-millimètre, en métal « Invar » constituant les barrières primaire et secondaire. C'est la technique Gaz-Transport-Gaz de France.

Par rapport à la cuve autoporteuse, la cuve intégrée entraîne, à capacité égale, une économie estimée à environ 15 % du prix du navire. Cela tient à une réduction sensible des quantités de métaux nobles nécessaires et à une meilleure utilisation du volume disponible.

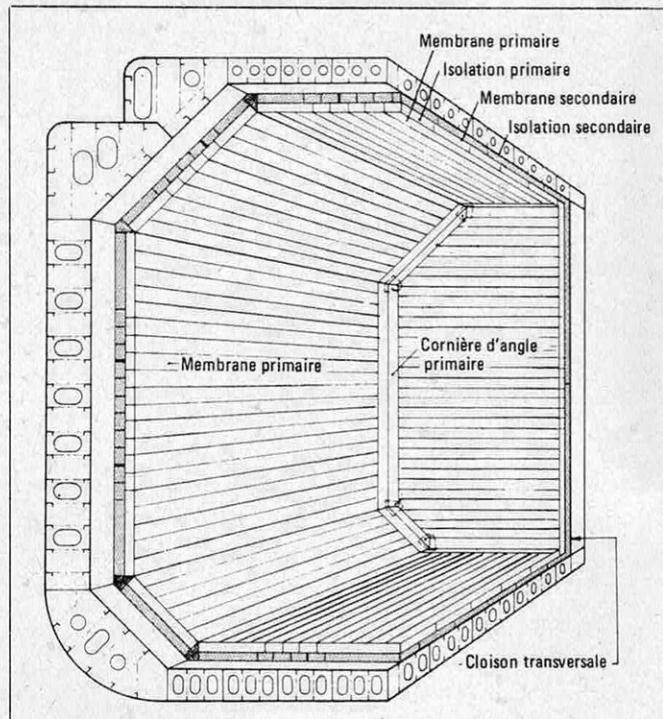
Une dizaine de navires (dont neuf en France), totalisant plus de 700 000 m³, ont été commandés ferme selon la première technique. L'un d'eux, de 40 000 m³, assurera la liaison entre Skikda et Fos. Deux de 120 000 m³ sont en construction à La Ciotat pour livraisons en 1974 et 1975. Le « Descartes », de 50 000 m³, vient d'être achevé pour assurer un service entre l'Algérie et les Etats-Unis.

La technique des « membranes planes » a été mise au point par la société Gaz-Transport, en collaboration avec le Gaz de France, en vue de son application sur des méthaniens de capacité élevée. Le métal utilisé, l'« Invar », est un acier à 36 % de nickel à très bas coefficient de contraction.

Succès appréciable pour les ingénieurs français, les « membranes planes » ont été retenues pour deux méthaniens de 71 500 m³, le « Polar Alaska » et l'« Artic Tokyo » commandés en 1967 par Phillips Petroleum/Marathon Oil aux Chantiers Kockums (Suède).

Depuis 1969, ces deux navires fonctionnent de façon satisfaisante entre la presqu'île de Kenai en Alaska (usine de liquéfaction de Port Nikiski) et le terminal de Yokohama au Japon, distant de 12 000 km.

Depuis, d'autres navires ont été commandés : deux de 75 000 m³ pour la Shell (trafic entre Brunei et le Japon), deux de 120 000 m³ pour la liaison entre l'Algérie et la côte Est



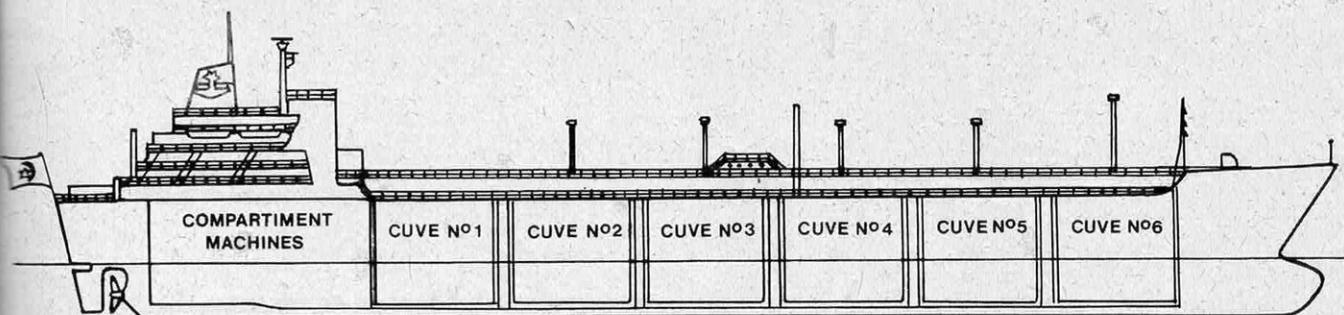
des Etats-Unis. Enfin, un navire de 40 000 m³ pour le transport de « GNL » entre Skikda et Fos.

L'AVENIR DES METHANIERS

Les navires à cuves intégrées, qui semblent les plus intéressants pour les grandes capacités, se sont vite trouvés pris dans la course au gigantisme inaugurée par les pétroliers et accélérée par la crise de Suez. En plus des navires de 120 000 m³ mentionnés plus haut, il existe déjà des projets d'unités de 200 000 et 300 000 m³.

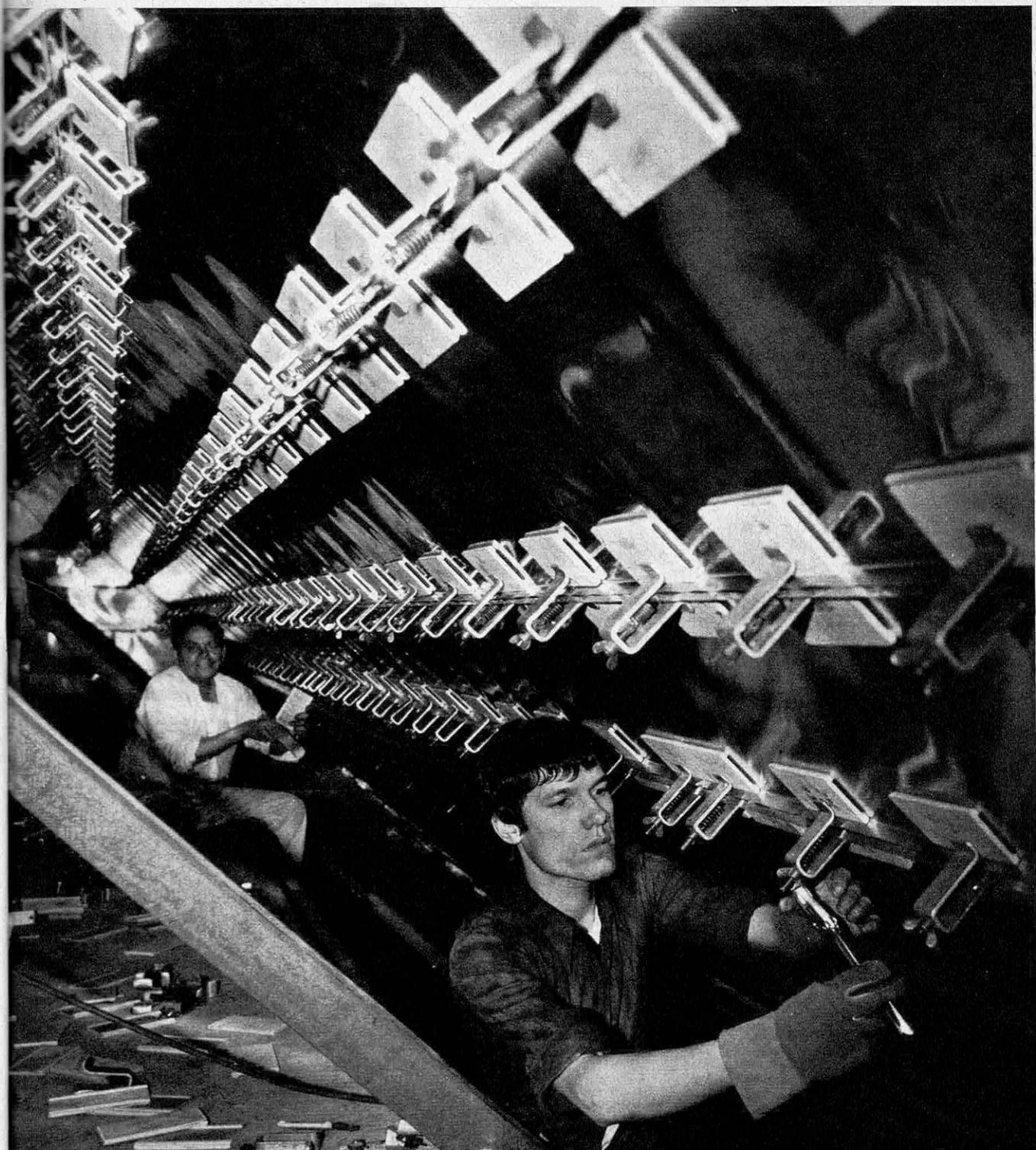
Les capacités plus faibles seront surtout orientées vers des transports diversifiés : propane, butane, éthylène, propylène, ammoniac, etc., dont les besoins sont en plein développement.

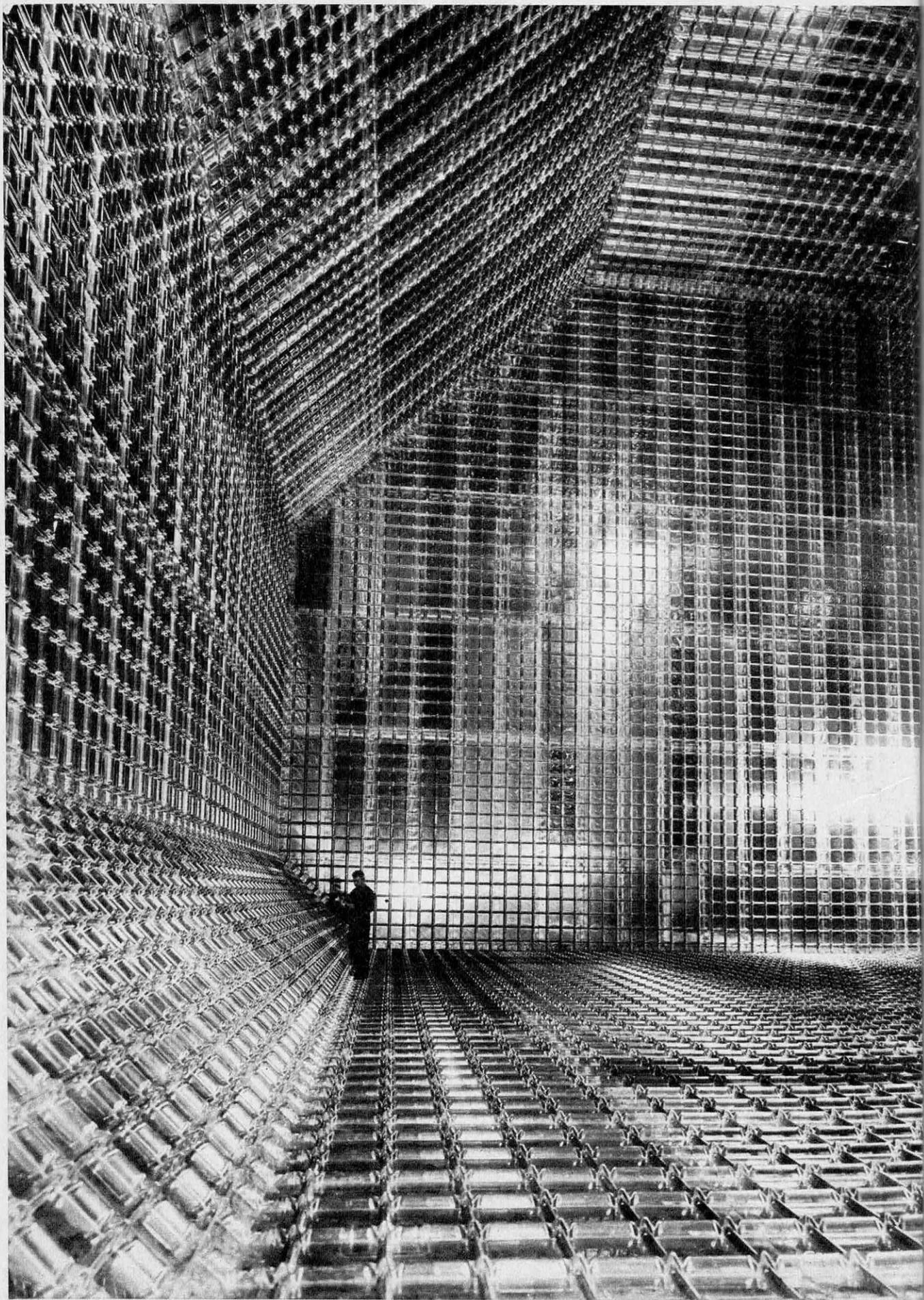
L'avenir des grands méthaniens est évidemment lié aux transports mondiaux de gaz liquéfié. L'Europe occidentale, dont la conversion au gaz naturel a été fort rapide, possède des gisements importants, tels Lacq, Gronin-

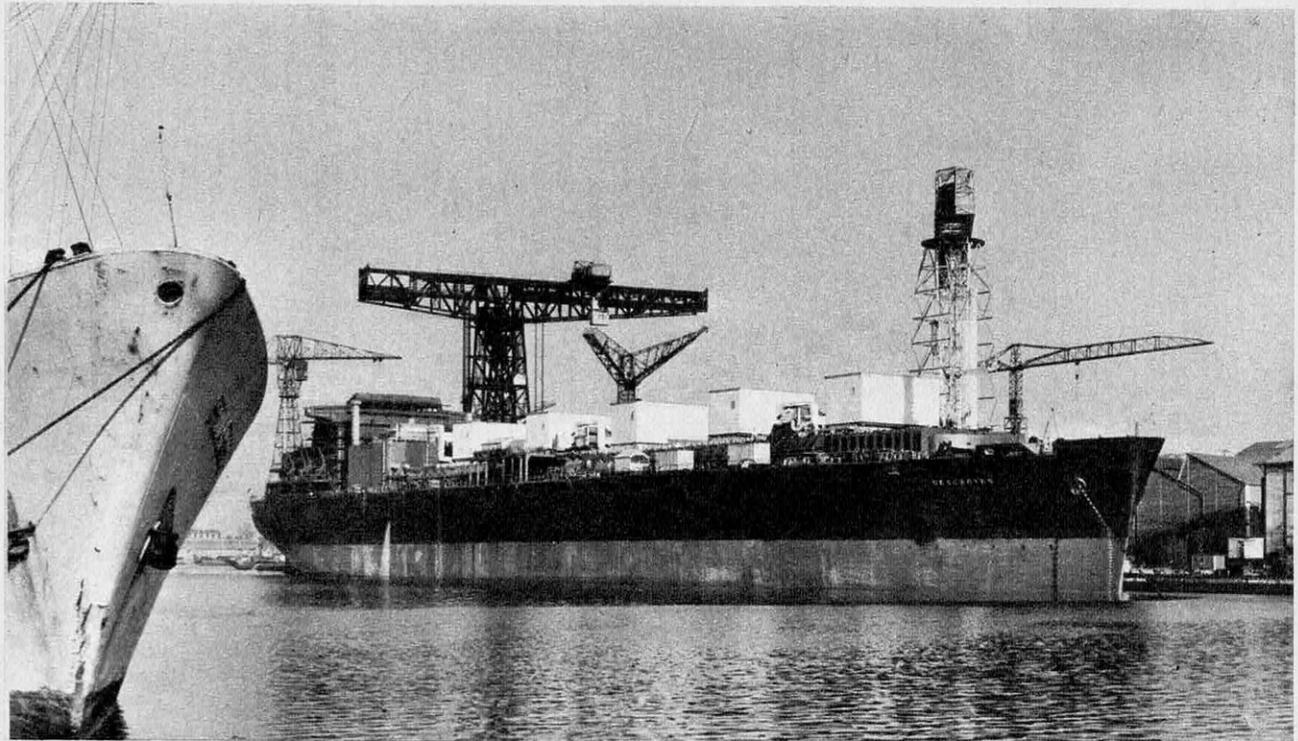


Les cuves du Hassi-R'mel correspondent à la technique des membranes planes. En cours d'aména-

gement, celles-ci sont mises en place (ci-dessous) sous forme de tôles de 20 à 25 m de long.







Livré en septembre 1971, le Descartes est actuellement le plus gros méthanier battant pavillon français. Construit, quant à ses cuves, selon la

technique des membranes gaufrées (photo en page de gauche), il doit assurer la liaison Algérie-Etats-Unis, à partir d'Arzew, puis de Skikda.

LA TECHNIQUE DES MEMBRANES GAUFREES

La barrière primaire est constituée par un assemblage de tôles gaufrées de 1,2 mm d'épaisseur en acier inoxydable à 9-10 % de nickel, soudées entre elles à recouvrement, et comportant deux familles d'« ondes » orthogonales obtenues par pliage.

Les ondes dessinent sur chacune des parois des cuves un quadrillage rectangulaire. Les panneaux élémentaires sont fixés à l'isolation porteuse sur une moitié de leur périmètre. Les ondes permettent de compenser la contraction du matériau à basse température, et de suivre facilement les elongations de la coque du navire à la mer.

Le système isolation-barrière secondaire comprend, en partant de la double coque et en allant vers la barrière primaire gaufrée :

- des lambourdes en bois dur fixées à la coque et dessinant un quadrillage dont les vides sontbourrés de laine de verre. Les lambourdes servent de support à la couche suivante ;
- des panneaux sandwich constitués d'un contreplaqué de 12 mm d'épaisseur, de trois couches de balsa lamellé collé, d'un contreplaqué de 3,4 mm d'épaisseur et d'une couche de pavés de balsa de 50 mm d'épaisseur dans laquelle sont noyées les pièces d'ancrage de la barrière primaire.

La conception même des cuves, construites d'éléments standards utilisés à plusieurs milliers d'exemplaires identiques quelle que soit la taille du navire (aussi bien pour la barrière primaire que pour l'isolation), autorise la préfabrication. Tel n'est pas en général le cas pour les cuves autoporteuses.

gue, la vallée du Pô, la Mer du Nord (côtes anglaises et norvégiennes). Elle peut, en principe, accéder aux énormes ressources de l'U.R.S.S. acheminables par gazoducs. Il n'est donc pas absolument certain que les échanges maritimes continuent de se justifier, au moins pour l'Europe.

Tout autre est le cas du Japon, insulaire et à peu près démunie de ressources énergétiques. Le gaz naturel y est de plus en plus employé tant pour sa diversité d'emplois que pour son caractère non polluant. Ceci explique les importations en provenance de l'Alaska, et bientôt de Brunei, et les projets dans le golfe Persique.

Reste le cas des Etats-Unis, où le gaz naturel couvre plus du tiers des besoins, mais dont les réserves s'amenuisent. Elles correspondent aujourd'hui, au rythme actuel, à une dizaine d'années seulement de consommation. Des contrats d'importation ont déjà été signés avec l'Algérie (par El Paso) et le Venezuela. Si de nouveaux gisements ne sont pas découverts à bref délai dans le sous-sol national, il ne restera aux Etats-Unis que deux possibilités : revenir au gaz manufacturé, c'est-à-dire au charbon dont les réserves sont considérables, ou importer du gaz naturel en quantités croissantes.

Par la position privilégiée qu'ils ont pu acquérir dans le domaine des méthaniers, nos chantiers navals ne peuvent qu'espérer la deuxième solution.

Michel GRENON



LE FRET du porte-containers au navire porte-barges

Face à l'augmentation constante du coût d'exploitation de leurs navires, la préoccupation majeure des armateurs est de diminuer la durée des rotations. Ce résultat peut être obtenu par l'accroissement de la vitesse, mais surtout par la réduction des temps d'immobilisation dans les ports. L'adoption du transport par containers ou par unités de charge sur roues (procédé roll on/roll off) ont ainsi amené un progrès décisif. Répondant au même souci, la formule du navire porte-barges, apparue récemment, offre de nouvelles perspectives.



Port Elisabeth, dans le New Jersey, se veut la capitale mondiale du trafic maritime des containers. En tout cas, l'image qu'en donne cette photographie aérienne est symbolique d'une ère nouvelle. Rationalisation et standardisation sont aujourd'hui les mots d'ordre du trafic des marchandises générales.

D epuis longtemps, certains transports spéciaux par terre ou par eau utilisaient des cadres, mais ce qu'il n'est pas exagéré d'appeler la révolution du container est né aux Etats-Unis, dans le cours des années cinquante, de l'expérience d'un entrepreneur de camionnage.

Malcom Mac Lean exploitait un parc de semi-remorques entre New York et Houston. L'idée lui vint d'utiliser la voie maritime pour réduire ses dépenses et aussi pour échapper à la diversité des réglementations routières, lesquelles changeaient aux limites de chacun des huit Etats à traverser. Dans un premier temps, Mac Lean embarquait et débarquait ses camions par roulage direct sur les navires. En dissociant la caisse du châssis, il ne fit en somme que revenir à la formule du cadre de transport, sous une forme modernisée. Pour Mac Lean, la généralisation du procédé devait aboutir à une réduction massive du coût global du transport, tout en permettant l'acheminement de bout en bout de la marchandise sans qu'elle ait à subir de manipulations en cours de route. Sur les grandes liaisons maritimes, la containerisation devait réduire le coût de la manutention portuaire, qui absorbait souvent plus de la moitié du prix total du transport. La durée des opérations immobilisant les navires dans les ports se trouverait raccourcie, ce qui entraînerait aussi, finalement, une diminution des coûts. La marchandise, enfin, serait mieux protégée contre les avaries, les pertes ou les vols.

En 1955, Mac Lean ayant pris le contrôle de deux compagnies de navigation commença l'exploitation de navires traditionnels n'ayant subi qu'un minimum de modifications pour le transport des containers. Tel est l'origine d'un armement qui sous le nom de **Sea-Land**, adopté en 1962, allait prendre un grand développement. Au début, il ne s'agissait que de liaisons avec Porto Rico et de cabotage entre la côte Est et la Californie. Par la suite, le développement de l'Alaska allait justifier la création, sur la côte Ouest, d'un service entre Seattle (Etat de Washington) et Anchorage. De son côté, la **Matson Line** assurait une liaison entre la côte Ouest et Hawaï.

UN ESSOR TRES RAPIDE

Le trafic transatlantique devait ouvrir des perspectives encore plus fructueuses. Inaugurée en 1966, la desserte de certains ports européens par porte-containers prit une ra-

pide extension, tandis que l'infrastructure terrestre se perfectionnait, notamment à Port-Elisabeth, près de New York.

Il était en effet indispensable de dépasser les limites des ports traditionnels et de disposer des immenses espaces nécessaires au stockage, au tri et au routage des containers. A l'heure actuelle, ces opérations sont si complexes qu'elles entraînent souvent le recours à l'ordinateur.

Il fallait aussi un outillage de manutention spécialisé. Les porte-containers de la première génération étaient souvent dotés de grands portiques télescopiques pouvant déborder d'une dizaine de mètres. Cette formule fut rapidement abandonnée : l'utilisation de ces systèmes lourds et encombrants n'était que de courte durée, limitée au temps des escales ; exposés à la mer le reste du temps, ils entraînaient des frais d'entretien importants ; surchargeant les parties hautes du navire, ils pouvaient poser des problèmes de stabilité. On en vint donc rapidement aux

appareils de quais, offrant une plus grande portée et facilitant le transbordement direct entre le navire et les véhicules de transport terrestre.

Le « terminal » américain de Port-Elisabeth ne fut pas le seul à s'équiper, d'autant plus que divers armements européens allaient emboîter le pas, en utilisant d'abord des navires traditionnels plus ou moins aménagés. Très vite il devint évident qu'on avait affaire à une véritable révolution et que tous les grands ports européens devaient s'adapter. Tel fut le cas, notamment, de Rotterdam, d'Anvers, de Hambourg, de Bremerhaven, de Tilbury, de Southampton...

En France, Le Havre disposait des espaces nécessaires et s'équipa rapidement, en prévoyant pour son plan d'extension des aménagements répondant aux besoins futurs. Dunkerque s'orienta dans la même direction, surtout pour le trafic de cabotage. En Méditerranée, la containerisation fut introduite un peu plus tardivement, surtout à Gênes et à

LES CONTAINERS : UNE DEFINITION PRECISE

Un Bureau International avait été créé dès 1933 pour examiner les problèmes posés sur le plan international par le transport d'unités de chargement utilisant des moyens d'acheminement successifs. Il entrait tout naturellement dans sa vocation d'étudier la situation nouvelle créée, pour l'ensemble des transporteurs, par l'extraordinaire développement pris par l'emploi des containers. Il s'attacha, en particulier, à élaborer une définition du container qui puisse être universellement adoptée. Cette définition est la suivante :

Engin de transport (cadre, citerne amovible ou autre engin) ayant un caractère permanent et étant assez résistant pour permettre un usage répété ; spécialement conçu pour faciliter le transport des marchandises sans rupture de charge par un ou plusieurs moyens de transport ; muni de dispositifs le rendant facile à manipuler, notamment lors de son transbordement d'un transport à un autre ; conçu de manière à être facile à remplir et à vider ; d'un volume intérieur d'au moins 1 m³. Cette définition de caractère très général n'exclut pas une grande diversité dans la structure des containers. Certains comportent des citernes pour liquides, d'autres un équipement pour les transports frigorifiques... Il y a également diversité des matériaux employés (acier, aluminium, matières plastiques).

En ce qui concerne les dimensions, une standardisation s'imposait, définie par l'**International Standard Organization** (I.S.O.). Il a été admis que, partant d'une largeur uniforme de huit pieds⁽¹⁾ et d'une hauteur égale (sauf pour les containers de 40 pieds où elle peut être de huit pieds six pouces), les caractéristiques devaient s'échelonner suivant le tableau suivant :

(1) un pied = 30,47 cm ; un pouce : 25,4 mm.

Longueur x hauteur (en pieds)	Capacité (en m ³)	Poids brut (en tonnes anglaises : 1 016 kg)	(en tonnes métriques)
40 x 8,06	67	30	30,480
40 x 8,00	60	30	30,480
30 x 8,00	45	25	25,400
20 x 8,00	30	20	20,320
10 x 8,00	15	10	10,160

C'est la catégorie des containers de 20 pieds qui a été la plus courante, mais sur les lignes des Etats-Unis, une tendance s'accentue vers le développement des unités de 40 pieds. L'adoption de ces dimensions est maintenant générale, sauf pour quelques matériels anciens, vestiges de l'époque où chaque armateur adoptait les dimensions convenant à sa clientèle, ce qui provoqua une situation franchement anarchique.

Les containers appartiennent généralement aux armements, qu'ils soient autonomes ou groupés (dans ce cas les containers sont utilisés en « pool »). Une autre solution consiste, pour les transporteurs, à faire appel à des sociétés spécialisées de « leasing ».

Bien que le nombre des marchandises « containerisables » ne cesse de croître, l'extension du procédé n'est pas illimitée. On ne peut l'utiliser pour les billes de bois ou le charbon, et il n'est applicable que sur les lignes comportant un certain équilibre entre les trafics aller et retour. Pour la desserte de certains pays en voie de développement qui reçoivent des produits manufacturés et n'exportent que des matières premières chargées en vrac, il est plus avantageux de procéder à l'aller par chargement sur palettes (qui permettent une plus rapide manutention que l'arrimage traditionnel et sont moins encombrantes au retour que les containers vides).

Le Kangourou est le premier navire français conçu uniquement pour l'emport de containers standardisés. Lancé en avril 1970, c'est une des plus grandes unités de ce type en service.



Marseille. Pour ce dernier port, l'aménagement des espaces de Fos ouvre de très larges perspectives.

Les conclusions générales auxquelles aboutirent les premières expériences étaient que la meilleure rentabilité serait acquise avec de grands containers standardisés chargés dans les cales, le volume de celles-ci étant, autant que possible, un multiple du volume unitaire. Cela impliquait l'utilisation de navires spécialement conçus pour ce trafic et non plus d'unités classiques aménagées. Il fallait aussi que le transporteur maritime coordonne ses activités avec celles des entreprises de transport, routier, ferroviaire ou fluvial pour les trajets terminaux.

DES UNITES MODERNES EN TROP GRAND NOMBRE ?

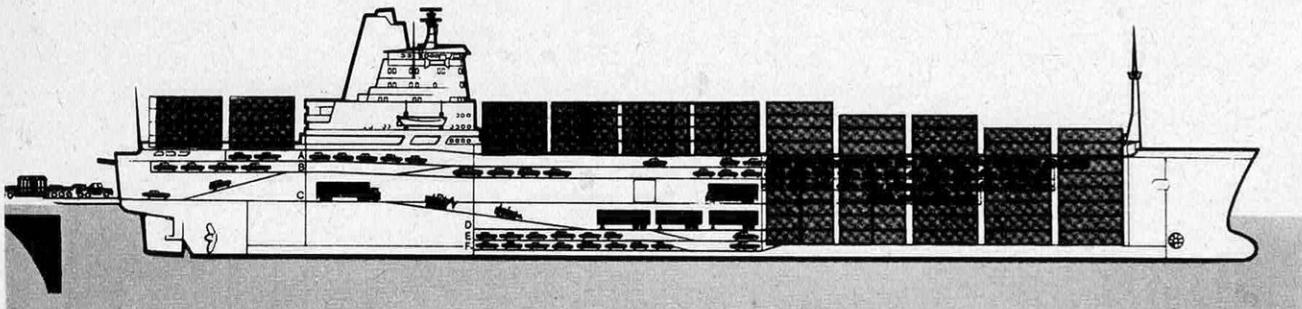
En matière d'unités spécialisées, le problème est donc de pouvoir placer à bord le plus grand nombre possible de containers en évitant toute perte d'espace dans les cales. Les parties du navire dont les formes sont trop accentuées, l'extrême avant par exemple, créent de toutes façons des limitations. D'où l'intérêt du chargement complémentaire en « pontée » sur trois ou quatre niveaux. Sur les navires traditionnels, le chargement en pontée n'était acceptable que pour quelques marchandises peu fragiles. Sur les unités modernes, l'étanchéité des containers et la

hauteur à laquelle ils sont placés les rend moins vulnérables aux effets de la mer.

Le fond des cales, sur lequel reposent les containers, doit être plan. Ceci implique la suppression du « tunnel » dans lequel est placé habituellement l'arbre porte-hélices. La machine se trouve donc reportée à l'extrême arrière. Il en est de même de la passerelle et du « château », de façon à abolir tout obstacle à la manutention verticale des containers, dont l'empilage est guidé par des glissières. Les faux-ponts, indispensables à un bon arrimage des marchandises diverses sur les navires traditionnels, deviennent sans objet. Pour le passage des containers vers les cales, la plus large ouverture du pont est nécessaire. Malgré leur coût très élevé et l'importance du stock de containers dont l'armateur doit disposer, le nombre des navires de ce type s'est accru très rapidement au cours des dernières années. Il est vrai que, compte tenu du temps passé dans les ports, on estime qu'un seul porte-containers peut remplacer trois cargos classiques. Au 1^{er} juillet 1971, il en existait 231 dans la flotte mondiale (dont 4 seulement sous pavillon français) et de nombreuses commandes étaient lancées.

Ici comme ailleurs, se manifeste une tendance à l'accroissement des tonnages unitaires. Sur les longs parcours, l'expérience montre en effet que le seuil de rentabilité n'est atteint qu'avec des unités pouvant embarquer un très grand nombre de containers. Le plus

Le consortium international ACL a mis en service sur l'Atlantique nord plusieurs cargos spécialement étudiés pour le transport simultané de containers standards et de véhicules automobiles de tous types. Ces derniers sont chargés par une vaste baie arrière selon la technique roll-on/roll-off. Certaines des unités ACL ont été construites par des chantiers français.



Port autonome du Havre

grand et le plus rapide au monde est le porte-containers japonais Kamakura Maru, construit par un chantier du groupe Mitsubishi Heavy Industries. Il est le premier d'une série de trois navires de 35 250 tonnes de port en lourd, de vitesse 26 nœuds. Le Kamakura Maru peut embarquer 1 830 containers de 20 pieds. Sea-Land a en commande des unités de 43 000 tonnes de port en lourd pouvant embarquer l'équivalent de 2 000 containers de 20 pieds et filant 33 nœuds avec deux hélices. Tous ces navires semblent devoir être affectés au seul transport de containers. La spécialisation, pourtant, n'est pas toujours exclusive. C'est ainsi que de récentes unités de la Compagnie générale transatlantique intégrées dans le groupe ACL⁽¹⁾, et affectées au trafic entre l'Europe et les Etats-Unis, comportent une utilisation partielle en transport de véhicules.

L'importance des investissements dépasse souvent les forces d'une seule entreprise. Ceci entraîne, surtout en Europe, la formation de consortium multi-nationaux dont les membres acceptent une discipline minimum : homogénéité du matériel ; harmonisation des horaires ; accords de représentation commune. En dehors du groupe ACL déjà cité, l'Australie - Europe - Containers Service (AECS) groupe huit armements, français (Messageries Maritimes), ouest-allemand, anglais, hollandais, italien et australien.

En dehors du trafic Europe-Etats-Unis, diverses lignes, en effet, se développent : entre l'Europe et l'Australie, entre la côte Ouest des Etats-Unis et le Japon, entre l'Australie et le Japon...

Sur certaines lignes, le rythme rapide de la construction de porte-containers crée un inquiétant suréquipement. Sur l'Atlantique Nord, les armateurs américains mettent en service un nombre d'unités tel que le tonnage offert semble dépasser le double des besoins prévisibles. Les armements engagés commencent à ressentir les effets de cette surcapacité.

En novembre 1971, à la Jamaïque, les sept principaux armements ou groupes d'armements de l'Atlantique Nord ont, après de laborieuses négociations, signé un accord de pool. Cet accord détermine le pourcentage des recettes revenant à chacun, le nombre des ports à desservir et celui des navires à utiliser, les taux de fret à respecter... Il est probable que, tôt ou tard, des dispositions analogues devront être prises sur d'autres itinéraires.

LE VÉRITABLE TRANSPORT PORTE A PORTE

Containerisées ou non, les marchandises sont habituellement chargées et déchargées par

manutention verticale (lift on/lift off). Dans certains cas, il peut y avoir intérêt à opérer par manutention horizontale. Des véhicules transportant la marchandise embarquent par roulage et restent à bord jusqu'au port de destination, où ils débarquent pour poursuivre leur route. C'est le roll on/roll off, communément appelé « ro/ro » par les professionnels.

Ce procédé donne un véritable service « porte à porte » sans aucune manutention intermédiaire. La durée des opérations portuaires se trouve réduite au minimum, le chargement et le déchargement des marchandises générales étant plus rapide par roulage que par tout autre procédé. Le roulage n'exclut d'ailleurs pas l'emport de containers sur les remorques ou les camions.

En ce qui concerne l'outillage portuaire, ne sont à prévoir que quelques tracteurs pour les remorques. Il faut, par contre, disposer à quai d'une aire de stockage pour les engins en attente d'embarquement et pour ceux qui, éventuellement, sont chargés ou déchargés sur place. Il faut aussi aménager des rampes pour que les véhicules puissent monter à bord ou débarquer. Dans les bassins à niveau constant, la porte abattable de l'ouverture de coque peut jouer ce rôle. Lorsqu'il faut tenir compte de la marée, on recourt à des passerelles articulées soutenues par flotteurs ou par câbles.

La main-d'œuvre portuaire se réduit aux hommes chargés de la manœuvre et de l'arrivée des véhicules. Les manœuvres peuvent d'ailleurs être assurées par les conducteurs habituels voyageant à bord avec leur engin. Pour l'armateur, la faible durée des opérations portuaires est encore plus nette que dans la containerisation. D'où des rotations très rapides et une cadence déterminée de voyages à l'aide d'un nombre d'unités plus faible que s'il s'agissait de navires classiques.

Le système roll on/roll off a aussi ses inconvénients. Tout d'abord, l'espace disponible n'est pas pleinement utilisé du fait de la hauteur des roues. Une perte d'espace possible résulte des dimensions des véhicules qui ne suivent guère de règles de standardisation. Le procédé s'est surtout développé pour les trajets courts, tels ceux effectués en mer du Nord par les premières unités mises en service en Europe. Pour les longs trajets maritimes, le temps passé aux escales représente une fraction bien moindre de la durée totale d'une rotation. Dès lors, sa réduction peut être moins impérative. Sur une longue traversée, d'ailleurs, l'immobilisation d'engins aussi coûteux que les grands poids lourds est un inconvénient pour leur propriétaire. Les règlements routiers applicables à ces véhicules, très différents d'un continent à l'autre, constituent une autre limitation.

La gamme des véhicules routiers transportés

(1) ACL : Atlantic Containers Lines, groupe comprenant d'autre part des armements hollandais, britannique, et suédois.

varie largement selon les lignes et la nature des trafics. Elle va des voitures de tourisme, neuves ou non, aux remorques, semi-remorques et camions, voire aux véhicules sur chenilles. A citer encore certains matériels lourds non containerisables : matériel agricole, machines-outils de grandes dimensions...

Ces engins peuvent être chargés soit sur des remorques routières, soit au port d'embarquement sur des remorques basses dont l'utilisation est limitée au « quai à quai ».

La construction des navires est plus simple et moins onéreuse que celle des porte-conteneurs. Leur caractéristique principale est l'existence de larges ouvertures de poupe ou de proue, ou parfois latérales, donnant accès à des garages sur un ou plusieurs ponts.

Comme pour les porte-conteneurs, les premiers essais ont été faits avec des navires anciens transformés. Aux Etats-Unis, il s'agissait de pétroliers de type T-2 construits pendant la guerre. Cette formule est vite apparue comme non viable et l'on a compris qu'il fallait construire des navires spécialement conçus. Depuis quinze ans, de nombreuses unités ont ainsi été mises en service dans le monde. Beaucoup d'entre elles ne sont pas aménagées pour le seul roll on/roll off. La formule se combine souvent avec le chargement de marchandises traditionnelles, avec la containerisation, voire avec le transport de liquides en vrac. À souligner, surtout, qu'une grande partie de ces transports s'effectue par **car-ferrries** sur des distances généralement courtes, les passagers voyageant avec leur voiture et ne laissant que peu de place aux véhicules industriels. La formule n'est donc pas tout à fait satisfaisante : pendant la période d'activité touristique, les marchandises risquent, faute de place, de subir des retards.



Une tendance se marque vers l'exploitation d'unités ne prenant que du fret et assurant son acheminement en permanence.

DES NAVIRES GIGOGNES

La formule très récente du navire porte-barges répond aux mêmes objectifs que la

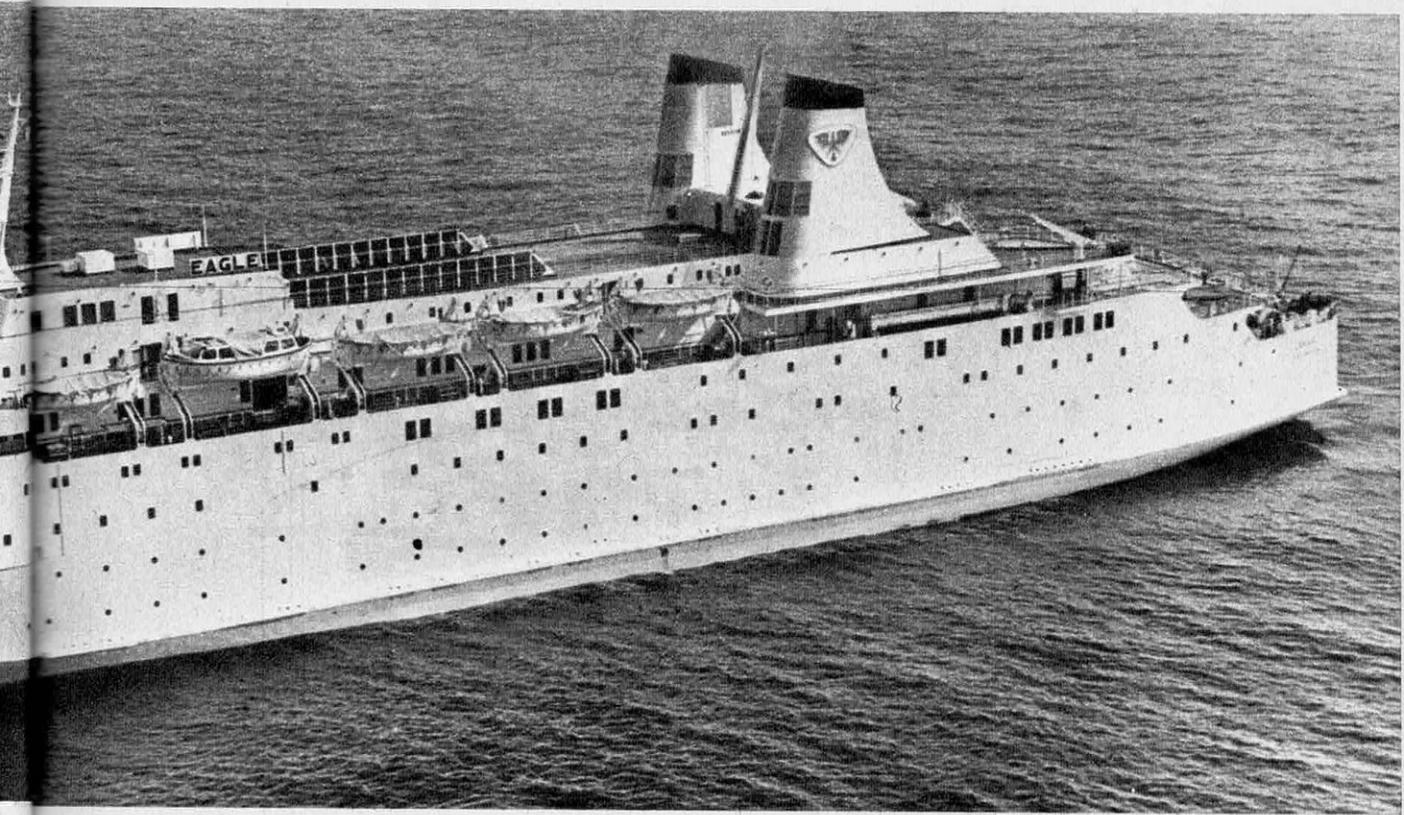
FLOTTE DE PORTE-CONTAINERS ET DE PORTE-BARGES AU 1^{er} JANVIER 1971 (EN UNITÉS)

	Porte-containers intégraux	Porte-containers mixtes	Total	Porte-barges
En service ...	199	311	510	2
En commande ...	158	147	305	16
dont :				
● pavillon britannique	49	12	61	—
● pavillon U.S.	24	—	24	14
● pavillon R.F.A.	38	59	97	1
● pavillon japonais	14	—	14	—
● pavillon suédois	1	19	20	—
● pavillon danois	4	14	18	—
● autres pavillons	28	43	71	1
Total en service et en commande	357	458	815	18

● d'après A/S Shipping Consultants.

Livré en 1971 à la General Steam Navigation Co anglaise par les chantiers Dubigeon-Normandie de Nantes, le ferry Eagle est affecté à des liaisons à longue distance (Southampton-Lisbonne-

Tanger). L'arrière de l'Eagle présente une porte pivotante par où les véhicules accèdent à bord. Le navire transporte par ailleurs 750 passagers. Propulsion assurée par 2 diesels de 10 200 ch.



mise en exploitation des porte-containers et des roll on/roll off. Elle consiste à transporter sur des navires de mer des chalands pouvant être mis à l'eau ou embarqués, à proprement parler, par les moyens du bord. Ici aussi, le but est d'assurer le transport des marchandises dans des « contenants » indépendants du navire, en assurant autant que possible le porte à porte et la protection de bout en bout de la cargaison. La rapidité des opérations de chargement-déchargement est d'autant plus manifeste qu'elles peuvent s'effectuer dans des avant-ports et même, sans aucune installation portuaire, sur des estuaires ou des rades abritées. Le navire se trouve donc affranchi des retards et des frais pouvant résulter de l'encombrement des ports ou de l'indisponibilité de la main-d'œuvre. A souligner aussi qu'on tire de plus en plus profit, pour des raisons économiques, de la voie fluviale et que le poussage se généralise.

La rapidité des opérations et leur faible coût permettent aussi de multiplier les escales, même si chacune ne comporte qu'un faible volume de marchandises à transborder. Dans les pays sous-industrialisés, enfin, le navire porte-barges remédie aux insuffisances de l'infrastructure portuaire et des moyens de communications terrestres.

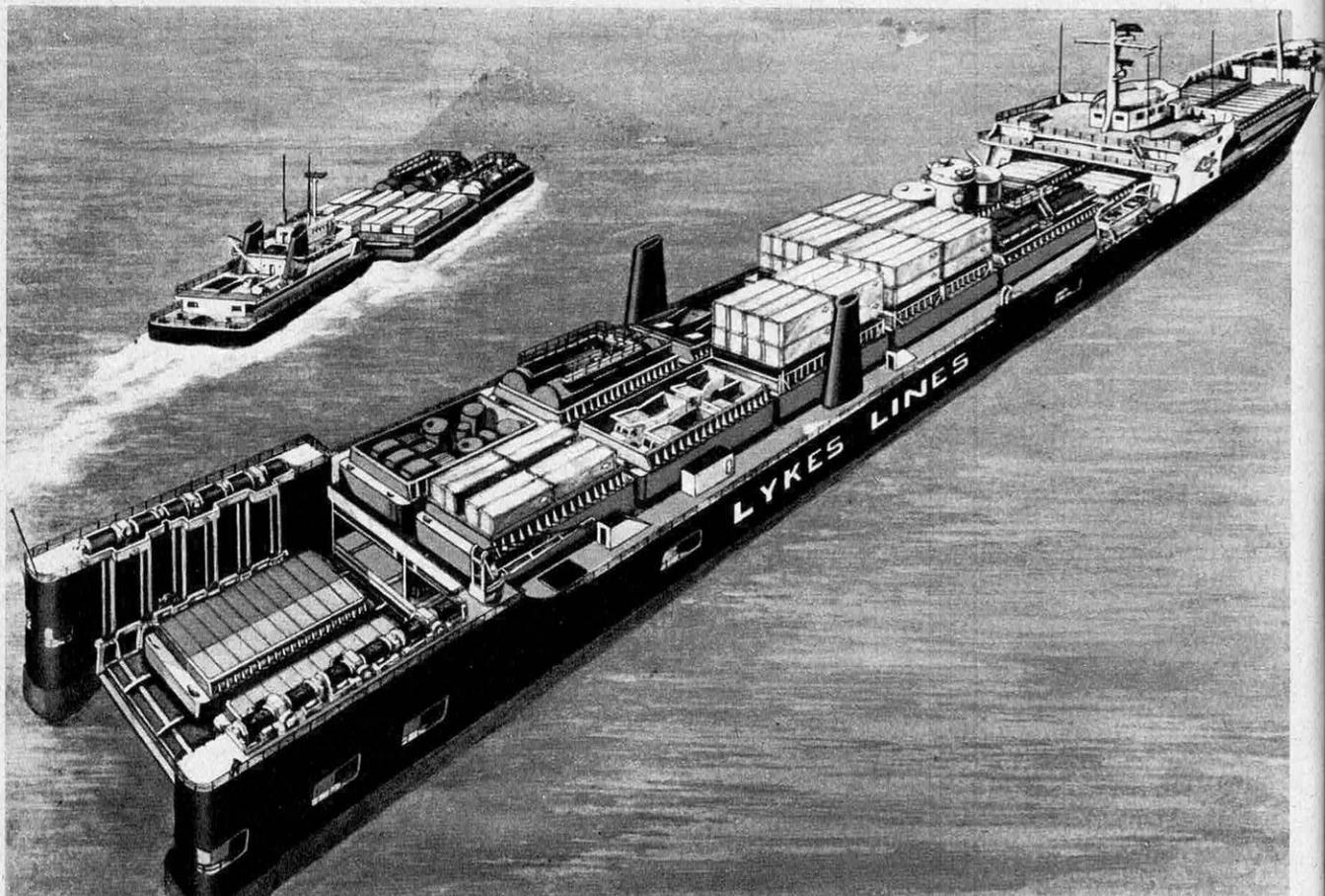
Dans son principe, la nouvelle méthode présente un intérêt indiscutable mais elle impli-

que que soit résolu, entre autres, le problème de l'embarquement et de la mise à l'eau de chalands. Ce problème a donné lieu à des recherches dans diverses directions. L'exemple des docks flottants qui, en s'immergeant partiellement, reçoivent les navires à réparer avant de revenir à une ligne de flottaison normale par pompage de leurs ballasts, pouvait indiquer une voie, mais on se heurtait à l'inconvénient d'une augmentation du tirant d'eau.

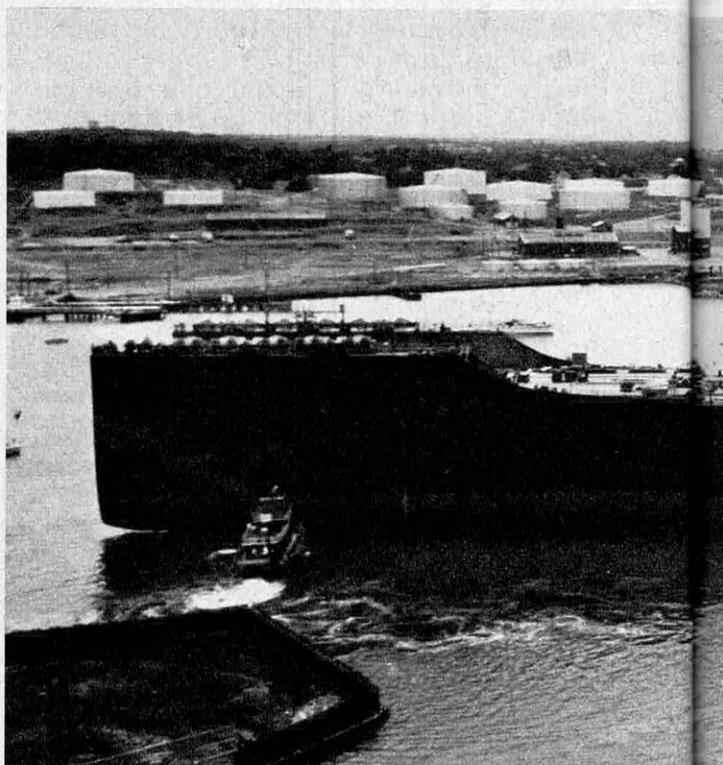
Deux techniques, l'une et l'autre américaine, ont déjà reçu des applications pratiques. Il s'agit des systèmes dits **LASH** et **Sea-Bee**. L'étude du système LASH (Lighters Aboard SHips), réalisée par les chantiers Friede & Goldmann de la Nouvelle-Orléans pour le compte de la **Central Gulf Shipping Corporation** répondait surtout aux besoins des exportateurs vers l'Europe de pâte à papier d'Amérique du Nord. Beaucoup de producteurs ont, en effet, leurs usines sur le Mississippi ou ses affluents alors que les acheteurs sont implantés sur de grands fleuves européens.

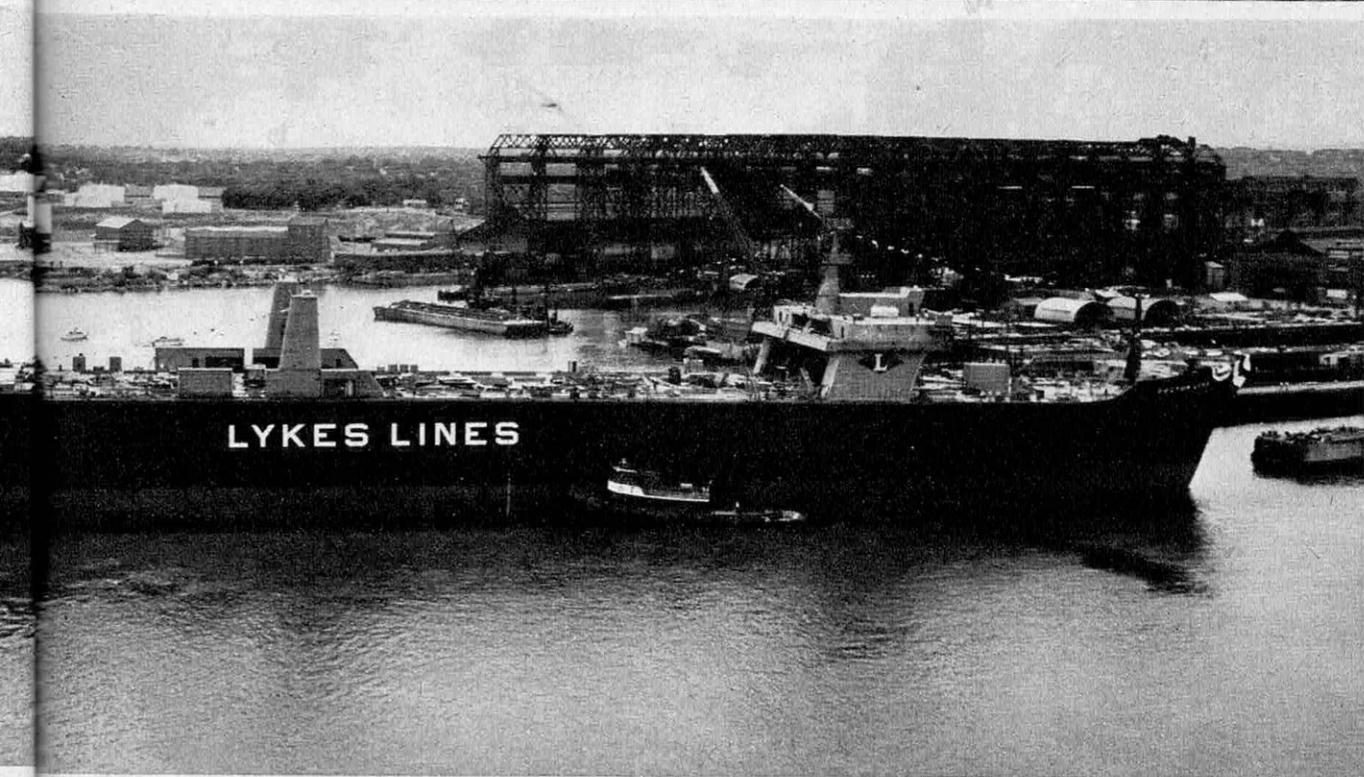
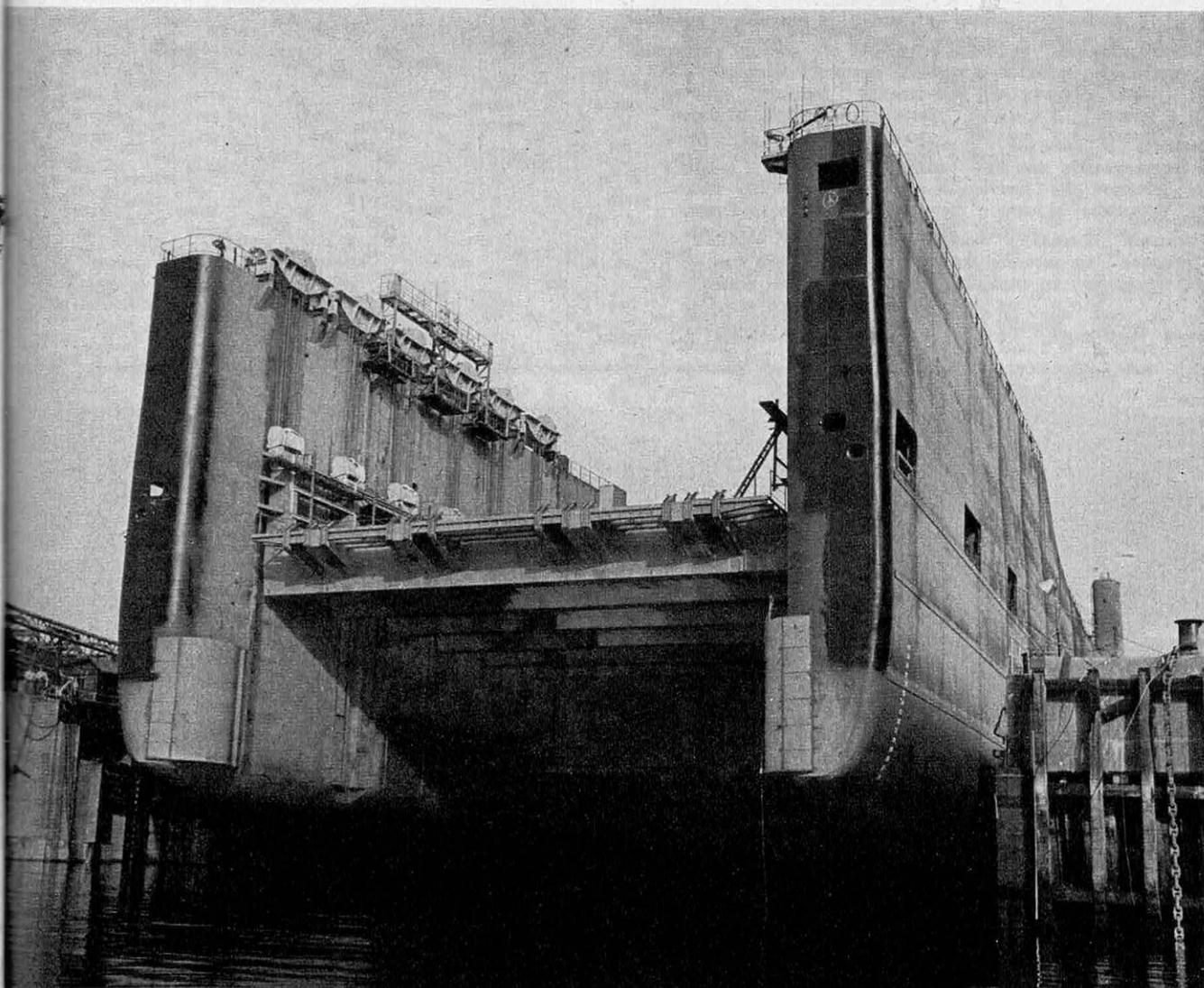
Dans le système LASH, le chargement et le déchargement des barge est assuré par une grue-portique montée sur des rails supportés par les cloisons longitudinales entre lesquelles se placent, perpendiculaires à l'axe du navire, les chalands embarqués. La grue saisit les barge par deux bras débordant de

LES NAVIRES GIGOGNES ACCELERENT LES OPERATIONS PORTUAIRES



La technique très récente des navires porte-barges est susceptible de réduire largement le temps de rotation des navires. Elle permet en effet d'accélérer les opérations de chargement et de déchargement dans les ports. Elle est bien adaptée, en outre, aux pays en voie de développement, où l'infrastructure portuaire peut faire défaut. Le procédé Sea Bee, illustré dans ces pages, permet d'embarquer 38 chalands d'un port en lourd unitaire de 850 t à bord du navire-mère. Ce navire est équipé d'une plate-forme élévatrice à la poupe. La mise en place définitive des barge montées à bord se fait grâce à des transporteurs sur roues à propulsion électrique. En 1972, l'armement américain Lykes devrait disposer de trois unités de ce type pour le trafic entre l'Europe et les Etats-Unis. A l'arrivée, les chalands mis à l'eau par l'ascenseur de poupe peuvent être pris en charge par des pousseurs et effectuer ainsi de longs trajets terminaux.





D'origine également américaine, l'autre technique de navire porte-barges (navires LASH, ou Lighter Aboard SHip) est déjà représentée par deux unités en service, plusieurs autres étant en commande. Le navire-mère, de dimensions un peu inférieures à celles du navire Sea Bee, peut prendre à son bord 73 chalands de 400 t. La mise à l'eau et l'embarquement de ces containers flottants sont assurés par des portiques roulants montés sur rails. L'opération totale de chargement-déchargement pourrait ne pas excéder 24 heures. L'existence de plusieurs navires en commande montre que l'extrapolation à divers trafics de cette technique, née des besoins très spécifiques des exportateurs américains de pâte à papier, est prévisible.



la poupe et, en roulant, amène chacune d'elle à la verticale de l'emplacement qu'elle occupera. Les barges sont descendues le long de glissières et empilées, certaines pouvant être placées au-dessus du pont. Au déchargement, les barges sont souvent groupées, après leur mise à l'eau, pour constituer un convoi poussé.

L'**Acadia Forest** entré en service, comme son sister ship **Atlantic Forest**, en 1969, a une longueur de 262 m, une jauge brute de 38 800 tonneaux et il peut embarquer 73 chalands d'un port en lourd unitaire de l'ordre de 400 tonnes. C'est un navire à un seul pont avec 4 cales à l'avant de la machine et une à l'arrière. La passerelle et les logements sont sur l'avant.

En un quart d'heure, on peut charger un chaland et en décharger un autre. L'opération totale sur les 73 chalands peut donc, en principe, s'effectuer en moins de 24 heures. Comme nous l'avons signalé plus haut, la perte de temps minime aux escales permet leur multiplication : si la liaison Nouvelle Orléans - Rotterdam reste la plus importante, elle n'exclut pas d'autres escales régulières (Bremerhaven, Londres...).

Après la Central Gulf, d'autres armateurs se sont engagés dans l'utilisation de navires LASH ou en prévoient la commande. La **Prudential Grace Line** a déjà trois navires en opération entre la côte Est des Etats-Unis et la Méditerranée ; la **Pacific Far East Line** va mettre des unités en service entre la côte Ouest et l'Extrême-Orient. Deux armements européens ont commandé chacun un navire LASH en Belgique, pour exploitation sur l'Atlantique Nord.

L'adoption de ce système n'exclut pas l'utilisation de containers. Il va de soi que des containers peuvent être chargés sur les chalands, mais, en plus, certaines parties du navire-mère peuvent en embarquer. Tel est le cas de l'**Italia Lash**, premier navire des Prudential Grace Lines, entré en service fin 1970.

Le procédé Sea-Bee (« abeille de mer ») est une conception différente qui a inspiré la construction des porte-barges de la compa-

gnie américaine **Lykes Brothers**, conseillée par l'architecte naval J.-J. Henry. Cet armement est l'un des plus importants pour le transport des marchandises diverses entre le Golfe du Mexique et l'Europe, l'Afrique, l'Extrême Orient et la Méditerranée. Dans la formule Sea Bee, chargement et déchargement des chalands sont effectués par une plate-forme située à la poupe et pouvant monter ou descendre deux barge chargées à la fois. La plate-forme est amenée dans l'eau à la profondeur voulue puis remonte, les chalands venant s'y échouer. Arrivés à la hauteur du pont où ils doivent prendre place, les chalands sont saisis par transporteur sur roues mu électriquement, déplacés horizontalement et déposés dans les cales.

Dans le système Sea Bee, les barges atteignent un port en lourd de 850 tonnes, nettement plus élevé que les barges LASH. Chaque navire peut en charger 38. Ces navires sont d'ailleurs de dimensions plus fortes que dans le système concurrent (longueur 266 m ; tirant d'eau 9,75 m en charge normale ; vitesse 21 nœuds). Ils offrent une importante capacité de fonds pour cargaisons liquides, ballastage et combustible.

Il est certes trop tôt pour évaluer l'ampleur du développement que pourrait prendre l'exploitation des navires porte-barges. Les problèmes posés, d'ordre économique, technique et même juridique sont nombreux. Des études se poursuivent, par exemple, tendant à définir le caractère des barges en droit maritime et en droit fluvial, pour adapter les caractéristiques du matériel aux normes en vigueur sur les voies d'eau européennes, pour prévenir les conflits possibles avec les batelleries. Ces difficultés ne découragent pas les protagonistes du système ni les chercheurs qui, notamment en Allemagne, ont abouti à des formules intéressantes, lesquelles ne semblent pas avoir encore provoqué de commandes fermes.

En ce qui concerne la France, les armateurs ne paraissent pas envisager pour l'instant de s'équiper, bien que le Secrétariat Général à la Marine Marchande ait fait procéder à une étude générale, de même que certaines compagnies de navigation. Compte tenu des trafics éventuellement adaptables à cette formule, la rentabilité des navires serait douteuse. La partie de notre réseau de voies navigables portée au gabarit européen est d'ailleurs encore très limitée.

Quoi qu'il en soit, Le Havre, que l'armement Lykes va desservir avec ses trois Sea Bee au début de 1972, présente un ensemble de conditions favorables. Fos, où les Prudential Grace Lines feront très prochainement escale, offre aussi un site privilégié pour cette nouvelle forme d'exploitation maritime.

Henri CLOAREC

LE DEVELOPPEMENT DES PORTS

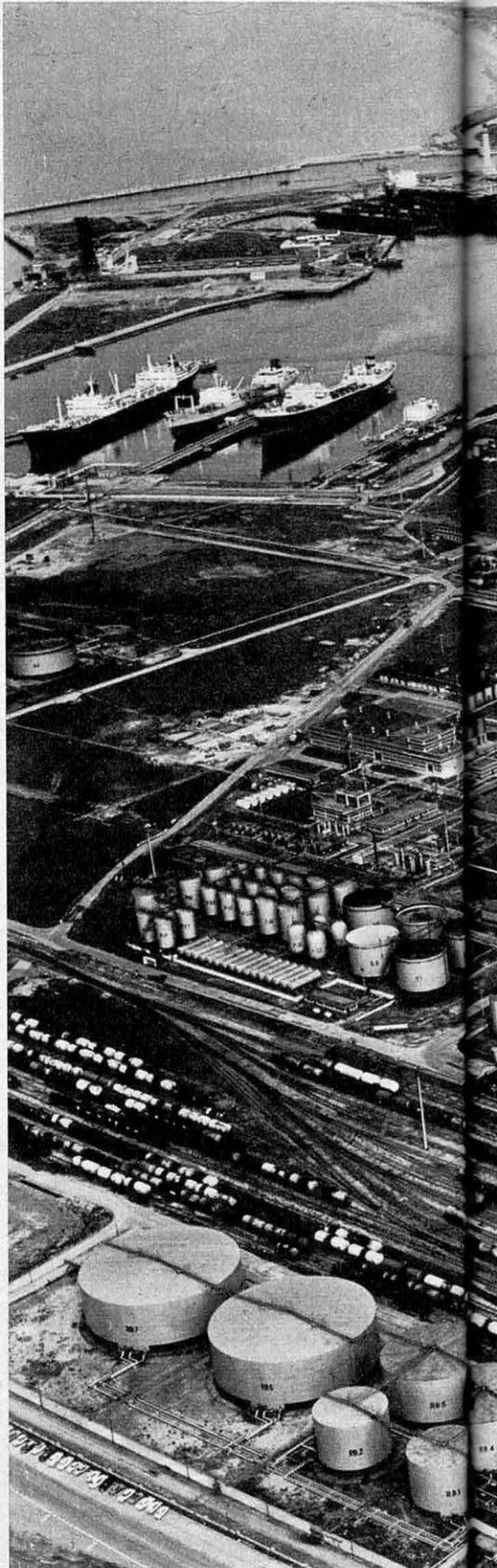
La fermeture du canal de Suez, en imposant aux armements pétroliers desservant l'Europe un long détour par le Cap, a puissamment contribué à l'apparition de pétroliers géants. Mais ce n'est pas l'unique raison. Au cours de ces dernières années, les grandes raffineries ont pour la plupart été implantées dans les ports ou près des centres de consommation reliés à ces derniers par de puissants réseaux d'oléoducs. Parallèlement à l'augmentation absolue des tonnages, imposée par des besoins en progression constante, il en est résulté une concentration certaine du trafic de pétrole brut sur quelques relations débouchant dans des ports susceptibles d'accueillir de très grands navires.

Cette concentration n'est qu'un aspect de la modification structurelle du marché de l'énergie et, plus généralement, de celui des matières premières. L'usage intensif des minerais riches d'outre-mer dans des usines sidérurgiques implantées sur le littoral donne lieu à des flux de transport massifs justifiant le recours aux très grands navires. Dans tous les cas, il est apparu en effet que l'accroissement de la taille des navires entraînait à la fois une baisse assez sensible des prix de construction et une diminution des frais à la tonne transportée. Si l'on affecte de l'indice 100 le coût du transport d'une tonne de pétrole brut sur une unité de 20 000 t de capacité de chargement, cet indice tombe à 50 en recourant à une unité de 60 000 t, à 35 avec un navire de 100 000 t, et à 28 pour un pétrolier de 200 000 t. On admet, **grossost modo**, que le coût à la tonne transportée devrait tomber à 20 avec un super-pétrolier de 500 000 t.

Aussi longtemps que les équipements portuaires ne sont pas à même de répondre aux exigences de telles unités, ces calculs conserveront un caractère théorique. Si le tirant d'eau autorisé dans tel ou tel port impose des allégements de la cargaison, l'économie réalisée sur le transport grâce à une unité de 200 000 t est largement entamée.

L'enfoncement de ces grands navires est considérable et ce n'est qu'au prix de lourds investissements que l'accès aux ports peut leur être assuré. Le tirant d'eau d'une unité de 30 000 t est en moyenne de 10,50 m-11 m ; il passe à 14 m sur un 100 000 t et à 17,50-18 m sur un pétrolier de 200 000 t. Pour des unités de 500 000 t, une profondeur de quelque 30 m s'impose, compte tenu de la marge nécessaire sous la quille.

Dunkerque est, de longue date, un grand port pétrolier pourvu de vastes installations de raffinage. Cette vocation se trouvera développée d'ici 1980.



Il est beau d'améliorer l'économie du transport maritime par la construction de pétroliers ou de minéraliers géants. Encore faut-il que ces navires trouvent des ports pour les accueillir. La création de ports en eaux profondes est, pour cette raison, une priorité dans toute l'Europe occidentale. L'économie réalisable sur le transport par mer ne doit, en tout cas, pas être annulée par les coûts du transport terrestre des matières premières débarquées. Dès lors, industries lourdes et même de transformation se concentrent sur la bande littorale.

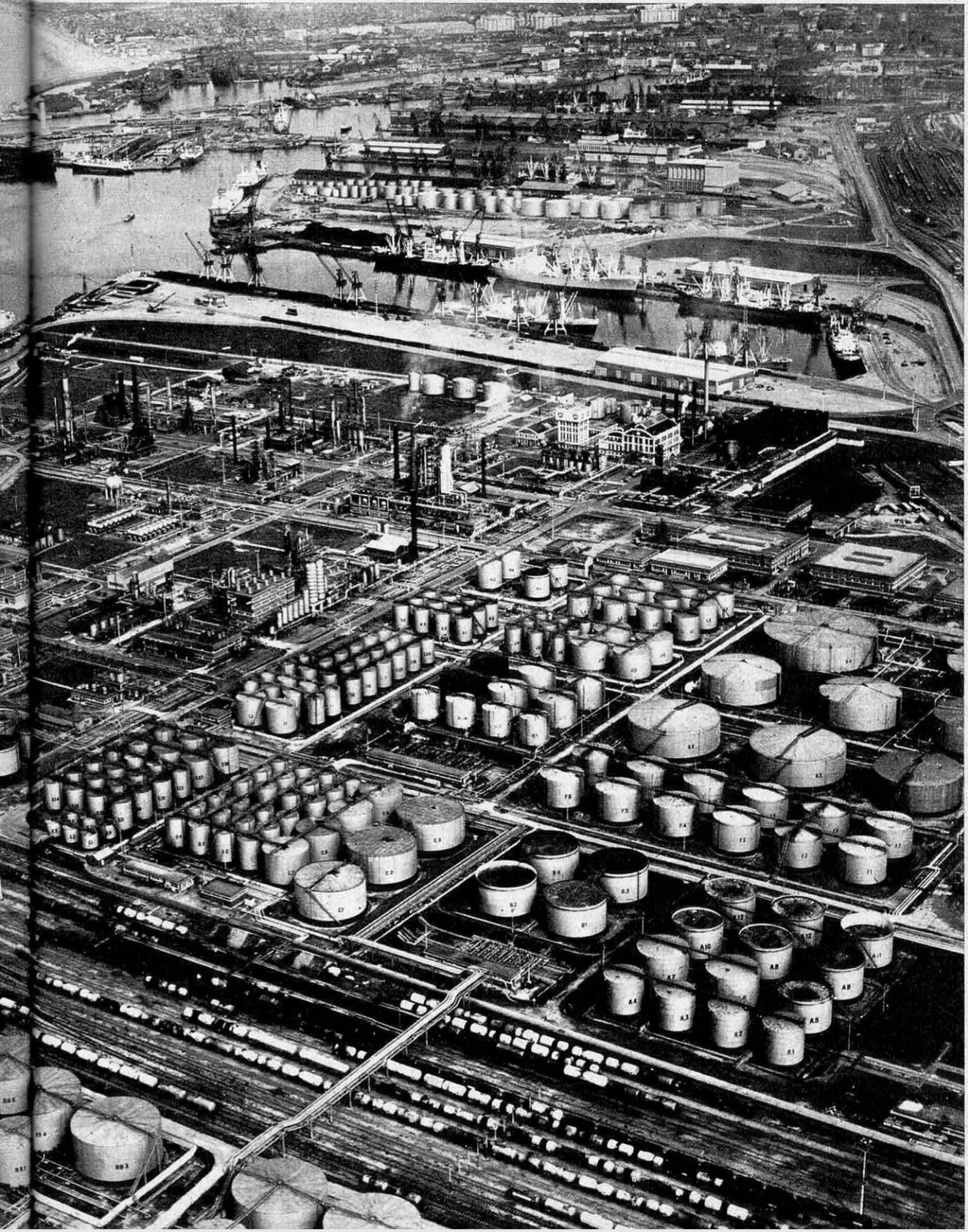


Photo Beaujard-BP

Ce rapport capacité/tirant d'eau montre d'emblée que le nombre des ports appelés à recevoir les pétroliers géants de la classe des 500 000 t sera forcément limité. En tout cas, tous les ports d'estuaire sont exclus de la course au gigantisme naval. L'impossibilité pour de tels mastodontes de franchir le Pas de Calais pose même la question de savoir si les ports de l'Europe du Nord leur seront ouverts un jour.

DE ROTTERDAM AU HAVRE

A Rotterdam, où l'on s'est engagé il y a une dizaine d'années déjà dans l'aménagement de bassins en eaux profondes (création de l'**Europort**), on a pu, en creusant dans la mer du Nord un chenal, rendre la zone Ouest du port accessible aux unités de 240 000 t. Mais les difficultés techniques et surtout financières ont été énormes. Quant à la réception d'unités de 500 000 t, elle ne pourrait être envisagée que... par une réduction de l'enfoncement des navires, obtenue par l'élargissement de la coque, solution qui ne dispenserait pas d'imposants et constants travaux de dragage, même en haute mer. Le jeu vaut-il la peine d'être joué ?

On ne peut oublier les grands travaux indispensables qui se répercuteront inévitablement sur le niveau des droits de port. Cette augmentation absorberait, dans une très large mesure, les économies réalisées sur le transport maritime. Pour retenir le trafic, Rotterdam pourrait s'efforcer d'aligner ses droits sur ceux pratiqués dans d'autres ports mieux situés. L'équilibre nécessaire entre les dépenses et les recettes de l'exploitation portuaire rend cette hypothèse peu plausible.

Port d'estuaire par excellence, Anvers a définitivement renoncé à accueillir des pétroliers géants. Plutôt que de s'engager dans une course stérile et onéreuse pour adapter ses accès, le grand port belge a préféré brancher ses raffineries sur un oléoduc assurant leur approvisionnement en brut à partir de Rotterdam. Cela ne l'empêche pas de nourrir d'autres ambitions, en rapport avec le développement d'une puissante industrie portuaire.

A chaque nouvelle commande d'unités de plus de 300 000 t⁽¹⁾, la question se pose de savoir quels seront leurs ports d'escale. En Europe occidentale, des possibilités d'accueil des plus de 200 000 t existent à Marseille, au Havre, à Rotterdam, depuis peu à Wilhelms-haven. Des projets d'aménagement de « terminaux » à grande profondeur sont en cours d'exécution ou à l'étude en Grande-Bretagne, en Norvège (Narvick), en Espagne (Bilbao), en France (au Verdon). Un seul port, toutefois,

peut aller au-delà de 300 000 t : Bantry-Bay, en mer d'Irlande, conçu comme point d'éclatement pour les pétroliers de la **Gulf**. Mais l'éloignement des grands centres de consommation limite son rôle dans l'approvisionnement de l'Europe de l'Ouest. Celle-ci préfère se tourner vers son propre littoral et surtout vers les côtes françaises.

Le projet de terminal pétrolier d'Antifer, près du Havre, est certainement l'un des plus audacieux. Les réceptions de pétrole brut au Havre se sont accrues très rapidement. Elles s'élevaient à 11 millions de tonnes en 1960 et à près de 45 millions de tonnes en 1970. Il est prévu qu'en 1980 l'hinterland havrais, constitué par la région parisienne, consommera environ 90 millions de tonnes.

L'amélioration des accès du port et la création de nouveaux postes de déchargement permettent au Havre de recevoir par toute marée des pétroliers de 250 000 t à pleine charge. Nous pensons aux appontements construits sur la face intérieure de la jetée qui sépare le port de l'estuaire de la Seine, et au poste n° 10, par exemple, qui est dragué à — 21 m.

La réception de navires de 500 000 t exige des mouillages beaucoup plus importants, de l'ordre de 30 m comme nous l'avons vu. De telles profondeurs existent au large du Havre, d'une part à 25 km à l'Ouest dans la fosse dite « du Parfond », d'autre part, au large du cap d'Antifer, à 7 km de la côte.

Après étude des conditions de houle et de courants et comparaison des régimes d'exploitation, le site d'Antifer s'est imposé de préférence à celui du Parfond. Trois solutions pouvaient dès lors être envisagées :

— la première correspond à la construction de postes sur bouées et a donné lieu à de nombreuses applications, notamment dans le golfe Persique ; le navire est simplement amarré à une bouée par son étrave ; il est chargé ou déchargé par l'intermédiaire de flexibles flottants ; la bouée est elle-même reliée au rivage par un sea-line ;

— le deuxième projet consistait à construire à une dizaine de kilomètres au large une digue à l'abri de laquelle seraient aménagés des appontements sur des profondeurs de 30 à 35 m ;

— la troisième solution prévoyait la construction d'un port à la côte, la présence d'une couche de sable de quelques kilomètres de large, perpendiculaire à la côte, permettant d'y creuser un port artificiel et son chenal d'accès.

Cette dernière solution, la plus onéreuse, présente par contre des avantages certains, notamment du point de vue de l'exploitation. C'est pourquoi elle a été retenue. En principe les travaux devraient être engagés dans les prochains mois et la mise en service intervenir en 1974.

(1) Rappelons que la Gulf Oil exploite des navires de 326 000 t. Des tankers de 470 000 t sont en construction au Japon pour la Globtik Tanker. Esso et Shell ont annoncé à leur tour la commande de pétroliers de 310 000 t.



Près de la moitié en tonnage du trafic de Dunkerque portait en 1970 sur les minerais alimentant les installations sidérurgiques d'Usinor. Les quais minéraliers sont équipés, pour le déchargement des navires, de portiques à haute cadence de travail.

FOS : VERS LES 500 000 TPL

La vocation traditionnelle de Marseille comme port pétrolier (le complexe de raffinage situé autour de l'Etang de Berre verra sa capacité annuelle portée sous peu à 40 milliards de tonnes), a été confirmée par l'arrivée en décembre 1968 du « Magdala » (200 000 t) à Fos. Commencé au titre du IV^e Plan, le dragage des accès au nouveau port du golfe de Fos a d'abord été poursuivi jusqu'à la cote — 20 m. C'est pourquoi Marseille-Fos a été un des premiers, sinon le premier port d'Europe continentale accessible aux pétroliers de 200 000 t à pleine charge. L'évolution accélérée des tonnages a, tout autant que les besoins accrus de brut, conduit le Port autonome à aller au-delà.

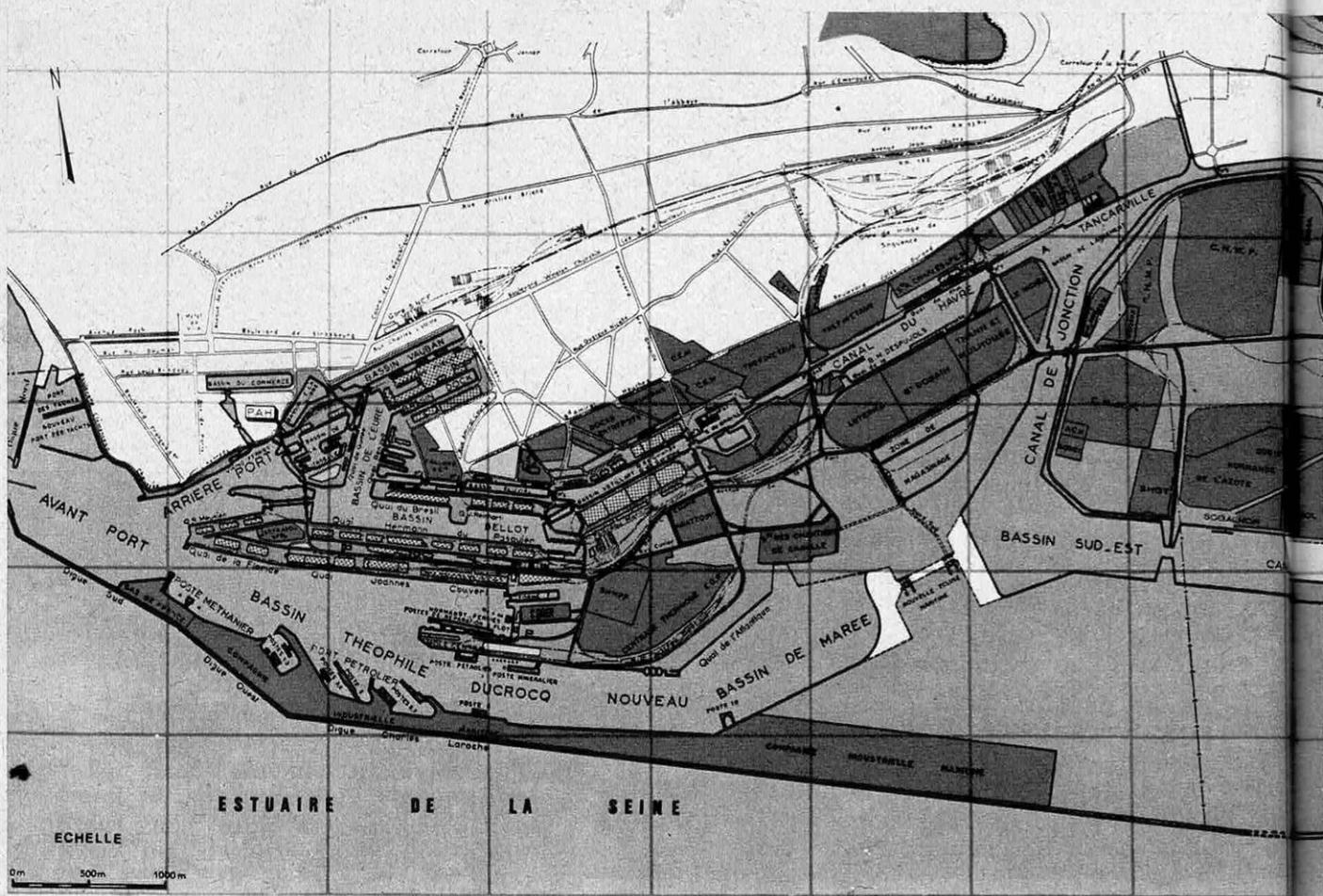
Deux postes pétroliers, respectivement pour des navires jusqu'à 250 000 et 300 000 t, sont d'ores et déjà en service sur la digue qui avance dans le golfe de Fos et le Port autonome a engagé la construction d'un troisième poste pour navires de 250 000 t. Pour la période d'application du VI^e Plan, est prévue la construction d'un terminal supplémentaire pour unités de 300 000 t. Un cinquième poste, enfin, pourra recevoir, si nécessaire, des tankers de 500 000 t. Son implantation est envisagée au sud de la Flèche de la Gracieuse où, moyennant des dragages somme toute peu importants, on atteindra facilement des fonds de — 36 m.

Aux possibilités offertes par Le Havre et Marseille, il y a lieu d'ajouter celles de Dunkerque ; dans le cadre du VI^e Plan on y construira un avant-port dont les jetées protégeront de la houle un plan d'eau profonde en

communication directe avec le chenal naturel. Cet avant-port pourra recevoir des navires de 300 000 t. Des appontements pour pétroliers y seront implantés. Mais ce projet, comme nous le verrons plus loin, se place avant tout sous le signe de l'industrialisation du littoral lui-même. En effet, à côté de leur vocation commerciale traditionnelle, les ports revêtent une importance de plus en plus grande dans le développement industriel.

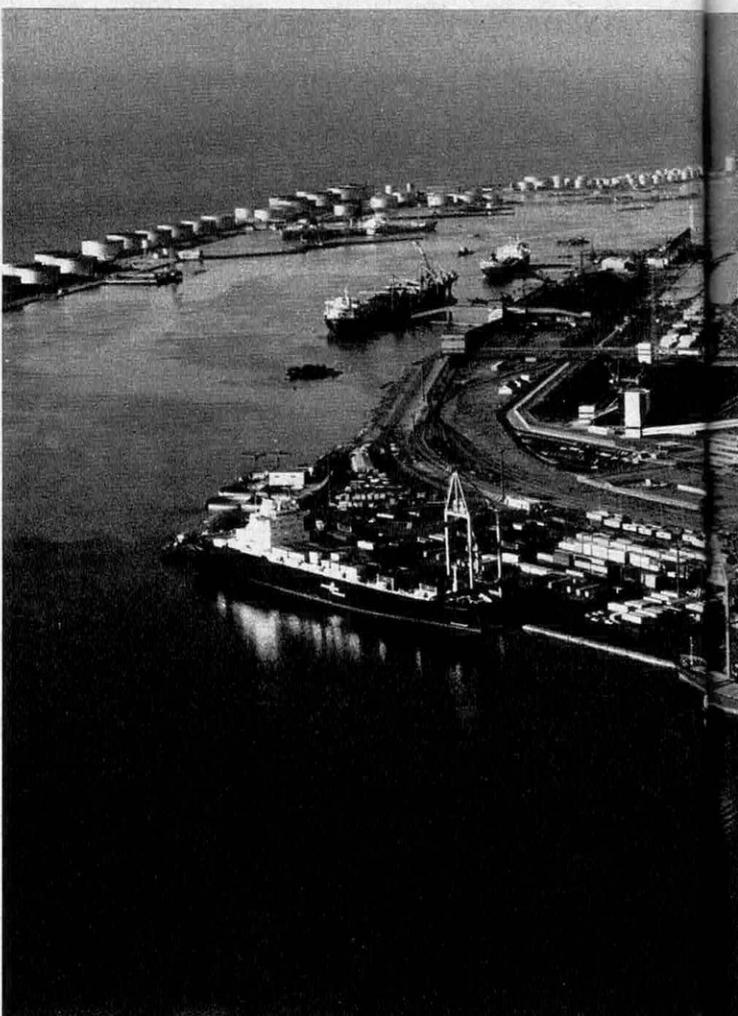
NAISSANCE DES INDUSTRIES PORTUAIRES

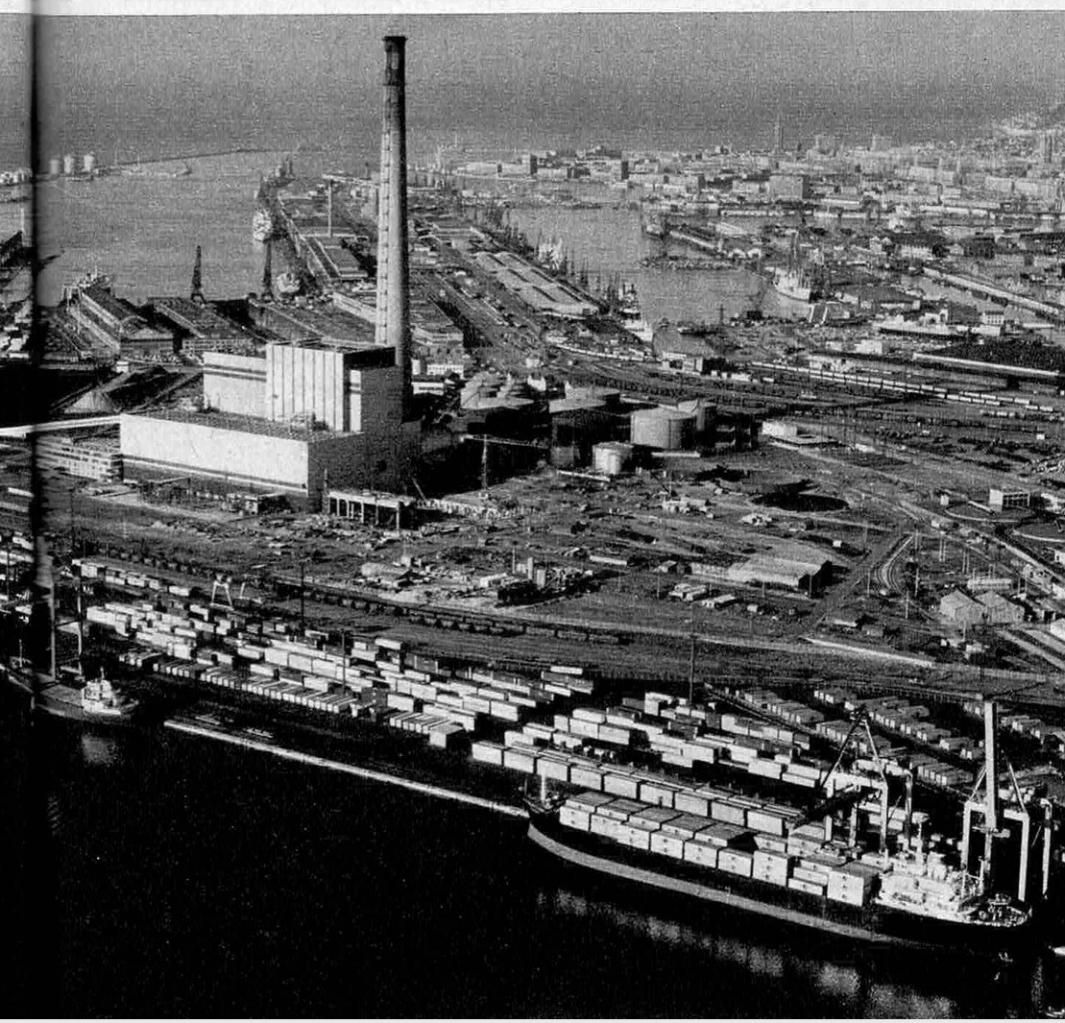
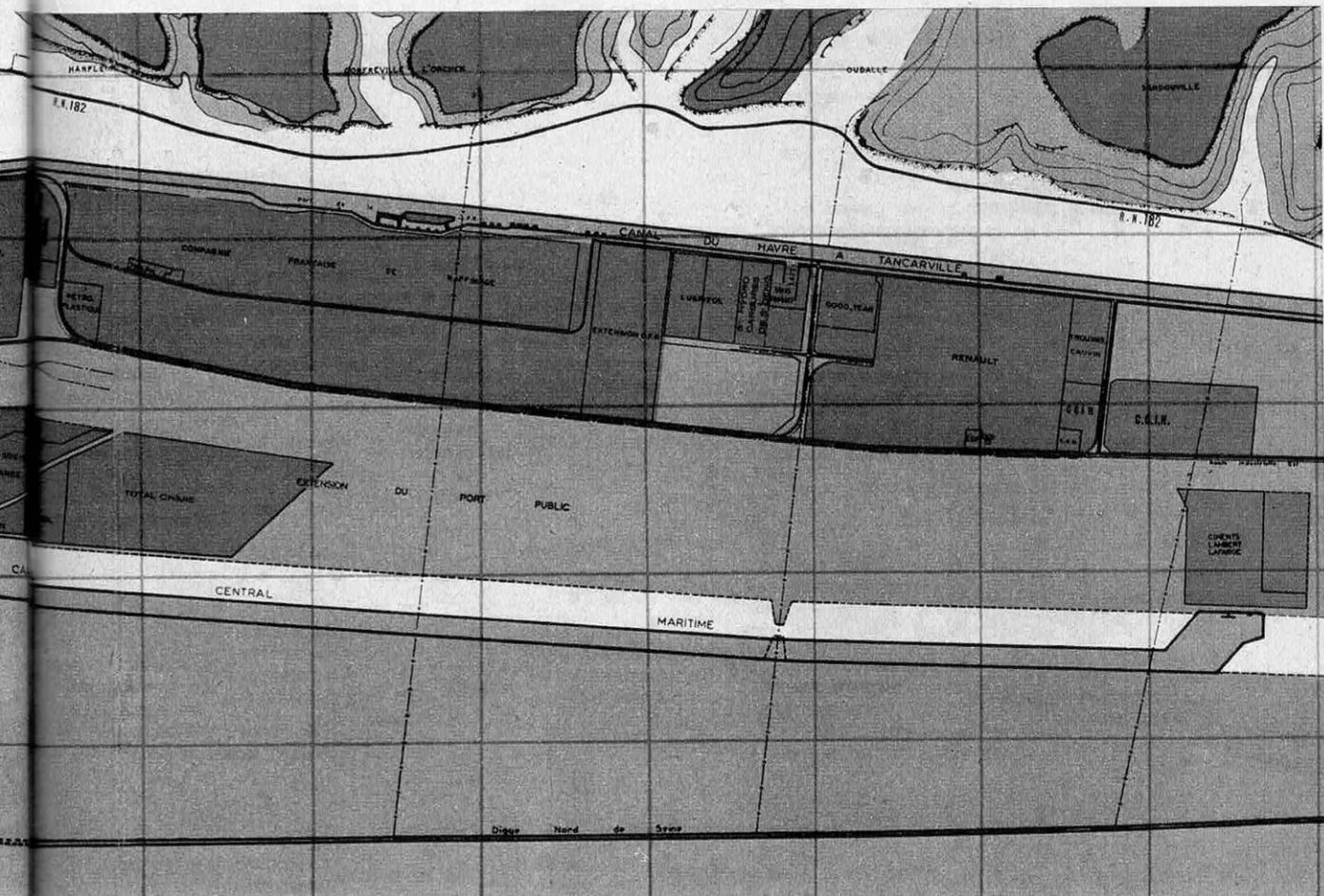
Dans tous les cas, un centre portuaire ne peut se concevoir sans la présence d'un certain noyau industriel : maintenance et réparation des navires, des engins de manutention... Dans la plupart des ports on trouve donc traditionnellement, sinon des chantiers navals, du moins certaines activités relevant de la mécanique, de la métallurgie, de la construction électrique. Sur cette base, les progrès de la technologie maritime, des modes de transport terrestre et de la manutention ont conduit ces industries à faire de gros efforts pour se maintenir au niveau technique exigé par la demande. Souvent, elles comptent aujourd'hui parmi les plus dynamiques et exercent, à leur tour, un pouvoir d'attraction sur des firmes susceptibles de tirer profit de l'environnement portuaire. Ne voit-on pas des activités de pointe, telle l'électronique, attirées par les grands centres portuaires ? L'informatique elle-même y trouve un marché de choix, tant pour la construction et l'exploitation des navires les plus modernes que pour l'organisation scientifique de la distribution, la plupart des grands armements et des manutentionnaires recourant à l'ordinateur pour suivre la circu-



lation de leurs containers à travers le monde. L'industrialisation portuaire a trouvé sa véritable raison d'être dans les facilités offertes par le transport maritime. Ainsi, on a vu se développer dans certains ports, ou à proximité, des industries transformant les produits d'outre-mer (textiles, bois, industries alimentaires). La grande expansion industrielle moderne, quant à elle, est liée à la présence de raffineries, de la pétrochimie et, dans certains cas, de la sidérurgie. Dans les ports, les industries utilisatrices sont à même d'utiliser directement les matières premières sans qu'il y ait à procéder à des ruptures de charge onéreuses.

Dans la plupart des pays européens, la sidérurgie installe ses nouvelles usines de préférence en bordure des côtes. C'est le cas d'**Usinor** à Dunkerque, de la sidérurgie lorraine à Fos, de **Sidmar** sur le canal de Terneuzen à Gand (accessibles aux navires de 60 000 t), de la sidérurgie italienne à Tarente, de la société **Hoogovens** à Ymuiden. Seules échappent à cette tendance les usines reliées aux ports de déchargement par une voie d'eau moderne accessible aux grands convois poussés. Le bassin de Liège, par exemple, importe son minerai par Anvers et le canal Albert (en cours de modernisation, il permettra en 1975, le passage de convois poussés de





Le Havre : en arrière du port traditionnel la plaine alluviale est la grande zone d'industrialisation des années 1975. Elle est desservie par le canal central maritime, en communication avec les bassins du port par une écluse de 400 m de long. Cet ouvrage, unique au monde, est ouvert aux navires de 250 000 t depuis décembre dernier. La photo en bas de page montre, au premier plan, le terminal pour navires porte-containers (quai de l'Atlantique) et, en arrière, la centrale thermique de l'E.D.F.

9 000 à 10 000 t). Dans la Ruhr les usines les plus récentes et les plus compétitives (**Thyssen**, **Mannesmann**) sont implantées en bordure du Rhin et reçoivent leurs matières premières de Rotterdam.

Dès que les administrations néerlandaise et allemande permettront — ce qui ne saurait tarder — la circulation sur la grande artère de formations poussées englobant six barges d'un port en lourd de 2 500 à 2 600 t chacune, c'est par convois de 16 000 tpl que ces industries seront alimentées. Par la Moselle (où ne peuvent pourtant circuler que des convois de deux barges de 70 m de long), la sidérurgie lorraine est elle aussi reliée à Rotterdam. Elle fait largement usage de cette voie pour la réception des cokes et des minerais d'outre-mer (un million de tonnes par an).

Mais, à la longue, ce type d'usines, justifié par le prix relativement bas du transport intérieur par eau (entre 1 et 2 centimes la tonne par kilomètre sur un convoi poussé) et par la réduction des frais de distribution des produits finis, usines que l'on peut qualifier de « semi-maritimes », sera de plus en plus l'exception. Les complexes sidérurgiques « intégrés » viendront, toujours plus nombreux, s'implanter en bordure des eaux profondes du littoral.

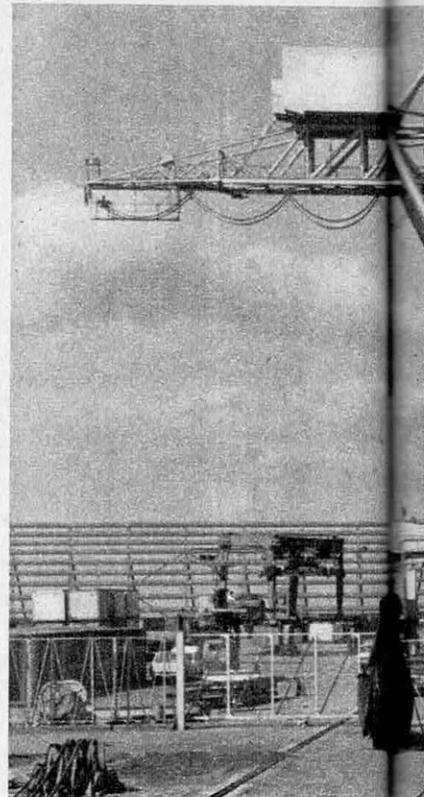
Actuellement, les plus gros minéraliers ont un port en lourd de l'ordre de 120 000 à 140 000 t. A priori, la liste des ports susceptibles de les accueillir est plus importante que pour les pétroliers géants, mais, dans les faits, le problème est plus complexe.

Contrairement aux grands pétroliers, qui peuvent, le cas échéant, être déchargés au large, les minéraliers doivent pénétrer dans des bassins pourvus, à quai, d'installations spécialisées de déchargement et de terre-pleins de stockage. S'y ajoute la nécessité de disposer de voies d'évacuation (par eau ou par fer) vers l'arrière-pays.

ROTTERDAM, PORT INDUSTRIEL

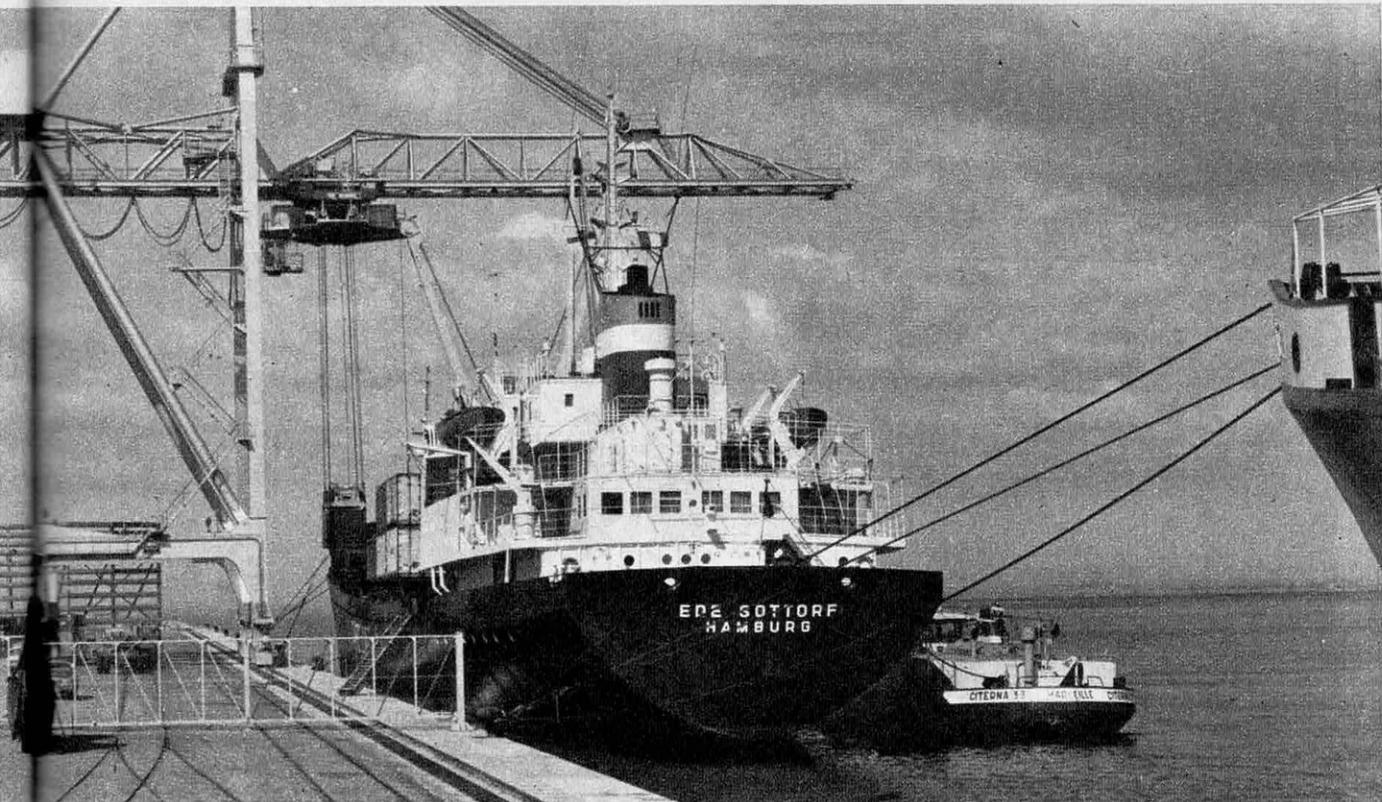
Rotterdam est, par excellence, le « port minéralier » de l'Europe. Il reçoit annuellement quelque 30 millions de tonnes de minerais, destinés surtout à la Ruhr, mais aussi à l'Est de la France, à la Sarre et même à la Grande-Bretagne (après rechargement sur des navires plus petits, les ports britanniques n'étant pas suffisamment équipés pour accueillir les grands minéraliers). Aux installations arrivées à saturation (des attentes de 2 à 3 semaines avant déchargement étaient chose courante) est venu s'ajouter, il y a un an environ, le terminal minéralier de la **Ertsoverslagbedrijf Eu-roport**, œuvre de trois sociétés allemandes (Thyssen, Krupp et Mannesmann). La construction d'un nouveau terminal minéralier est envisagée par un consortium franco-néerlandais dans la « plaine de la Meuse », vaste zone qui, dans le prolongement de l'Europort, a été gagnée sur la mer.

Port pétrolier et port minéralier, Fos peut accueillir la quasi-totalité des navires actuellement construits. Des aménagements sont prévus pour pétroliers de 500 000 t. En dehors de l'approvisionnement des complexes industriels en cours d'aménagement sur son golfe, Fos a aussi une vocation de transit pour les marchandises générales. C'est ce que montre cette photographie du terminal des porte-containers.



Au-delà de ce rôle de redistribution du minerai aux utilisateurs de l'arrière-pays, il n'est pas exclu qu'une sidérurgie vienne s'implanter dans le port. Le groupe néerlandais **Hoo-govens** dont les usines sont installées à Ymuiden (dans l'avant-port d'Amsterdam) et la société allemande **Hoesch** nourrissent des projets dans ce sens. Le fait que l'usine-mère de **Hoesch** (à Dortmund) ne soit pas située sur l'artère rhénane justifie cette intention.

A Dunkerque, **Usinor** est implanté en bordure du bassin maritime, qui communique avec l'avant-port et la mer par l'écluse Watier (pour navires de 55 000 t) et par la nouvelle écluse pour unités de 125 000 t mise en service à la fin de 1970. L'implantation d'**Usinor** a, dans une très large mesure, contribué au « décollage » du trafic de Dunkerque qui a triplé en dix ans (1960 : 8 millions de tonnes ; 1970 25,5 millions de tonnes, les minerais représentant à eux seuls plus de 9 millions de tonnes). En 1975, les deux tiers de la production d'**Usinor** (12 millions de tonnes) seront concentrés à Dunkerque. L'avenir industriel du grand port se jouera surtout autour du nouvel avant-port ouest et des bassins qui viendront s'y greffer. Les marchés relatifs à cette opération viennent d'être signés (ils s'insèrent dans une dépense globale de 475 millions de francs, si on inclut les travaux de dragage du chenal extérieur). A la fin de 1974, Dunkerque pourra ainsi recevoir les navires de 200 000 t, et ceux de 300 000 t dans le courant de 1975. La nouvelle raffinerie de la **C.F.R.** sera la première industrie à utiliser les capacités ainsi offertes.



LE LITTORAL INDUSTRIEL FRANÇAIS

Grâce à sa plaine alluviale, qui s'étend sur quelque 10 000 ha en retrait du port traditionnel, le Havre peut logiquement nourrir les mêmes espérances. Partiellement gagnée sur l'estuaire de la Seine, cette zone est traversée par le canal central maritime (caractéristiques définitives : 20 km en longueur, 500 m en largeur et 22 m en profondeur). Actuellement ouvert aux navires de 60 000 t, le canal le sera, à son achèvement, aux unités de 250 000 t. Il est en communication avec les bassins en libre marnage par une écluse de 400 m de longueur utile, 67 m de large et 24 m de profondeur. Cet ouvrage, le seul au monde à permettre le passage de navires de 250 000 t à pleine charge, a été mis en service le 22 décembre dernier, après que ses caractéristiques aient été modifiées à deux reprises pour tenir compte de l'accroissement constant de la taille des navires.

La vocation industrielle du Havre s'est affirmée, depuis une dizaine d'années déjà, avec l'implantation de **Renault** (9 000 emplois en janvier 1972), d'**E.D.F.**, dont la centrale thermique verra sa puissance portée progressivement à 3 250 MW (actuellement, 850 MW), de l'usine des **Ciments de la Seine** (1 200 000 t/an), de la raffinerie de la **C.F.R.**, dont la capacité est en cours d'extension à 24 millions de tonnes/an. A noter aussi de nombreuses industries pétrochimiques attirées moins par les facilités de desserte maritime

que par la proximité d'un puissant complexe de raffinage et par la fourniture d'énergie à bon marché.

Tous les efforts du port du Havre tendent à affirmer cette vocation industrielle : 40 % des investissements prévus au VI^e Plan seront consacrés à l'aménagement de la plaine alluviale (approfondissement et élargissement du canal central maritime, récupération de 3 000 ha par endiguement de l'estuaire de la Seine, réseaux routiers et ferroviaires, etc.).

Parallèlement, les autorités du port souhaitent regrouper au sud du canal central les activités de réparation navale, de manière à disposer d'un centre unique accessible aux grands navires fréquentant aussi bien la zone industrielle que les appontements pétroliers (à l'heure actuelle, la plus grande forme de radoub ne peut recevoir les unités de plus de 80 000 t). Le Havre n'exclut pas non plus l'implantation de la troisième unité sidérurgique côtière française, après celle de Dunkerque et l'usine **Solmer** de Fos.

Cette dernière devrait être opérationnelle, dans sa première phase tout au moins, fin 1973 (avec un train de laminage à chaud produisant trois millions de tonnes par an). Avant 1980, interviendra l'installation progressive d'une cokerie, de hauts fourneaux, d'une acierie..., le tout débouchant sur un complexe industriel produisant 7 millions de tonnes et occupant 13 000 personnes. Dans le sillage de la sidérurgie s'est implantée, à Fos, **Ugine-Kuhl-**



Les postes pétroliers de Fos furent parmi les premiers en Europe à accueillir des 200 000 t.

mann dont la production portera, au terme du VI^e Plan, sur quelque 700 000 t d'acières spéciaux et inox.

Dans un premier stade la zone industrielle de Fos couvrira 7 200 ha, dont 5 200 à usage industriel proprement dit. Elle sera desservie, au terme de l'aménagement, par quatre darses (deux sont déjà ouvertes), développant 35 km de quais. Le quai minéralier, à l'entrée de la darse 1, creusée à — 16 m, permet d'ores et déjà la réception des plus gros minéraliers. Leur déchargement s'effectue au moyen de deux portiques travaillant chacun à une cadence de 700 t/h.

Avec ses quatre raffineries, le complexe pétrolier de Fos-Berre constitue un atout supplémentaire. La présence de matières premières en très grandes quantités a déjà permis le développement de nombreuses unités chimiques et pétrochimiques (**Shell Chimie, Naphtachimie, Pechiney-Saint-Gobain**), auxquelles viendra s'ajouter l'usine d'**Imperial Chemical Industries** (deux unités de production de polyéthylène de 30 000 t/an chacune).

DES LIMITES A LA CONCENTRATION ?

Si, en France, la tendance au déplacement des industries vers les zones portuaires s'affirme aujourd'hui avec éclat, il faut reconnaître que les ports de l'Europe du Nord, et en particulier ceux du Benelux, en ont tiré profit bien plus tôt, à la faveur d'une politique beaucoup plus libérale vis-à-vis des capitaux étrangers. Dans les ports belges, la fonction industrielle représente environ 45 % du total des emplois (transport : 34 %, fonction commerciale : 20 %, pêche 1 %). A Anvers, malgré l'importance du secteur tertiaire, 35 % des postes de travail relèvent de l'industrie, à Gand, 71 %. L'exécution du « plan décennal » 1956-1965 a doté le port d'Anvers de 1 800 ha de terrains industriels répartis de part et d'autre du bassin-canal de 12 km de long (150 m de large) qui communique avec l'Escaut par l'écluse de Zandvliet (pour navires de 100 000 t). En fait la navigabilité dans l'Escaut limite cette possibilité à 80 000-90 000 t. Le « peuplement » de cette zone ne s'est pas fait attendre — on y trouve notamment les grands groupes chimiques allemands **Bayer, B.A.S.F., Degussa** — à tel point qu'Anvers a dû chercher de nouvelles possibilités d'extension sur la rive gauche de l'Escaut (**Bayer**, notamment, y construit une deuxième usine).

Le développement industriel du grand port belge est essentiellement lié à la chimie, à la pétrochimie et au montage automobile (usines **Ford** et **GM**). Ces activités engendrent des trafics certes très intenses, mais qui, généralement, ne relèvent pas des très grands navires. Elles ont pu dès lors se satisfaire des possibilités d'accès offertes par l'Escaut. Avec la généralisation des navires de plus de 100 000 t,

Anvers est confronté à de graves difficultés. Si le problème de l'approvisionnement de ses raffineries a pu être résolu par la mise en service de l'oléoduc Rotterdam-Anvers, il n'en est pas de même de certains autres trafics massifs (minéraux, céréales...). C'est la raison pour laquelle des négociations ont été engagées avec les Pays-Bas (qui contrôlent l'estuaire du fleuve) pour rectifier les courbes de l'Escaut de manière à permettre le passage des navires porte-containers dits de « troisième génération », et pour réaliser le « projet Baalhoek ».

Ce projet vise la construction d'un canal et d'une écluse pour navires de 125 000 t à travers le sud des Pays-Bas, de manière à mettre la zone industrielle et portuaire de la rive gauche en communication avec l'Escaut, non plus à hauteur d'Anvers, mais plus en aval, près de son débouché sur la mer. Les négociations avec les Pays-Bas semblent sur le point d'aboutir, mais ce n'est pas avant quelques années que le projet pourra être réalisé.

A Rotterdam, le puissant développement de l'industrie est, assez paradoxalement, une conséquence de la crise des années 30 : port de transit par excellence, Rotterdam était très sensible aux fluctuations de la conjoncture. Aucun port en Europe n'eut à souffrir autant de la crise mondiale. Aussi, au lendemain des hostilités, s'engagea-t-on dans un vaste programme d'industrialisation. Le projet « Botlek », établi en 1947, couvrait 1 300 ha environ avec des bassins accessibles à des unités de 60 000 à 80 000 t, tonnages impressionnantes pour l'époque. L'importance de la demande et l'augmentation de la taille des navires furent à l'origine du projet **Europort**, zone industrielle et portuaire de 3 600 ha accessible aux unités de 240 000 t. Cinq raffineries, dont celle de la **Shell**, la plus grande au monde (25 millions de tonnes/an), y assurent chaque année le traitement de quelque 70 millions de tonnes. Elles forment le noyau sur lequel est venu se greffer une puissante pétrochimie, ainsi que des firmes plus diversifiées de la chimie, de l'industrie des engrâis, etc. Sur la « plaine de la Meuse », 2 500 ha supplémentaires sont disponibles ou déjà partiellement occupés. L'implantation d'une usine sidérurgique y est envisagée (on l'a vu plus haut), mais ce projet se heurte à une vive opposition de la population qui en redoute les nuisances, de même qu'à la réserve du gouvernement néerlandais, favorable à une répartition mieux équilibrée de l'industrie sur l'ensemble du territoire.

Toute politique d'industrialisation a ses limites. A Rotterdam, où l'on a été à l'avant-garde du développement, elles semblent atteintes et même dépassées. C'est un argument de plus que font valoir d'autres ports pour attirer les investissements.

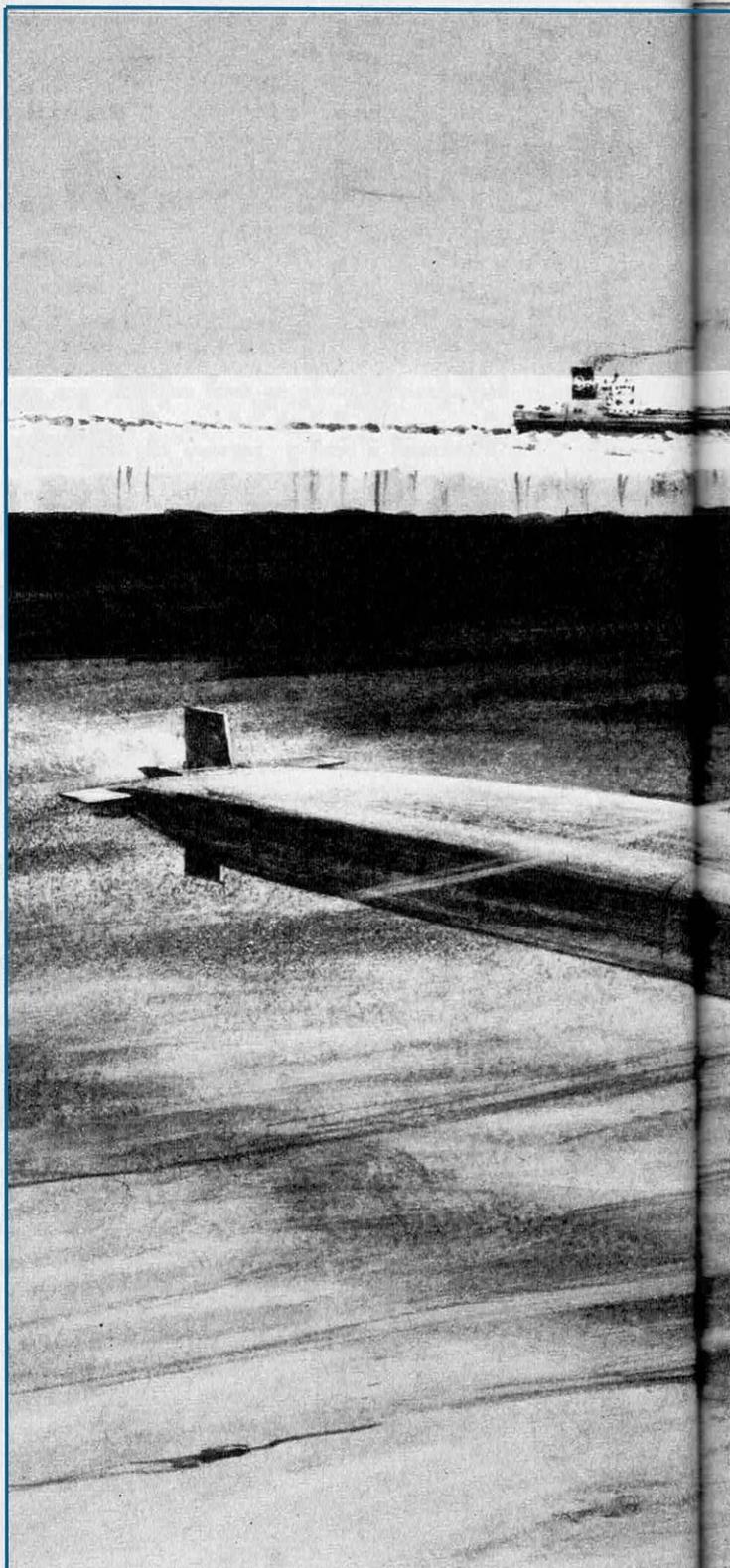
M. RUSCHER

Vers le cargo sous-marin ?

Expérimenté par les Allemands dès la première guerre mondiale, repris sur une vaste échelle par les Japonais au cours de la seconde, le transport par sous-marins est de nouveau à l'ordre du jour. Il s'agit aujourd'hui de trouver des solutions économiques au transport de produits pétroliers, surtout à partir du Grand Nord américain isolé par les glaces de façon quasi-permanente. Une grande firme américaine a poussé très loin l'étude de pétroliers sous-marins à propulsion nucléaire.

I y aura bientôt cinq siècles que le plus universel des ingénieurs militaires, Léonard de Vinci, qui s'intéressait aussi bien à l'avion et à l'hélicoptère qu'au char et au navire, affirmait avoir découvert le principe de la navigation sous-marine. « Mais, écrivait-il, il y a trop de malveillance dans le cœur des hommes pour leur en confier le secret : ils n'hésiteraient pas à porter l'assassinat dans les abîmes de la mer. »

Trois siècles après, Fulton, qui ne reculait pas devant ce risque, construisit à ses frais, en 1798, le **Nutilus**, premier sous-marin à hélice. Il s'efforça vainement d'intéresser les marines militaires française puis britannique. Si bien que Fulton dut rentrer aux Etats-Unis. Après y avoir mis au point la navigation à vapeur, il mourut, l'année même où l'**U.S. Navy** lui confiait sa première commande. En 1887, Gustave Zédé fit construire en France le **Gymnote**, sous-marin à propulsion électrique étudié par lui sur les suggestions de Dupuy de Lôme. Mais l'essor du sous-marin ne date guère que de 1899 avec le **Narval** de Laubeuf, équipé d'un moteur électrique pour la plongée et d'un appareil propulsif de surface où le diesel remplaça très vite la vapeur. La première guerre mondiale marqua le triomphe du sous-marin, avec 344 unités construites par l'Allemagne, qui coulèrent 11 millions de tonnes de navires alliés. La première expérience de transport de mar-



Déjà spécialisée dans la construction des sous-marins nucléaires de l'US Navy, la grande firme



américaine General Dynamics se déclare prête à construire des sous-marins pétroliers de 170 000

tpl. Ces submersibles évacuerait dans de bonnes conditions le pétrole de l'Alaska.

chandises par sous-marin remonte à cette même guerre. La marine allemande avait la prétention d'échapper par là au blocus allié. Elle y renonça après une traversée pourtant réussie du **Deutschland** jusqu'à New York. Une étude de cargos sous-marins fut entreprise à la même époque par l'ingénieur Simonot, de la marine française.

Au cours de la seconde guerre mondiale, la marine allemande ravitailla par sous-marins pétroliers ses sous-marins en opérations sur les côtes américaines. Mais le plus grand succès dans cette voie est à mettre à l'actif du Japon. Des cargaisons de produits divers, enveloppées dans d'énormes vessies de caoutchouc, étaient remorquées par sous-marins de l'Indonésie au Japon. C'était une transposition du procédé connu depuis près d'un siècle, dans la marine française, sous le nom d'*«outre Moyret»* pour le ravitaillement en eau douce des navires de guerre. La saisie, enfin, au Japon, de cargos submersibles de 5 500 t qui avaient servi au ravitaillement des garnisons isolées dans le Pacifique prouve que le demi-échec du **Deutschland** ne condamne pas l'idée du cargo sous-marin.

LE PETROLIER SOUS-MARIN

Depuis la seconde guerre mondiale, l'application du sous-marin au transport de pétrole a été proposée au moins deux fois.

Nous l'avons nous-même présentée dans un ouvrage publié en 1948⁽¹⁾. L'idée a été reprise, en juillet 1967, dans un article publié en Grande-Bretagne par **Science Journal** (*«Ships of the future»*). L'auteur était le commandant George King, responsable des transports maritimes de la British Petroleum.

Dans ces deux études, les arguments présentés en faveur du sous-marin étaient les mêmes : réduction de la résistance de l'avancement ; réduction du poids de coque.

La résistance à l'avancement comprend deux termes, une « résistance de rencontre », liée à la formation des vagues, et une « résistance de frottement » à peu près proportionnelle à la surface mouillée. La navigation sous-marine supprime presque entièrement la résistance de rencontre, tout au moins à une immersion suffisante. La surface mouillée est d'autre part très voisine pour le pétrolier de surface de largeur relativement grande par rapport au tirant d'eau et pour le pétrolier sous-marin à section circulaire qu'on pourrait lui substituer.

L'économie principale du pétrolier sous-marin porte sur le poids de coque. En dehors des logements pour l'équipage et de l'appareil propulsif (qui ne dépasseront guère le dixième du volume total sur un pétrolier de 100 000 à 200 000 tonnes de port en lourd) et devront résister à une pression extérieure de 2 à 3 kg/cm² à 20 ou 30 m d'immersion, la

coque du sous-marin pourra être beaucoup plus légère que celle d'un pétrolier de surface. La pression extérieure de l'eau s'exerce, au travers des tôles, sur un pétrole qu'elle soumettra à la même pression. D'autre part, l'exigence d'épaisseurs de tôle de plus de 40 mm pour la charpente des fonds et le pont supérieur des gros pétroliers (résistance mécanique sur houle) disparaît entièrement pour le sous-marin.

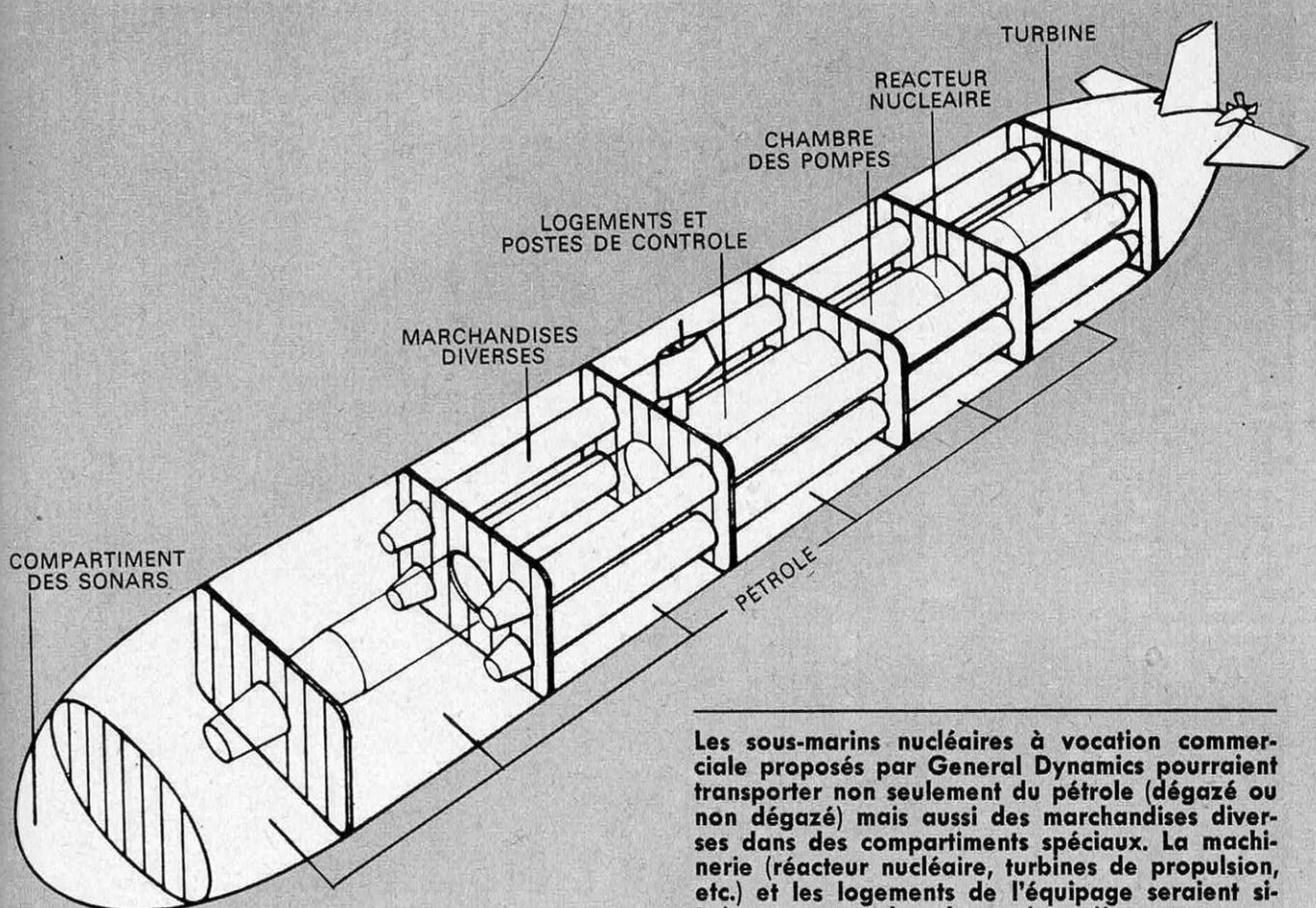
Le pétrolier sous-marin est revenu à l'actualité avec la découverte, en 1968, d'un important gisement de pétrole en baie de Prudhoe, sur la côte Nord de l'Alaska. Ce gisement représenterait, à lui seul, entre 10 et 20 % des réserves du continent nord-américain. Mais, au lendemain de l'octroi de concessions dans le voisinage à une dizaine de compagnies américaines, M. Omnie P. Lattu, directeur de l'**Office of Oil and Gas** de Washington, s'attendait à des découvertes au moins cinq fois plus importantes. Le Canada ne doute pas davantage de l'existence de gisements de grande importance dans ses territoires du Grand Nord.

Pour l'envoi de ce pétrole vers les Etats-Unis, trois solutions ont été préconisées. Le pipeline de plus de 5 000 km de longueur vers la région des grands lacs américains est éliminé pour prix excessif. On hésite aussi devant un pipe-line beaucoup plus court, ne dépassant pas le millier de kilomètres, qui permettrait l'envoi du pétrole sur la côte Sud, libre de glaces, de l'Alaska. Le transport maritime met en concurrence le brise-glaces et le sous-marin à propulsion nucléaire.

Un essai a été tenté, en août 1969, avec le **Manhattan**, pétrolier de 115 000 tpl aménagé en brise-glaces, accompagné d'ailleurs d'un brise-glaces classique, le **John A. McDonald**. Celui-ci a dégagé par huit fois le pétrolier bloqué dans les glaces au cours du voyage aller de 1 400 km. Le Manhattan avançait à une vitesse de 3 à 6 nœuds au lieu de 14 nœuds en eau libre. La glace, de 4 m d'épaisseur moyenne, atteignait parfois 10 à 25 m. On en a conclu que, pour la rentabilité d'une telle solution, il faudrait des pétroliers d'un port en lourd 250 000 tonnes, disposant d'une puissance de 60 000 à 80 000 ch, très supérieure aux 43 000 ch du **Manhattan**. Ils pourraient alors franchir le passage du Nord-Ouest à n'importe quelle saison, à vitesse moyenne de 8 nœuds. Leur construction entraînerait des investissements de l'ordre de 50 millions de dollars par navire, soit le double d'un pétrolier ordinaire.

Aussi, en décembre 1969, General Dynamics, le plus important constructeur de sous-marins à propulsion nucléaire, présentait aux cinq compagnies principales intéressées, Standard Oil of New-Jersey et Ohio, Atlantic Richfield,

(1) La prochaine guerre, p. 288 (Ed. Berger-Levrault).



Les sous-marins nucléaires à vocation commerciale proposés par General Dynamics pourraient transporter non seulement du pétrole (dégazé ou non dégazé) mais aussi des marchandises diverses dans des compartiments spéciaux. La machinerie (réacteur nucléaire, turbines de propulsion, etc.) et les logements de l'équipage seraient situés au centre, dans la partie arrière.

Mobil Oil et Phillips Petroleum, un projet de sous-marin pétrolier. Le port en lourd serait de 170 000 tpls, avec une longueur de quelque 300 m, une largeur de 42 m, un creux de 25 m. La propulsion serait assurée par deux hélices à une vitesse de 18 nœuds. Ces sous-marins emprunteraient sous la glace le passage du Nord-Ouest jusqu'à un port libre de glaces de l'Atlantique Nord où leur cargaison serait transbordée sur des pétroliers de surface. Un nouvel appui, de source officielle, s'est manifesté en faveur d'une telle solution. Après examen des derniers perfectionnements apportés à la propulsion nucléaire, la Commission maritime fédérale, présidée depuis août 1969 par Mrs Helen D. Bentley, a affirmé l'an dernier que ce mode de propulsion était, même pour des navires de surface, plus économique que la propulsion classique dès lors que la puissance atteignait 80 000 ch.

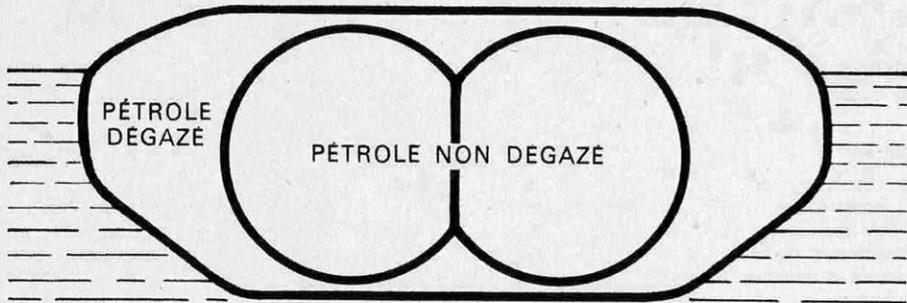
En proposant de construire une flotte de six pétroliers sous-marins de 170 000 tpls, M. Roger Lewis, président de General Dynamics, a indiqué que, même s'ils coûtaient un peu

plus cher que le pétrolier brise-glace de même port en lourd, il fallait mettre en regard le gain en vitesse. La rotation ne demanderait que quinze jours, y compris les escales, au lieu de trente-cinq pour des pétroliers de surface.

LE PETROLIER-GAZIER

Le sous-marin apporte aussi une solution nouvelle au transport du gaz naturel sous forme de pétrole non dégazé.

Pour ne parler que des coûts de fonctionnement des installations à terre de liquéfaction et regazéification, indispensables en l'état actuel du transport maritime de gaz naturel, la classique « *thumb rule* » (règle du pouce) américaine est éloquente. S'il faut, dit-elle, 1 ch pour liquéfier un gaz à 9 °C, il faut 1,5 ch pour le liquéfier à — 40 °C et 20 ch pour le liquéfier à — 161 °C. Ceci explique les 426 millions de francs de l'usine d'Arzew et les 750 à 1 000 millions de Skikda et Marsa el Brega.



Un pétrolier tel que celui-ci, représenté de façon très schématique, transporterait simultanément du pétrole non dégazé sous pression dans les compartiments centraux et du pétrole dégazé dans les compartiments périphériques. Il naviguerait en surface dans les régions libres de glaces.

En installations et en puissance absorbée, le coût du refroidissement vers 0 à -20°C d'un pétrole non dégazé sortant à $+10^{\circ}\text{C}$ d'un pipe-line enterré est négligeable. L'expérience des propaniers et butaniers le confirme. Ces températures conviennent au maintien à une pression très faible, parfaitement acceptable par la coque circulaire d'un sous-marin, d'un pétrole non dégazé chargé des 12 % de gaz qui accompagnent en moyenne les pétroles sortant des puits du Moyen-Orient. Le problème est, au moment où se manifeste une pénurie de gaz naturel, de ne rien laisser perdre. Dans un sous-marin à coque de section circulaire, il suffira de dimensionner convenablement les échantillons de la coque. L'épaisseur de coque restera d'ailleurs inférieure à celle que l'on exige actuellement du pétrolier de surface pour la résistance à la flexion longitudinale. Dans un article publié en février 1968 par la Revue Maritime, M. Dobler, directeur-adjoint du G.E.N.E.M.A. évaluait de 223 à 145 kg par tonne de port en lourd le poids de coque lorsqu'on passait de 50 000 à 500 000 tpls, le poids de coque ne variant d'ailleurs guère entre 300 000 et 500 000 tpls. Avec des diamètres de 15 à 20 m, de telles coques pourraient largement supporter les pressions d'une quinzaine de kg/cm^2 qu'imposerait le transport vers 0°C d'un pétrole contenant moitié en poids de gaz, tel que celui de Zelten et Dahra (Libye) ou le « Typical 3 » du Moyen-Orient (voir tableau p. 23).

Etant donné le coût très faible de la liquéfaction vers -40°C , rien n'interdit d'ailleurs de refroidir à cette température le pétrole

non dégazé ou même enrichi en gaz avant chargement.

Si l'on veut rapprocher ce genre de pétrolier des dimensions admises par General Dynamics pour ses sous-marins de charge nucléaires de 170 000 tpls, soit 275 m de longueur, 42 m de largeur et 27 m de tirant d'eau, ce qui est d'ailleurs indispensable pour l'accès à la plupart des ports de chargement et de déchargement, la section transversale bilobée s'impose. A pression et volume intérieurs donnés, elle n'est pas plus coûteuse en poids de coque.

Faut-il prévoir, dans le cas du transport entre 0°C et -40°C , une isolation thermique ? Elle est superflue pour les traversées de l'ordre de 24 à 36 h, entre Skikda ou Marsa el Brega et les ports méditerranéens d'Espagne, de France et d'Italie. Elle n'est guère plus utile, et pourrait se borner à un revêtement en plastique de l'ordre du centimètre, pour le transport du pétrole non dégazé du Moyen-Orient acheminé par pipe-line jusqu'en Méditerranée orientale. D'ailleurs, le méthane évaporé au cours de la traversée sera utilisé pour la propulsion.

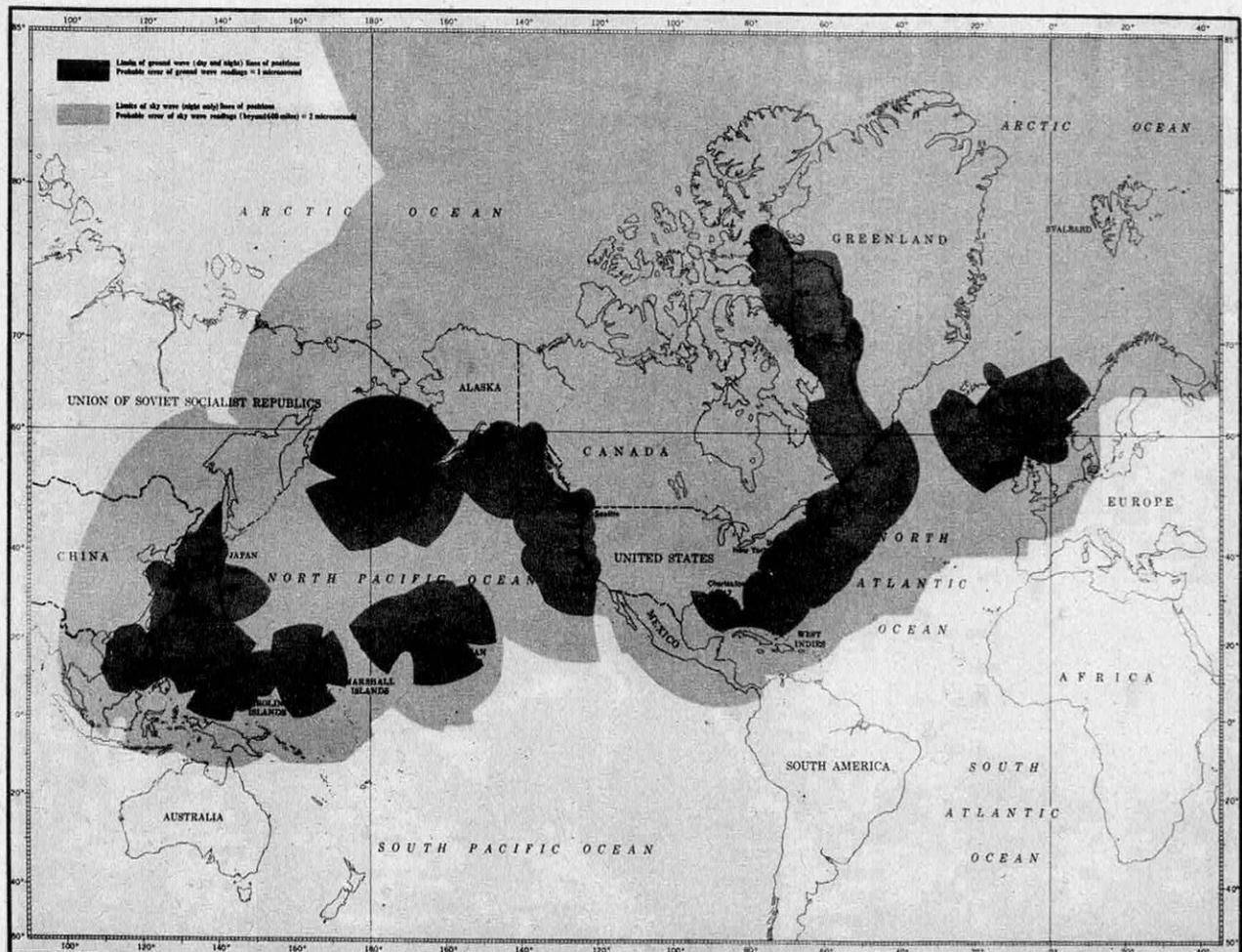
L'isolation ne semble indispensable que pour les traversées beaucoup plus longues, celles qu'envisage General Dynamics entre le Nord de l'Alaska et la côte Nord-Est des Etats-Unis, celles qui permettraient la livraison aux Etats-Unis de gaz sibérien, celles pour la livraison au Japon de gaz du Moyen-Orient... Dans ce cas, l'isolation pourra être demandée à un revêtement en plastique alvéolaire d'une dizaine de centimètres, rempli de gaz sous pression.

Camille ROUGERON

navigation et circulation maritime



Sur l'écran d'un radar de surveillance portuaire au Havre : le Queen-Elisabeth franchit la passe et entre dans le port. A la partie extérieure, les points blancs sont des échos de vagues. Un nouveau système permet de transformer cette vue en image télévision qu'on peut examiner en lumière du jour.



La couverture mondiale du système hyperbolique Loran. En noir les limites de portée des lignes de position. En grisé, les limites extrêmes correspondant aux conditions de propagation nocturne.

La navigation maritime consiste à conduire un navire d'un port à un autre. Ce qui apparaît comme vérité de La Palice suppose en réalité que soient résolus certains problèmes, lesquels peuvent se résumer ainsi : savoir à tout moment où l'on est, c'est-à-dire son exacte position ; posséder le moyen de suivre une route que l'on aura déterminée sur une carte et qui sera de préférence la plus courte ; avoir la possibilité de contrôler que le navire suit avec exactitude cette route, qu'il se trouve bien « sur les rails » comme disent les marins. Mais cela suppose aussi que le navire puisse s'écartier de tout obstacle, qu'il soit récif, écueil, iceberg ou autre bâtiment, et ceci quelles que soient les conditions océaniques et météorologiques.

Résultat des échanges internationaux, la navigation maritime ne s'effectue pas entre ports pris au hasard. Après les routes du sel, de l'étain, de l'or, des épices, le trafic maritime continue de suivre des routes déterminées répondant à la loi du plus court chemin. Il s'en-

suit que certains parcours empruntent obligatoirement les mêmes passages étroits, ces goulets naturels que constituent le Pas-de-Calais, Gibraltar, Antofogasta, ou utilisent des plaques tournantes comme celles de Dakar, Récife, etc. En ces zones, les concentrations de navires atteignent une importance telle que les marins n'hésitent pas à dire « voilà la sortie du cinéma » ! Dans ces zones, les risques de collision sont très grands.

LA NAVIGATION ET SES AIDES

Le point, préoccupation majeure des navigateurs, consiste à se situer sur une carte en fonction de coordonnées cartésiennes, latitude et longitude. Pendant très longtemps, le calcul de la latitude a été obtenu par des procédés rudimentaires, peu à peu modernisés : bâton de Jacob, arbalète, quartier de Davis, octant, sextant (qui mesure la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon, ce qui permet, par transformation des systèmes de coordon-

nées, de résoudre le triangle sphérique de position de l'astre et d'obtenir les coordonnées équatoriales du navire).

Jusqu'au milieu du XVII^e siècle, faute de pouvoir conserver le temps, il n'était pas possible de déterminer la longitude de façon rigoureuse. L'apparition de la montre marine de Berthoud allait résoudre ce problème avec une approximation très valable. Du même coup, s'ouvrait l'ère des grandes découvertes et allaient s'amplifier les échanges internationaux.

L'utilisation des ondes radioélectriques ouvrit de nouvelles possibilités de localisation par temps couvert. Les premières applications concernaient les atterrissages ainsi que l'identification de navires invisibles. L'opération élémentaire de radiozonométrie consistant à relever la direction d'une émission était déjà un net progrès sur les systèmes lumineux ou sonores. Quant à la radio, elle permettait d'informer les navires des prévisions météorologiques. Ainsi, ils pouvaient éviter une zone difficile, infléchir leur route pour échapper à une tempête ou à un cyclone...

Petit à petit, les systèmes radioélectriques se perfectionnant permettaient de couvrir certaines parties du globe par des hyperboles dont l'interaction fournissait un point précis. Tels sont les systèmes Decca et Loran dont les couvertures ne dépassent guère 150 milles marins à partir des côtes.

Un autre système devait voir le jour, le Consol, qui permet, avec un seul émetteur, de faire un point facile à proximité des côtes d'Europe du Nord.

Tous ces systèmes ont en commun une certaine imprécision, due tantôt aux aberrations de propagation, tantôt au trop grand éloignement de l'émetteur ; ils nécessitent la possession à bord de cartes portant les tracés des hyperboles correspondantes ; à proximité de la terre, leur utilisation est particulièrement difficile.

Ces problèmes ont été résolus au cours de ces dernières années seulement. En 1950, les Etats-Unis avaient conçu pour leurs besoins militaires un système de radionavigation entré dans la phase industrielle entre 1960 et 1965, époque à laquelle il fut mis à la disposition des utilisateurs civils. Ce système **Omega** couvre la totalité du globe au moyen de réseaux hyperboliques définis par les combinaisons deux à deux de signaux émis en ondes très longues par huit stations fixes. La mise en service des stations émettrices n'est pas encore achevée. Elles émettent dans la gamme de fréquences 10 à 15 kHz et sont pilotées par des horloges atomiques.

Les appareils récepteurs de bord mesurent les différences de phase entre les signaux provenant d'émetteurs pris deux à deux pour obtenir, comme dans les systèmes classiques Decca, Loran, etc. des lieux hyperboliques de position. L'intersection de deux ou plusieurs

de ces hyperboles définit le point. La précision en valeur absolue de l'Omega est de 1 mille.

Dans une zone limitée, on peut utiliser un perfectionnement dû à une société française : l'exploitation du procédé « Omega différentiel » assure, au moyen d'un récepteur fixe à terre, la correction permanente dans un rayon d'une centaine de milles des erreurs dues aux variations de propagation. On aboutit ainsi à une précision absolue de l'ordre de 0,2 mille.

Trois autres systèmes de radiolocalisation sont conçus pour obtenir des précisions extrêmes, de l'ordre du mètre, à distance relativement faible de la côte.

TROIS SYSTEMES TRES PRECIS

Le système Trident correspond aux caractéristiques définies par le Service hydrographique de la marine pour un radiolocalisateur opérant par triangulation. Pour l'obtention de la précision, le choix du principe utilisé est primordial, les conditions de propagation hertzienne intervenant dans un second temps. Quel que soit le système, selon les fréquences choisies, les phénomènes mis en jeu sont différents, sans parler de la facilité de réalisation de l'équipement. Plus l'on se rapproche des fréquences lumineuses, plus la propagation est rectiligne et la portée diminuée. Au contraire, si l'on utilise des fréquences basses, le rayonnement devient diffus mais la portée augmente considérablement : la précision à longue distance est alors plus difficile à obtenir. Il y a donc un optimum à trouver en matière de fréquences. L'utilisation d'un émetteur à impulsions courtes permet de s'affranchir des phénomènes de réflexion, ce qui ne peut pas être le cas avec le procédé de modulation en ondes entretenues.

Le système Trident fonctionne sur des fréquences voisines de 250 MHz. Il utilise des balises répondeuses d'encombrement et de poids réduits, faciles à installer à terre. Sur le navire, on dispose d'un équipement d'interrogation et de mesure des distances aux trois balises. La mesure des distances entre le navire et les balises se fait par celle du temps séparant les impulsions codées d'interrogation des impulsions renvoyées par chaque balise sur une fréquence différente. Une simple triangulation donne sans utilisation de cartes spéciales le point du navire.

Le système tient compte des variations de vitesse des ondes électromagnétiques à faible incidence au-dessus de la mer avec un petit parcours au-dessus de la terre. La valeur adoptée (299 707 km/s) correspond à des erreurs relatives de 10^{-5} dans le domaine des portées inférieures à 100 km. On aboutit ainsi à une précision de l'ordre de 3 m. Un oscilla-

teur à quartz permet de descendre au-dessous d'une erreur relative de 10^{-5} , soit une précision de moins d'un mètre à 100 km de distance.

Le système Toran est utilisé pour connaître en permanence de façon précise la position d'un engin mobile, maritime ou aérien. Il procède par émissions continues sans dispositif de synchronisation ou d'asservissement. La stabilité des réseaux de coordonnées, condition de haute précision, est absolue. Les émetteurs Toran, qui, par couples, définissent une coordonnée hyperbolique, sont indépendants, c'est-à-dire qu'ils échappent à la contrainte d'un émetteur foyer en commun avec les autres couples. Le nombre des mobiles pouvant utiliser simultanément une même chaîne Toran est illimité.

L'Administration française des phares et balises a décidé récemment de mettre en place de telles chaînes de radiolocalisation pour couvrir les accès des principaux ports français. Dunkerque, Boulogne, Rouen, Le Havre, Nantes, Saint-Nazaire et Bordeaux sont équipés.

Les portées pouvant être mises en œuvre en mer sont de l'ordre de 800 km pour les chaînes à longue distance et 50 km pour les couvertures portuaires.

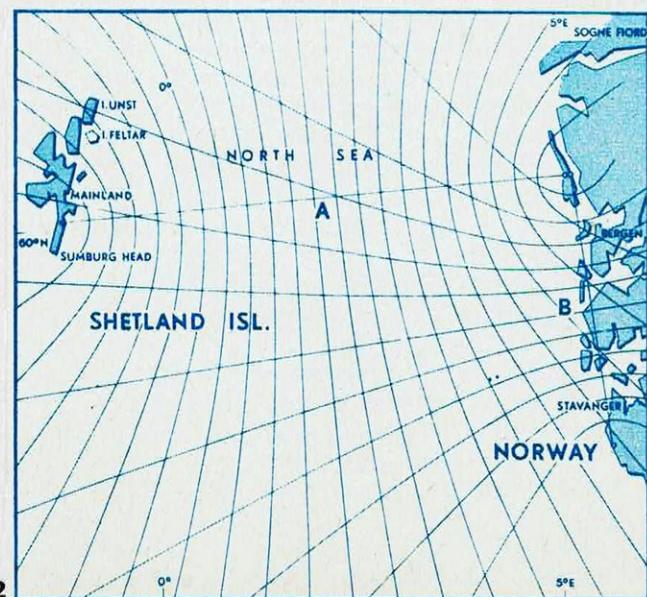
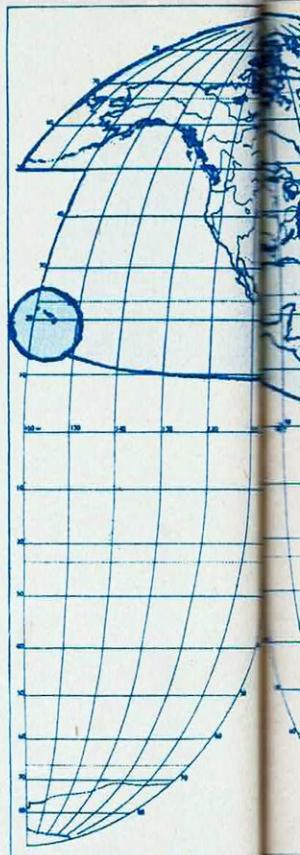
Le **Delta**, troisième système, fait appel à une toute nouvelle technique et apparaît susceptible, de par ses performances, d'estomper le Toran. Il procède également par références à deux points de la côte, la localisation étant effectuée par mesure de la distance qui sépare l'interrogateur de bord des deux répondeurs à terre. Aux distances mesurées correspondent des familles de cercles et non plus d'hyperboles. Le principe de la mesure est basé sur l'analyse du déphasage de l'onde sur un aller et retour, déphasage proportionnel au temps de parcours.

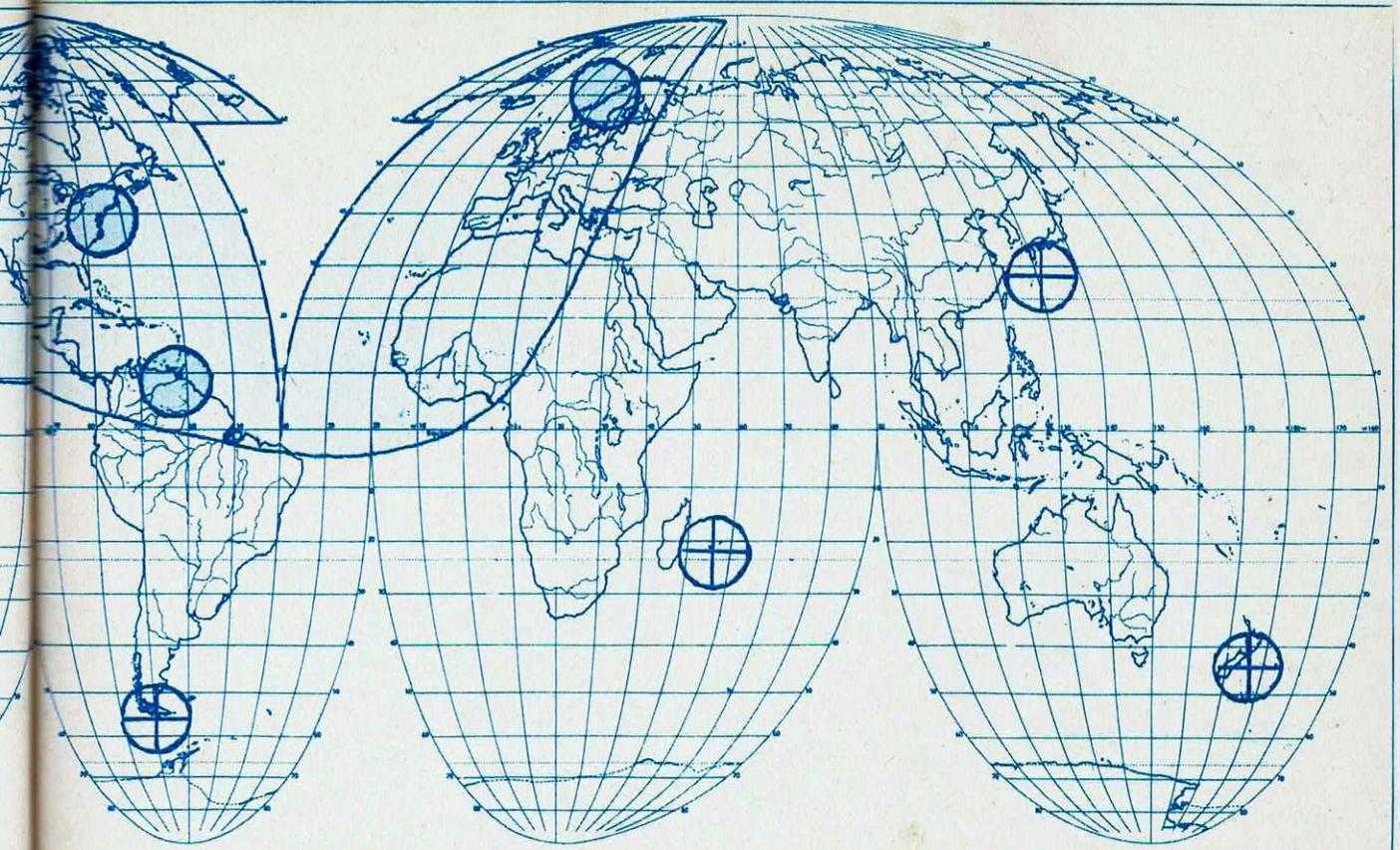
Une forme élaborée associant un petit calculateur et une table traçante permettent d'obtenir la position et la route du navire. La précision opérationnelle est de l'ordre de 2 mètres. Le système peut être notamment utilisé pour le guidage de navires de fort tonnage dans un chenal et pour la navigation côtière par temps de brume. La portée théorique est de 128 km, ramenée en zone portuaire, pratiquement, à 30 km.

LES SATELLITES POLAIRES

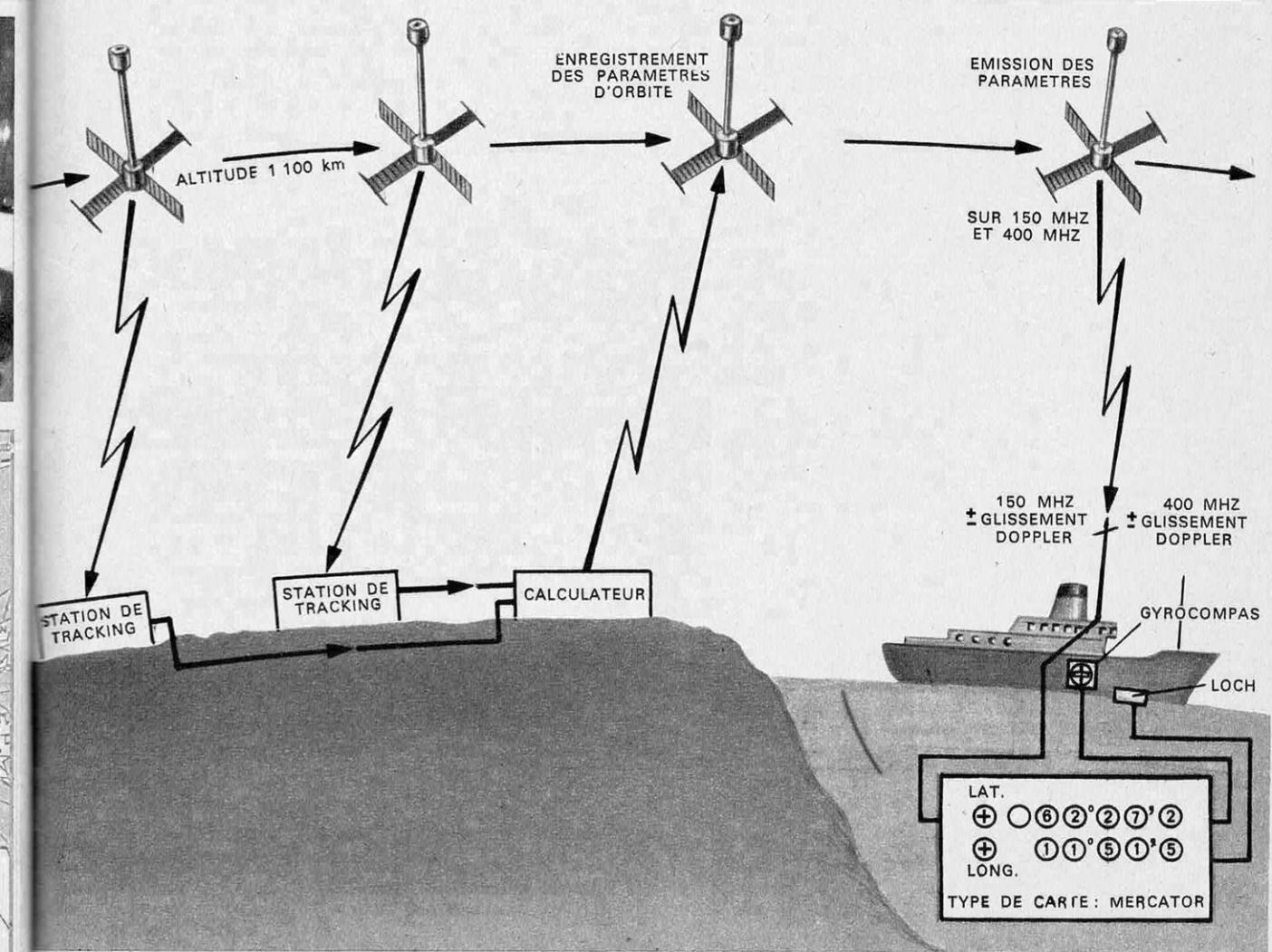
La mise en place par l'U.S. Navy, sur orbite circulaire polaire, de quatre satellites croissant à 1 000 km d'altitude lui a permis, depuis près de six ans, d'utiliser une nouvelle méthode de positionnement en haute mer. Ce système communément désigné par le terme **Transit** est basé sur l'interrogation de deux des quatre satellites. Les plans des trajec-

1 - Sur la table à tracer Toran placée devant l'homme de barre, la route réellement suivie s'inscrit automatiquement. Elle y est comparée avec la route idéale dessinée au préalable. 2 - Les hyperboles du système Toran entre la Norvège et les îles Shetland. 3 - Le réseau Omega universel : la partie ombrière est actuellement en fonction. L'ensemble sera achevé en 1974. 4 - Le principe du point en mer par satellite Transit.





3



4

toires des quatre satellites sont sensiblement méridiens et décalés de 45 degrés. Chacun fait un tour d'orbite en 108 minutes, temps pendant lequel la terre défile de 27 degrés. Le même satellite sera donc vu de 27 en 27 degrés de longitude par les points de même latitude de la surface terrestre. En raison de leur altitude, les satellites ne sont « visibles » de façon utile qu'à l'intérieur d'une bande de 3 000 km de large. En n'importe quel point du globe, il y a environ un passage utile par heure.

Toutes les deux minutes, le satellite émet un message d'identification qui permet de calculer sa position au début de l'émission à moins de 50 m près. A terre, un réseau de trajectographie détermine les éléments de la trajectoire et prédit les positions du satellite pour les 12 à 16 heures à venir.

Le satellite émet en continu sur deux fréquences, 150 à 400 MHz. Si nous considérons cette deuxième fréquence, l'effet Doppler donne une fréquence plus élevée quand le satellite s'approche et plus basse quand il s'éloigne. Le récepteur de bord est équipé d'un oscillateur produisant la même fréquence de base, 400 MHz. Il suffit de mesurer le glissement de phase dans les deux minutes entre l'émission à 400 MHz et le signal reçu du satellite pour « positionner » l'observateur sur un hyperbolôde de révolution dont les foyers sont les positions occupées aux points de départ et de fin d'émission du satellite. En huit minutes, on obtient trois hyperbolôdes dont les intersections à la surface terrestre donnent la position à environ 100 m près.

Pour l'instant, l'inconvénient est que les seuls satellites polaires existants sont américains. En cas de conflit, il suffirait aux Etats-Unis de changer les codes interrogation-réponse pour qu'ils soient inutilisables. Ces satellites ne sont d'ailleurs pas invulnérables.

EVITER LES COLLISIONS

Apparaît alors un problème qui n'est pas nouveau, celui de la détection des obstacles, problème résolu par deux types d'appareillage : le radar, au-dessus de la surface, et le sonar, au-dessous. Dans les deux cas, il s'agit de visualiser un obstacle sur un écran cathodique, quelles que puissent être son orientation et sa distance.

Les radars sont apparus dans la marine marchande au lendemain de la deuxième guerre mondiale, les premiers systèmes de détection consistant à fournir aux navigateurs, en cas de visibilité nulle ou réduite, les renseignements qu'ils auraient obtenus visuellement par temps clair. Sur l'écran, il n'était pas possible de connaître la route des navires autrement que par une opération délicate qui prenait un temps précieux si l'environnement était très encombré. En 1955-1956, le radar à mou-

vement vrai apporta un sérieux progrès du fait de la projection de spots lumineux figurant les échos successifs des « cibles » au fur et à mesure de l'avancement du navire porteur.

Le radar commençait ainsi à donner la route vraie des navires, mais il ne fournissait pas encore l'indication des mouvements relatifs, c'est-à-dire le moyen d'évaluer les risques de collision.

Depuis deux ans, a débuté la construction de radars anti-collision présentant sur écran les deux séries d'informations. Le traitement des informations données par le radar est confié à un ordinateur fournissant instantanément les réponses à des problèmes dont les solutions manuelles demanderaient des heures de travail. Cet ordinateur peut être spécialement construit pour le radar anti-collision ou être un ordinateur central déjà installé à bord, disposant de mémoires disponibles.

En l'état actuel des choses, le traitement des informations ne peut être assuré que pour un certain nombre de « cibles », mais rien n'interdit de penser que le système puisse être étendu à un nombre illimité de navires.

De nouveaux radars anti-collision peuvent déterminer la plus courte distance d'approche des navires suivant une route dangereuse. Cela signifie la détermination d'un cercle de protection autour du navire porteur. Si le navire entre dans le cercle de protection, le système déclenche un signal d'alarme. La conduite entièrement automatique du navire n'est donc pas inconcevable, même en tenant compte de la route optimale déterminée par les conditions météorologiques.

L'utilisation des prévisions météorologiques pour assurer une route plus sûre et plus rapide remonte au début du XIX^e siècle. A l'époque, les cartes des vents et courants pour chaque saison permirent de ramener la traversée de New York à la Californie par le cap Horn de 180 à 100 jours et celle d'Angleterre à Sydney et retour de 250 à 125 jours. Actuellement, pour les traversées océaniques sur des parcours soumis à un régime météorologique variable, la météorologie peut conseiller une route dépendant de la vitesse du navire, en fonction de la hauteur et de la période des vagues, de la vitesse et de l'orientation des vents. Il s'agit d'établir le lieu géométrique des points de même temps, de façon à choisir les étapes de meilleur parcours. Cette construction des **brachystochrones** est courante en aéronautique.

L'amélioration des techniques de prévision et l'aide des calculateurs électroniques permettent d'éviter, sur l'Atlantique Nord, les zones de mauvais temps et de houle néfaste. A noter qu'une expérience entre Liverpool et New York a montré qu'en accroissant la route du

dixième en distance absolue, on pouvait réduire la durée de traversée de 14 heures. Il n'est pas inconcevable qu'on parvienne à introduire ces nouvelles techniques dans une conduite entièrement automatisée par ordinateur. D'autant plus que la météorologie améliore constamment ses prévisions à moyen terme, notamment grâce aux renseignements fournis par les satellites spécialisés.

A la nécessité d'un point précis et de son contrôle répondent de nouveaux principes tels que l'utilisation de systèmes ultrasonores à effet Doppler. Les ultra-sons sont dirigés obliquement vers le fond de la mer et reçus après réflexion. Les signaux sont émis vers l'avant, vers l'arrière, vers tribord et bâbord. Ils permettent, après traitement par ordinateur, de mesurer la direction et la vitesse réelles du navire. L'ordinateur est couplé à une table traçante donnant la route vraie suivie et affichant le cap à suivre pour compenser la dérive.

LA CIRCULATION MARITIME

La croissance constante des trafics maritimes mondiaux, passés de 1 810 millions à 2 510 millions de tonnes de 1966 à 1970, s'accompagne de l'accroissement du tonnage moyen, mais aussi de celui du nombre des navires. Tous ces navires encombrent, par conséquent, les trafics réguliers sur lesquels ils sont distribués et les zones de convergence sont de plus en plus fréquentées.

On ne dénombre pas moins de 21 zones de convergence le long des côtes d'Europe et sur l'itinéraire canal de Suez-golfe Persique. Les plus cruciales sont le Pas-de-Calais et Gibraltar (chaque jour plus de 600 navires entrent dans la Manche).

Bien d'autres itinéraires sont encombrés : le cap Saint-Vincent (à la pointe sud du Portugal) est une zone aussi délicate que les atterrages de Dakar. La région Kamtchatka-Japon, celles de New York et de Hampton Roads sont de plus en plus dangereuses... Ces zones de navigation dense ou de convergence sont d'autant plus périlleuses qu'aux navires de commerce, il convient d'ajouter les bâtiments de guerre.

Au sens juridique du terme, ces zones de navigation sont le plus souvent situées en haute mer, c'est-à-dire hors des eaux territoriales, de telle sorte qu'aucune autorité nationale ne peut ériger de réglementation valable. Par ailleurs, aucune autorité internationale n'a le pouvoir d'imposer ses vues.

Plusieurs organisations se sont néanmoins constituées pour définir les moyens d'améliorer la sécurité. Il s'agit de l'Organisation maritime consultative internationale, de l'Oceanographic office des Etats-Unis, du Comité international de l'organisation du trafic à la mer...

Au total, les réglementations concernant les zones encombrées se limitent actuellement à des recommandations que les marins ne sont pas obligés de suivre.

Dans les zones les plus dangereuses, la difficulté réside en ce que les trafics ne s'effectuent pas seulement dans les deux sens, mais aussi en travers, sans oublier les pêcheurs exerçant leurs activités au milieu du passage et qui s'y livrent à des mouvements « imprévisibles ». De ce point de vue, le Pas de Calais est un bon exemple.

Plusieurs solutions ont été préconisées pour séparer les trafics. En ce qui concerne le Pas de Calais, les navires se dirigeant vers la Manche devraient longer la côte anglaise ; ceux venant de la Manche, l'autre côté. L'inconvénient de cette solution tient principalement aux mauvaises conditions météorologiques générales dans cette zone, compte tenu d'une côte basse continentale sablonneuse et de hauts fonds au centre du passage (le cimetière marin des Goodwins l'illustre abondamment). La côte anglaise a pour elle d'être rocheuse et escarpée et donc de fournir un bon écho radar.

La signalisation par bouées ou balises crée un problème supplémentaire car la charge en incombe à la nation souveraine sur ses eaux territoriales. Néanmoins, certains itinéraires en bénéficient largement, par exemple cap Lizard-Anvers, Rotterdam-Casquets, etc. Les tentatives de régulation du trafic se heurtent à des difficultés diverses : de grands écarts, en particulier, existent entre les vitesses des navires et entre leur possibilité de manœuvre (un pétrolier de 300 000 tonnes lancé à 12 noeuds a besoin de 9 kilomètres pour s'arrêter). Il est certain que la régulation par organigramme horaire n'exigeant que des montres bien accordées est une des meilleures solutions proposées.

LES CARTES A REVOIR ?

Etablies après les grandes découvertes, les cartes ont l'inconvénient d'une certaine imprecision. Certaines erreurs sont notoires et les marins s'en accommodent. Regraver l'ensemble des cartes du globe engagerait des sommes trop considérables. D'ailleurs, les navires océanographiques et hydrographiques de tous les pays concourent chaque jour à l'amélioration des connaissances. A chaque réédition d'une carte, les navigateurs sont informés des modifications relevées.

Ces problèmes, dont on conçoit toute l'importance, sont de nature à éloigner le jour où les armateurs pourront faire naviguer des navires sans personne à bord. Les carrières offertes par la marine de commerce restent donc largement ouvertes.

La propulsion

DE LA VAPEUR A LA TURBINE

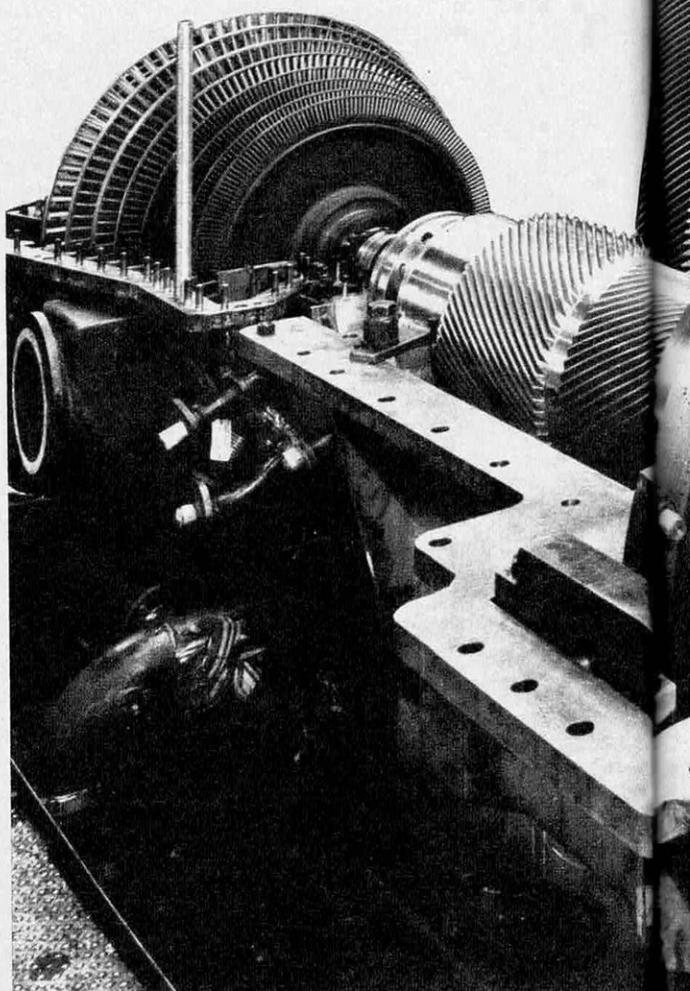
En matière de propulsion marine commerciale, la plus récente acquisition est la turbine à gaz. Ce type de moteur a un rôle certain à jouer dans les flottes de porte-containers et de méthaniers. Turbines à vapeur et moteurs diesel conservent par ailleurs de très fortes positions, surtout pour les grosses puissances installées.

Dépoussiérées, les ports de Southampton, Brême, Rotterdam, d'un côté de l'Atlantique, et Port Seatrain, New Jersey, de l'autre, sont desservis par les navires porte-containers les plus rapides de l'Atlantique Nord. La vitesse moyenne soutenue (26,8 nœuds) est presque celle des paquebots. Deux navires, l'**Euroliner** et l'**Eurofreighter** assurent, pour l'instant, ce service. Deux autres viendront les rejoindre prochainement.

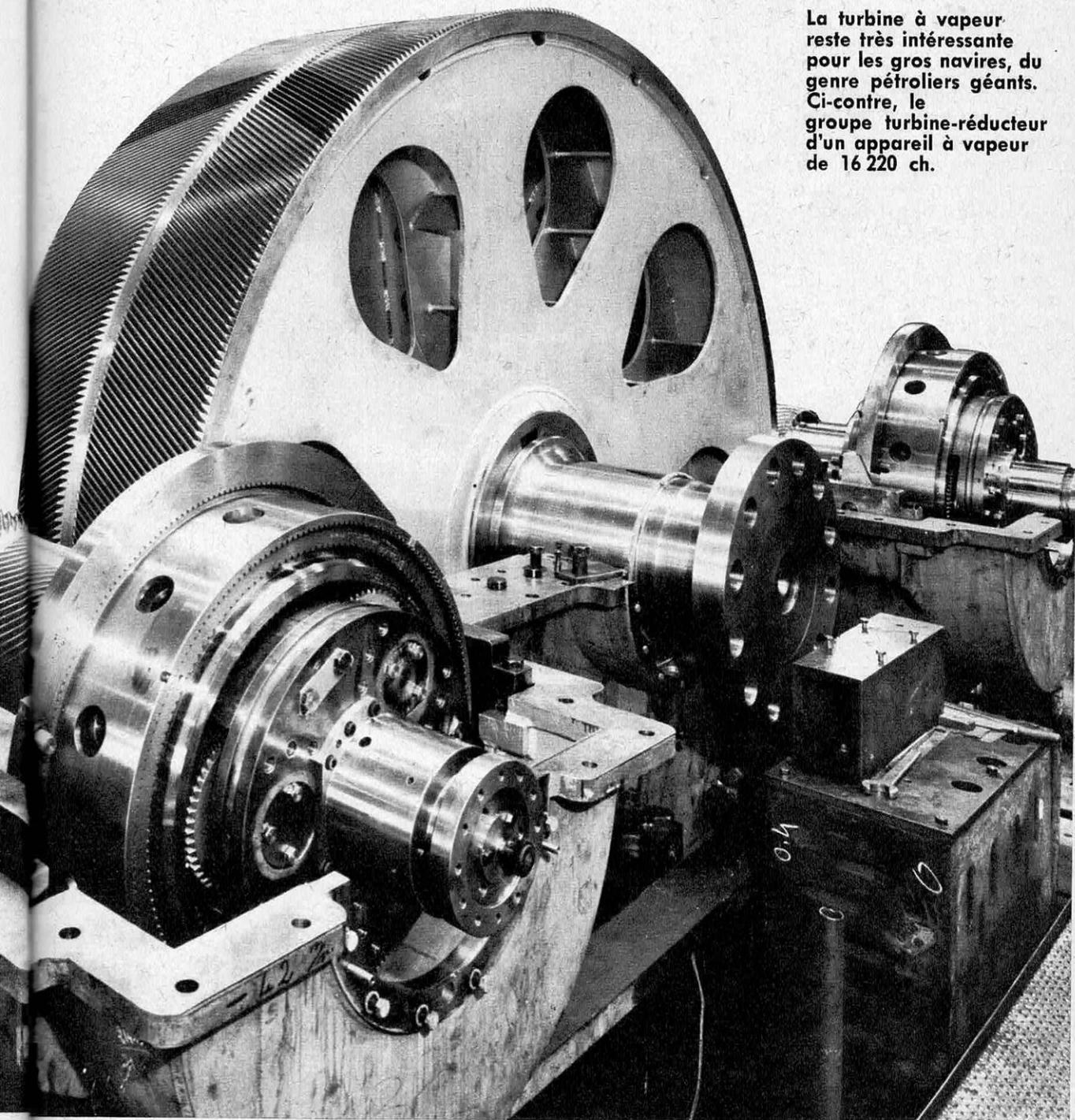
Avec 243 m de long et 30 m de large, les dimensions de ces nouveaux venus n'ont rien d'exceptionnel. Leurs formes extérieures très dépouillées et leurs lignes élancées ne sont pas vraiment révolutionnaires. Beaucoup de cargos rapides et de navires spécialisés ont des formes aussi fines. Ce qui distingue ces unités des autres, c'est leur mode de propulsion. L'équipage d'un voilier passant à proximité distinguera un bruit rappelant celui d'un « jet » commercial et pourrait se demander si le navire n'est pas propulsé par réaction.

C'est vrai, les navires de la Seatrain Line sont bien équipés des mêmes turboréacteurs que les Boeing 707 et Douglas DC-8, mais ils n'utilisent pas la réaction des gaz pour assurer leur propulsion. Les deux Pratt et Whitney FT4 A 12 « navalisés » sont utilisés en génératrices de gaz chauds dont l'énergie est transformée en puissance mécanique par une turbine placée à la sortie. Par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenages, la turbine entraîne une hélice à pales orientables.

Ce montage désigné sous le nom de turbine à gaz à deux arbres ou à turbine libre est le



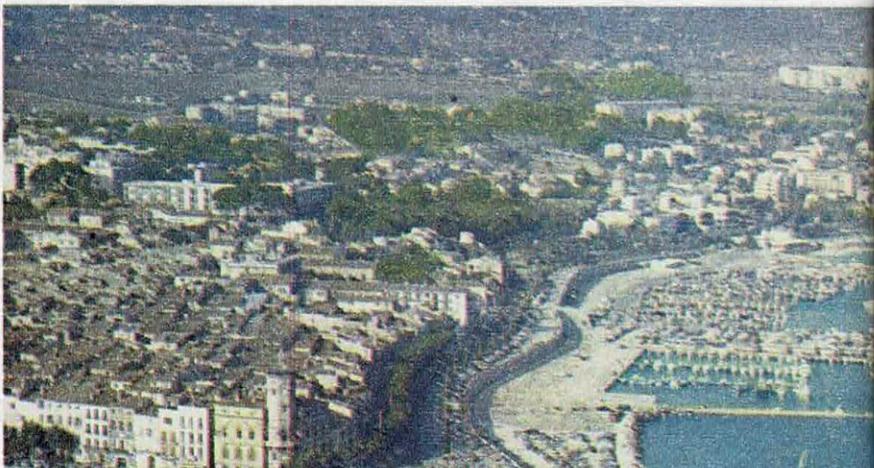
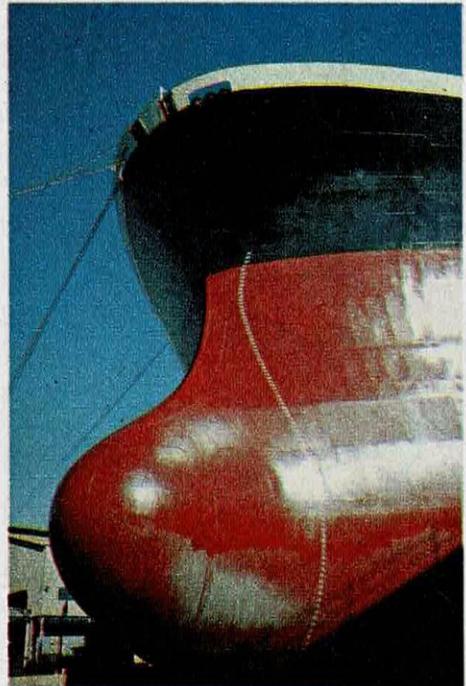
TURBINE A GAZ



La turbine à vapeur
reste très intéressante
pour les gros navires, du
genre pétroliers géants.
Ci-contre, le
groupe turbine-réducteur
d'un appareil à vapeur
de 16 220 ch.

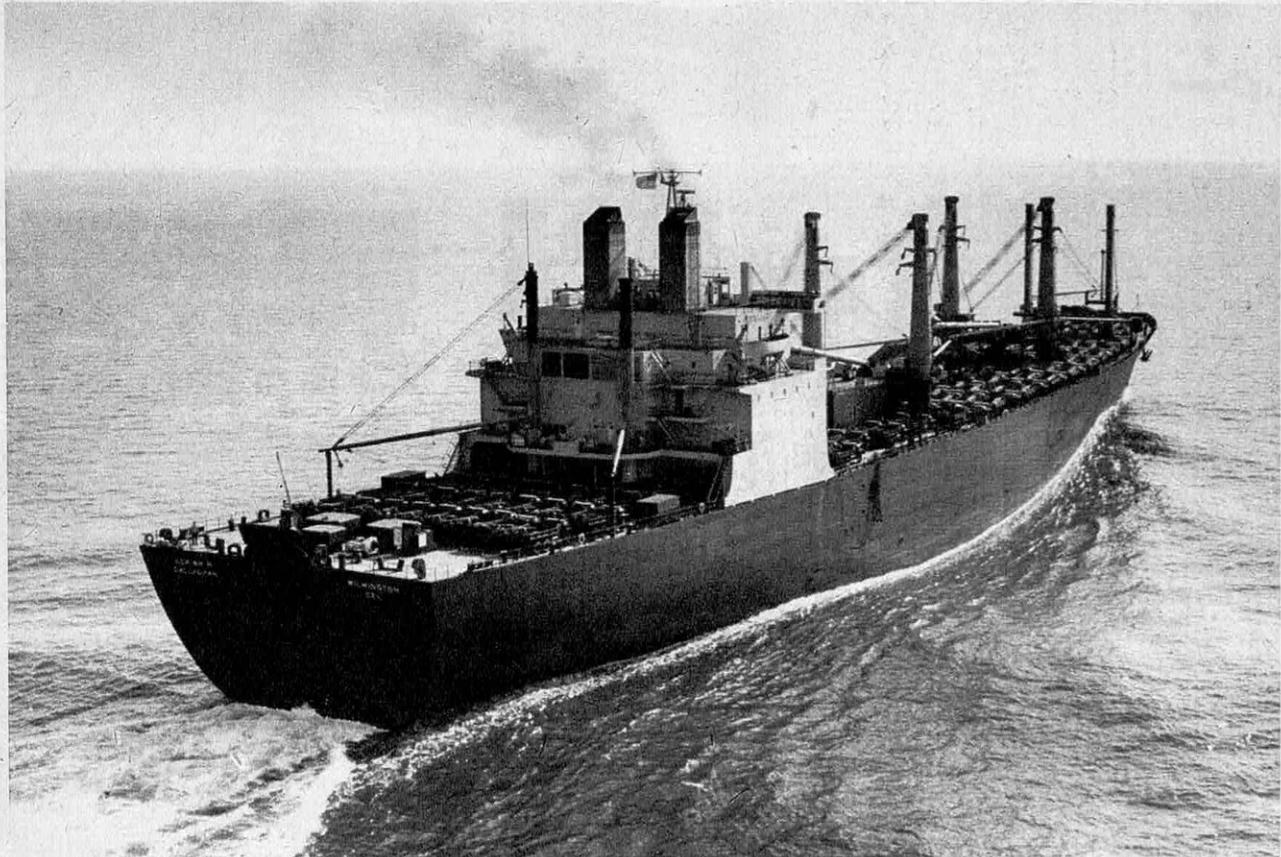
PETROLIERS GEANTS

Parmi les pétroliers de très fort port en lourd actuellement construits dans le monde, ceux de 200 000 à 300 000 t sont probablement les plus caractéristiques. C'est dans cette tranche que se place, avec 240 000 t, le pétrolier Blois (Pétroles BP). Le document en bas de page montre le Blois en cours de finition au quai d'armement de La Ciotat. En haut, le pont. Ci-dessous, le bulbe d'étrave.



Alain Perceval





même que sur beaucoup d'hélicoptères, mais dans ce cas, les puissances sont beaucoup plus faibles.

L'APPAREIL PROPULSIF DE L'EUROLINER

A bord de l'Euroliner et de son « sistership », chaque générateur de gaz dispose de deux compresseurs jumelés : le compresseur basse-pression, à huit étages, est entraîné par une turbine deux-étages ; les six étages du compresseur haute-pression sont entraînés par une turbine à un seul étage. Les deux arbres de compresseur sont, bien entendu, coaxiaux, l'arbre basse-pression tournant à l'intérieur de l'arbre haute-pression.

Entre le compresseur haute-pression et la turbine haute-pression s'intercalent huit chambres de combustion en acier réfractaire, refroidies par de l'air prélevé sur le compresseur.

L'ensemble est monté dans un container isolé phoniquement et thermiquement, au poids de 15 t, dont les dimensions sont celles d'un container standard de 40 x 8 x 8,5 pieds. Sa manipulation peut être assurée par les portiques de chargement-déchargement aussi simplement que pour un container ordinaire. La turbine de puissance est un modèle de simplicité : elle comporte deux étages seulement. Tournant à 3 600 tr/mn, elle entraîne, par l'intermédiaire d'accouplements flexibles, le réducteur à engrenages dont l'arbre de sortie tourne à 135 tr/mn. L'arbre de sortie entraîne

lui-même une hélice à quatre pales orientables.

Pour chaque groupe, la puissance maximale est de 30 000 ch, la puissance normale étant de l'ordre de 25 000 ch à la température de 20 °C à l'entrée du compresseur.

TURBINES AVIATION ET TURBINES INDUSTRIELLES

En dehors du FT4, Pratt et Whitney proposera dans un proche avenir le FT9, un groupe navalisé de la seconde génération.

Après quelques hésitations, General Electric a, elle aussi, navalisé un réacteur d'aviation, le TF 39/CF6. Cela a donné la LM 2 500, de même puissance que le FT4 Pratt et Whitney, mais de consommation spécifique beaucoup plus faible. A titre d'essai la LM 2 500 a été installée en 1970 à bord du précurseur des navires à turbine, le **Callaghan**, construit en 1968 aux Etats-Unis sur fonds d'Etat. La turbine LM 2 500 a fonctionné sur ce navire pendant 6 000 heures de façon très satisfaisante, et avec une consommation spécifique de 7 % plus faible que garantie.

Plus robustes que les turbines dérivées de réacteurs d'aviation, des turbines dites industrielles, de puissance 3 000 à 60 000 ch, ont été mises sur le marché par General Electric. Ces turbines peuvent tolérer un combustible moins noble que les précédentes. Plusieurs projets d'applications marines sont en cours de réalisation. Il est d'ailleurs assez curieux

Le cargo expérimental Callaghan, utilisé par la Marine américaine, a été doté en 1970 de turbines General Electric LM-2500 qui constituent son unique source de propulsion. Ces turbines ont fonctionné des milliers d'heures sans incident.

L'escorteur Exmouth de la Royal Navy a été rééquipé d'un appareil propulsif à turbines à gaz : une turbine Rolls-Royce Olympus de 22 500 ch (marche à grande vitesse) et deux Proteus de 3 250 ch (marche en croisière).



de constater que les turbines à gaz industrielles, dont on a, à terre, une expérience considérable, ne feront leur apparition à bord des navires qu'après les turbines aviation. Pour nous en tenir à ses réalisations les plus récentes, Rolls-Royce propose une version navalisée de l'Olympus TM 3B. Sa consommation spécifique le rend peu attrayant pour les navires marchands. Ce groupe est, par contre, très prisé par les marines militaires, surtout comme propulseur d'appoint sur les unités rapides. Quant au RB 211, le réacteur du Tristar qui fut à l'origine des difficultés financières de Rolls-Royce, il est très bien adapté à une éventuelle application marine. Sa consommation spécifique, en particulier, est intéressante. Toutefois, la firme ne semble pas disposée à proposer une telle version.

LES AVANTAGES DE LA TURBINE A GAZ

Les turbines aviation navalisées sont, par rapport aux installations conventionnelles (turbine à vapeur ou diesel), extrêmement légères et compactes. Les 7,20 m de longueur de la LM 2 500 de General Electric représentent moins du tiers de la longueur d'une installation à vapeur de même puissance, et moins du quart de celle d'un diesel lent.

Le poids de l'ensemble générateur de gaz-turbine de puissance est, dans cette classe de matériels, de 15 à 20 tonnes. Avec les conduits d'admission et d'échappement, de très forte

section, et les auxiliaires, on atteint 300 à 400 tonnes. Ce poids se compare très favorablement aux 1 000 tonnes d'une installation vapeur ou aux 2 000 tonnes d'un diesel lent. Les dimensions relativement très faibles de la turbine à gaz réclament un compartiment machines de volume réduit, notamment pour la partie située sous le pont. On peut ainsi économiser sur le poids de coque ou gagner en volume disponible pour la cargaison. Dans le cas des turbines aviation, l'entretien à bord est quasi inexistant, ou incomparablement réduit par rapport aux installations classiques. Le générateur de gaz doit être remplacé toutes les 8 000 ou 10 000 heures. Il s'agit d'un véritable échange standard qui peut être mené à bien en huit heures par deux hommes seulement. L'entretien des turbines de type industriel s'effectue par remplacement d'éléments modulaires, à intervalles variant de 4 000 à 24 000 heures. Une visite complète de l'installation ne se justifie qu'après 30 000 heures de fonctionnement. A noter que le nettoyage des aubes de compresseurs, en cas d'enrassement, s'effectue en marche. Il suffit d'injecter dans l'aspiration d'air quelques kilogrammes d'un abrasif « tendre », par exemple des grains de riz ou de la coquille de noix pilée...

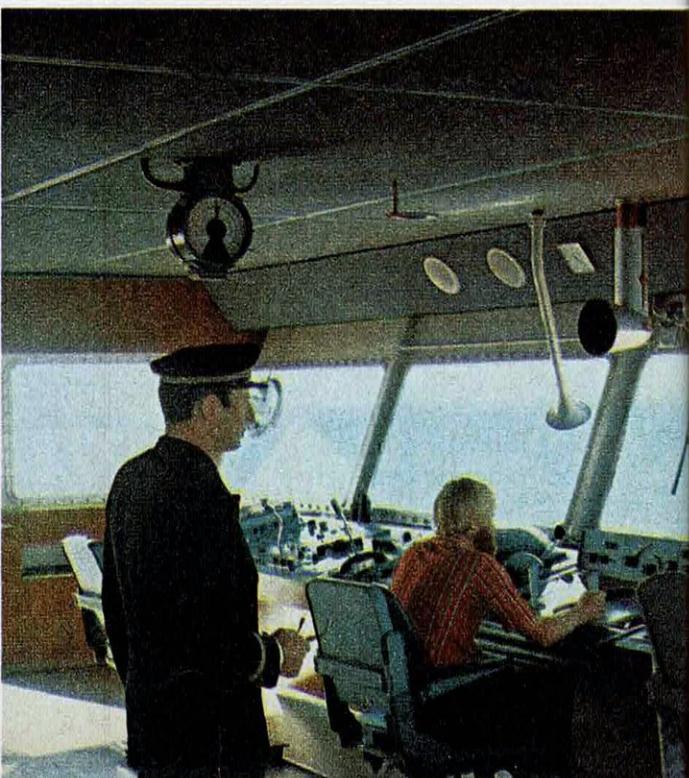
Les turbines à gaz se prêtent particulièrement bien à l'automatisation et au contrôle à distance. En résulte une réduction du personnel nécessaire à la marche de l'installation motrice.

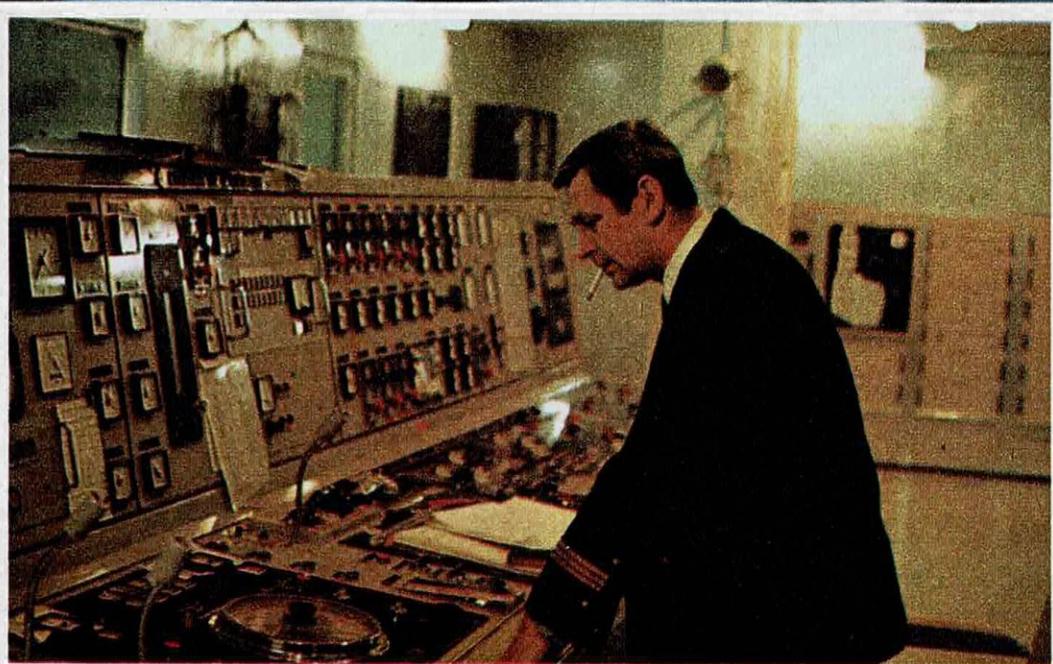
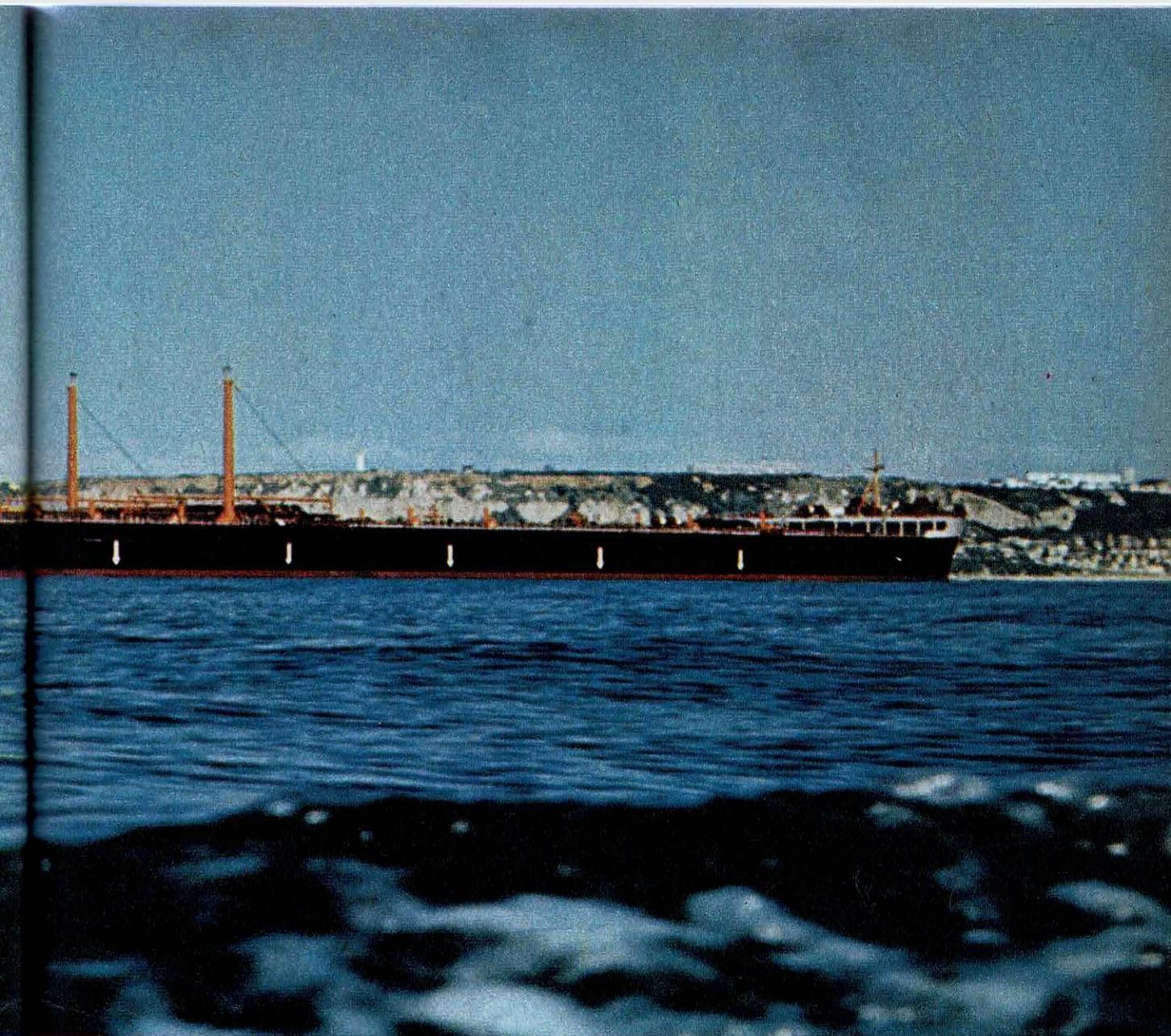
Par rapport aux appareils propulsifs conven-



PETROLIERS GEANTS

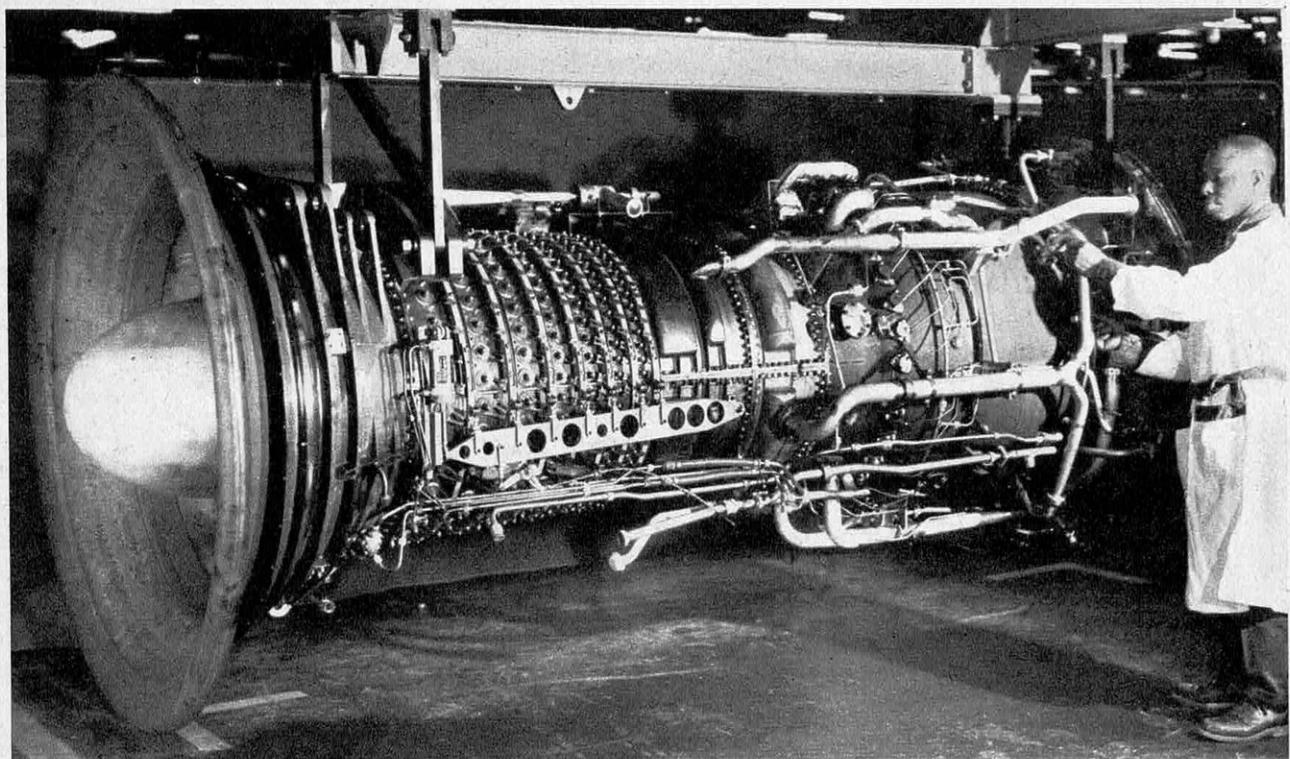
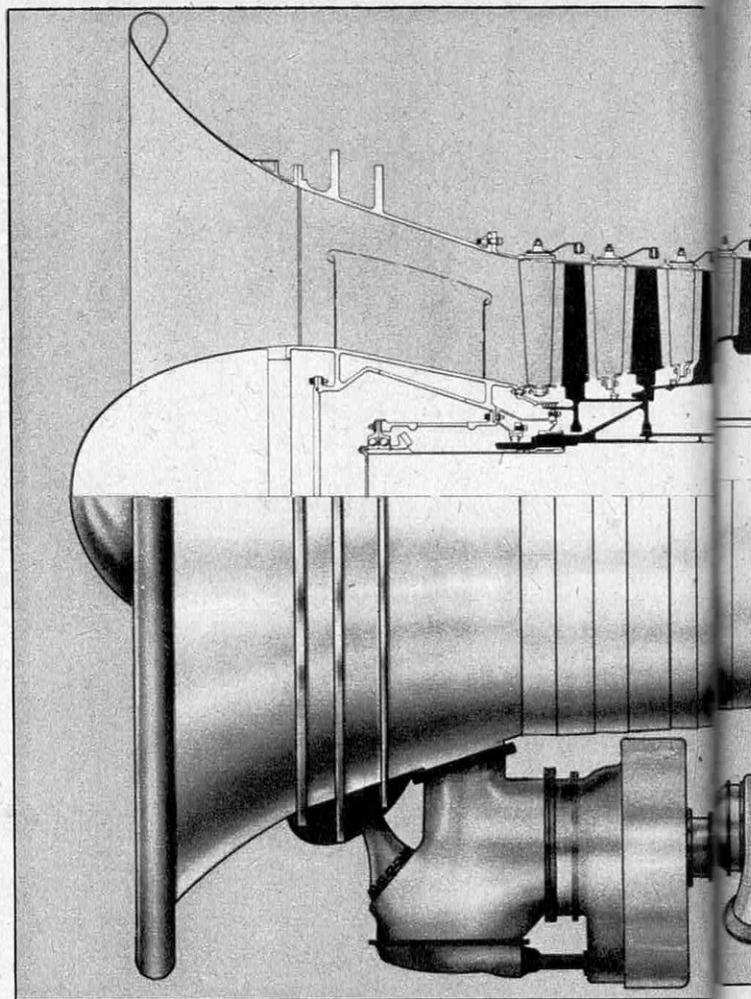
Livré au début de l'année dernière par les chantiers suédois Kockums, le Jade (groupe Total) reste le plus gros pétrolier (260 000 t) battant pavillon européen. En haut de page, le Jade arrivant au Havre à pleine charge au terme de son premier voyage. En bas de page, à bord de l'Emeraude, pétrolier du même groupe d'un port en lourd plus faible (223 000 t).





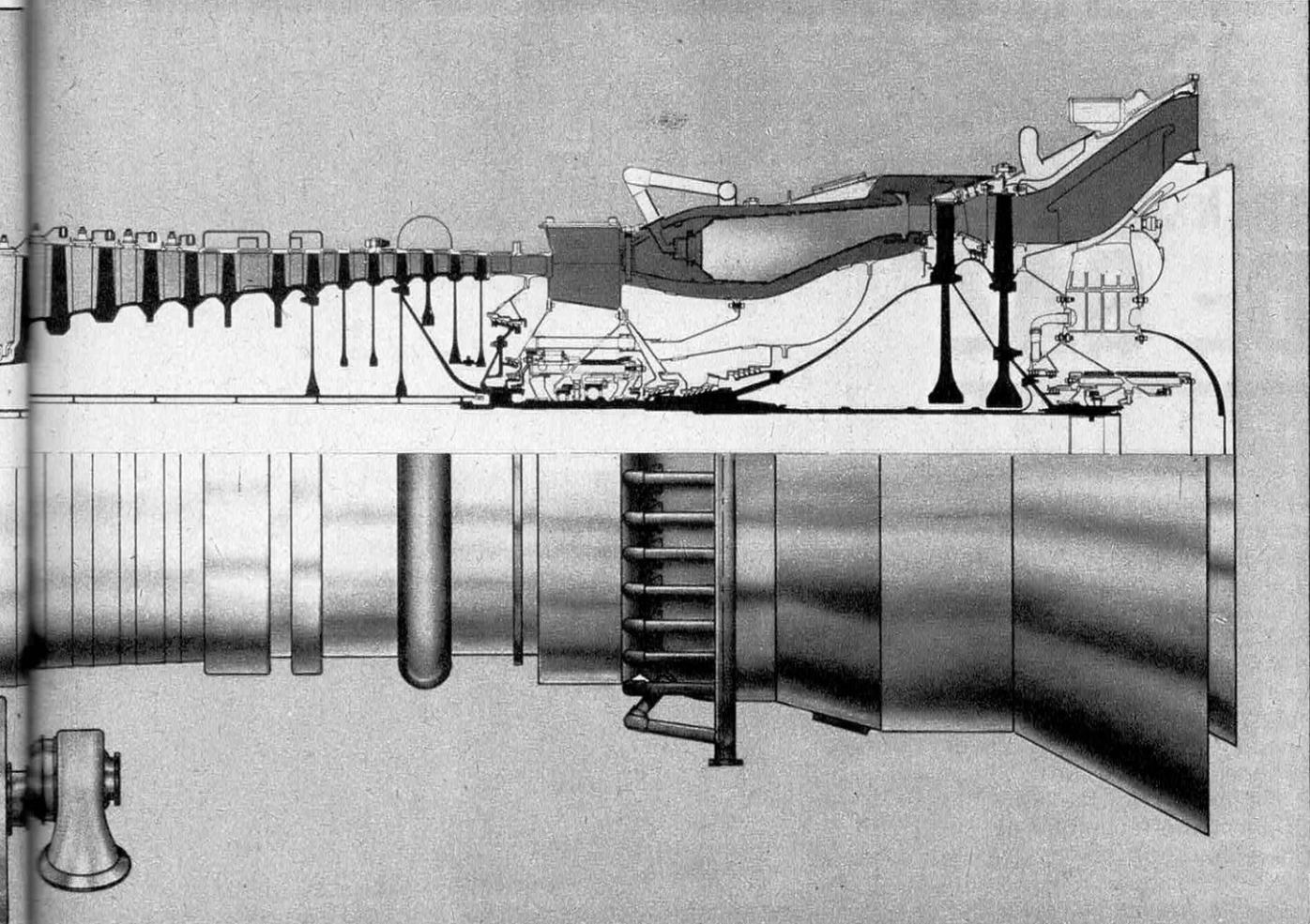
tionnels, les turbines à gaz aviation de première génération, genre FT 4, se signalent par une consommation spécifique assez élevée, 230 à 260 g/ch/heure. La seconde génération est dotée de certains raffinements permettant d'augmenter la température avant turbine (haute-pression). La température maximum passant de 850 à 1 000°, le rendement thermodynamique et la consommation est inférieure à celle d'une installation classique à vapeur. Les températures plus élevées admissibles résultent du refroidissement des aubes de turbine et des tuyères par de l'air prélevé sur le compresseur. Les chambres de combustion sont refroidies de la même façon, l'air admis en amont de la chambre par des orifices de petit diamètre formant un film isolant entre les gaz chauds et la paroi des chambres.

Le rendement des turbines à gaz de type industriel peut être accru par récupération de la chaleur évacuée par les gaz d'échappement. L'air admis dans la turbine est réchauffé dans un échangeur, entre le compresseur et les chambres de combustion. Ce cycle « régénérateur » permet, en conservant un rendement donné, de réduire le rapport de compression et la température avant turbine. Autre façon de récupérer la chaleur des gaz d'échappement, leur utilisation dans une chaudière alimentant en vapeur une turbine couplée à la turbine de puissance de l'installation à gaz. Dans ce cas, la consommation spécifique peut descendre à 170 g/ch/



La turbine marine General Electric LM-2 500 dérive des réacteurs d'aviation TF-39/CF-6 du C-5 A Galaxy et du DC-10. Sur le dessin en coupe

de son générateur de gaz, on distingue les étages de compression et la turbine haute-pression à deux étages entraînant le compresseur.



heure, soit à peine plus que celle d'un diesel. La rapidité de mise en charge de la turbine à gaz constitue un très gros avantage par rapport aux installations traditionnelles. Un groupe de 25 000 ch peut fournir sa pleine puissance trois minutes seulement après démarrage. La turbine à vapeur est, à cet égard, lourdement handicapée. Dans le cas général, cinq à six heures de mise en pression sont nécessaires, et les installations très poussées réclament encore deux à trois heures de chauffe. L'avantage est moins net par rapport au diesel, qui peut être mis en marche rapidement, à froid ou préchauffé.

QUELQUES GRAVES PROBLÈMES

L'obstacle majeur au développement de la turbine à gaz en propulsion marine est le prix du combustible. Les « fuels résiduels » dont se contentent (au prix d'un entretien non négligeable dû à la corrosion provoquée par les impuretés métalliques) les chaudières et les diesels ne conviennent pas à la turbine à gaz. A celle-ci, il faut un combustible « propre », lequel ne peut être, à l'heure actuelle, qu'un produit distillé, donc cher. Le problème de l'élimination des impuretés (vanadium, sodium, potassium, calcium) des fuels résiduels

a reçu une première solution. General Electric a proposé un système d'épuration adaptable sous forme modulaire à toutes les installations de turbines industrielles. Ce genre d'ins-

suite page 76

Turbine à gaz et marche arrière

Avec une turbine à gaz, le problème de l'inversion du sens de rotation de l'hélice se pose de façon assez délicate. Les turbines de puissance actuellement disponibles ne tournent que dans un seul sens.

Dès lors, la marche arrière est assurée, soit grâce à des trains réducteurs avec arbres tournant en sens opposé, soit par des hélices à pales orientables.

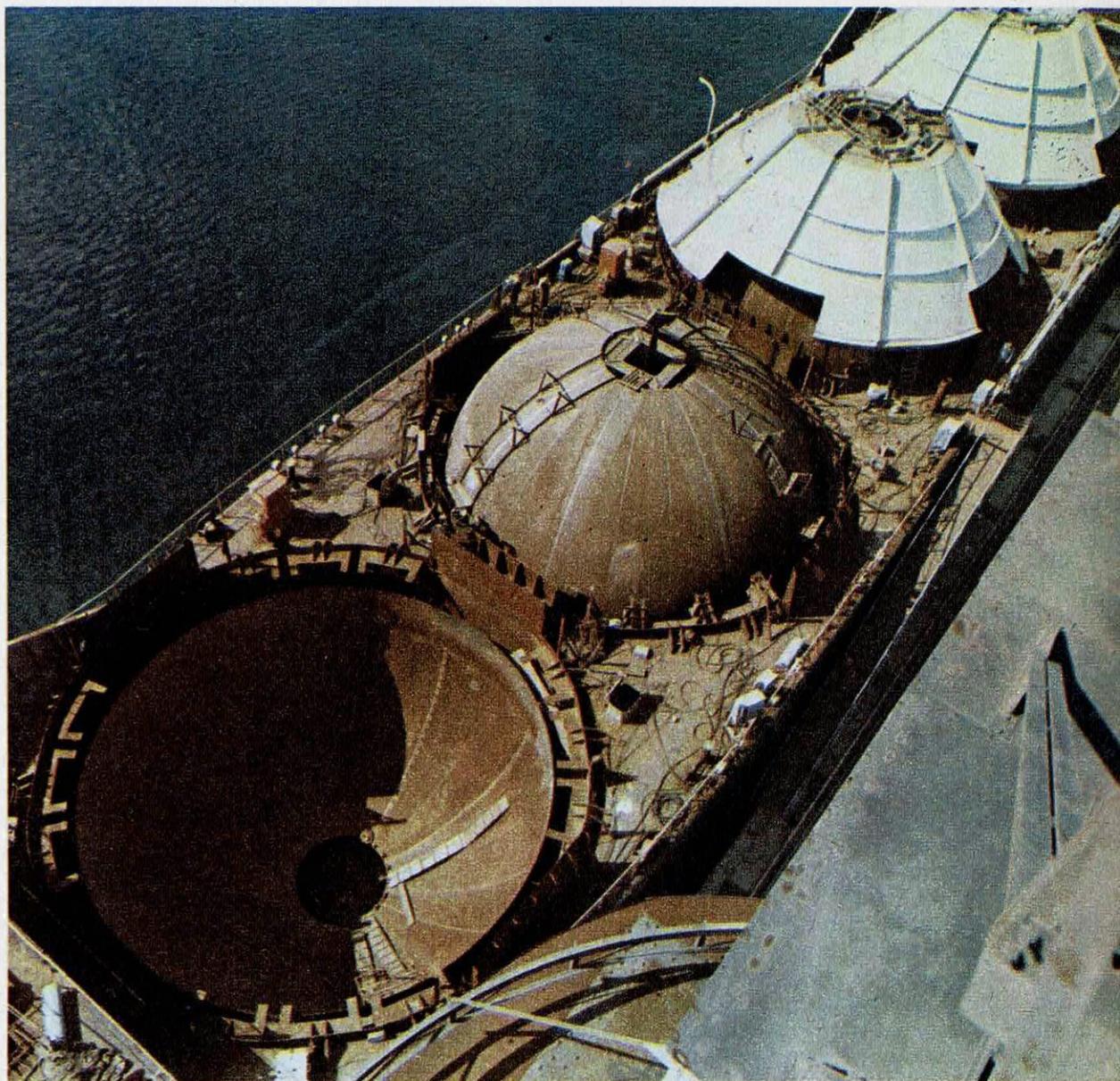
Le premier système, adopté sur le *Callaghan*, est complexe et fragile. L'hélice à pales orientables, dont l'*Euroliner* est doté, est une solution intéressante, permettant de disposer en marche arrière d'une puissance presque égale à celle disponible en marche avant. Sur le plan mécanique elle est tout de même compliquée et n'a pas encore été utilisée pour les puissances très importantes.

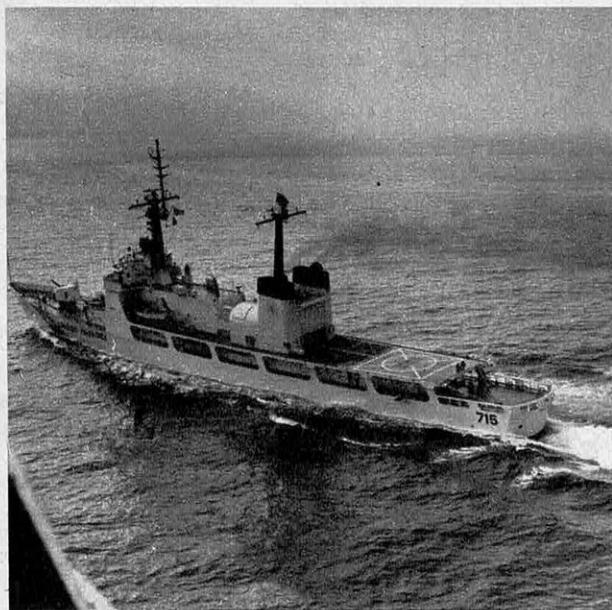
On étudie aussi le moyen de rendre la turbine de puissance réversible. L'idée est d'utiliser des aubages doubles et des déflecteurs pour diriger les gaz sur l'aubage « marche avant » ou sur l'aubage « marche arrière... »

TRANSPORTEURS DE GAZ

La technique des cuves auto-porteuses (la paroi des cuves assure simultanément isolement thermique et résistance mécanique) n'est sans doute pas la plus évoluée pour la construction de transporteurs de gaz. Elle a cependant donné lieu à des réalisations de fort tonnage, telle le Jules Verne, ci-contre, de capacité 25 000 m³. Ses cuves cylindriques sont en acier à 9 % de nickel. Une variante de la même technique est représentée par les navires à cuves sphériques, dits à boules. Elle a été utilisée par exemple pour l'Euclide (page de droite), de 4 000 m³.







Les avisos de grande croisière type Hamilton de l'U.S. Coast Guard sont à propulsion mixte : deux diesels douze-cylindres de 3 500 ch et deux turbines à gaz Pratt & Whitney FT-4 A de 14 000 ch.

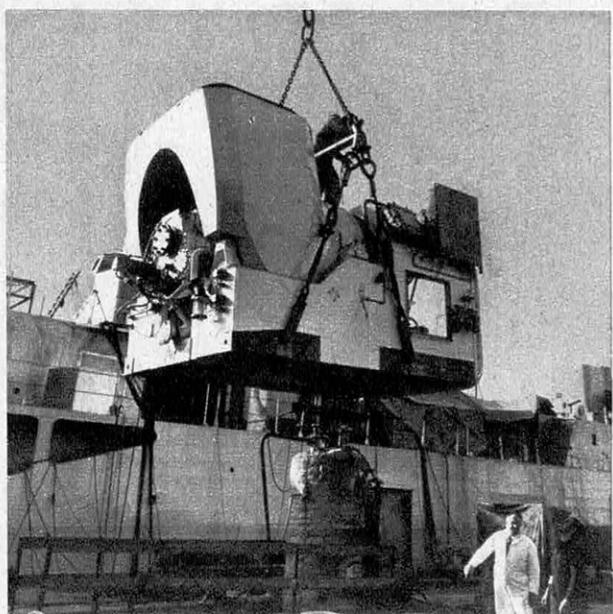
tallation annexe fait malheureusement perdre à la turbine à gaz une partie de ses avantages de simplicité. D'ailleurs, dans ce procédé, l'extraction du vanadium n'est pas automatisée et requiert une surveillance délicate. Au total et en dépit de son prix d'installation plus faible, la turbine à gaz se trouve pénalisée par sa consommation spécifique relativement élevée et par le prix du combustible. Pour la propulsion des méthaniers, toutefois, elle paraît offrir un net avantage. Au lieu d'être évacué dans l'atmosphère, le méthane gazeux produit par l'évaporation d'une partie du gaz liquéfié des cuves est, dès à présent, récupéré et brûlé à bord dans les chaudières ou les diesels. Parfaitement propre du point de vue combustion, le méthane serait tout à fait indiqué pour la turbine à gaz. Aucun méthanier n'en a encore été équipé, mais il est probable que les choses vont changer. Dans ce cas le combustible de démarrage et d'appoint peut être un fuel distillé, car il n'interviendra que pour 20 à 30 % de la consommation totale.

Un problème général de la turbine à gaz est son extrême sensibilité à la température ambiante. Dans le cas du FT4 Pratt et Whitney, la puissance disponible sur l'arbre de sortie passe, pour une température avant turbine constante (cette température, rappelons-le, ne doit pas dépasser une valeur limite dont dépend la tenue des aubages chauds) de 29 000 ch pour une température d'air à l'entrée du compresseur de 0°, à 20 000 ch à 43°. Une telle variation de température peut très bien être enregistrée au cours d'un voyage Europe du Nord-Australie... La turbine à gaz est très sensible aussi aux pertes de charge

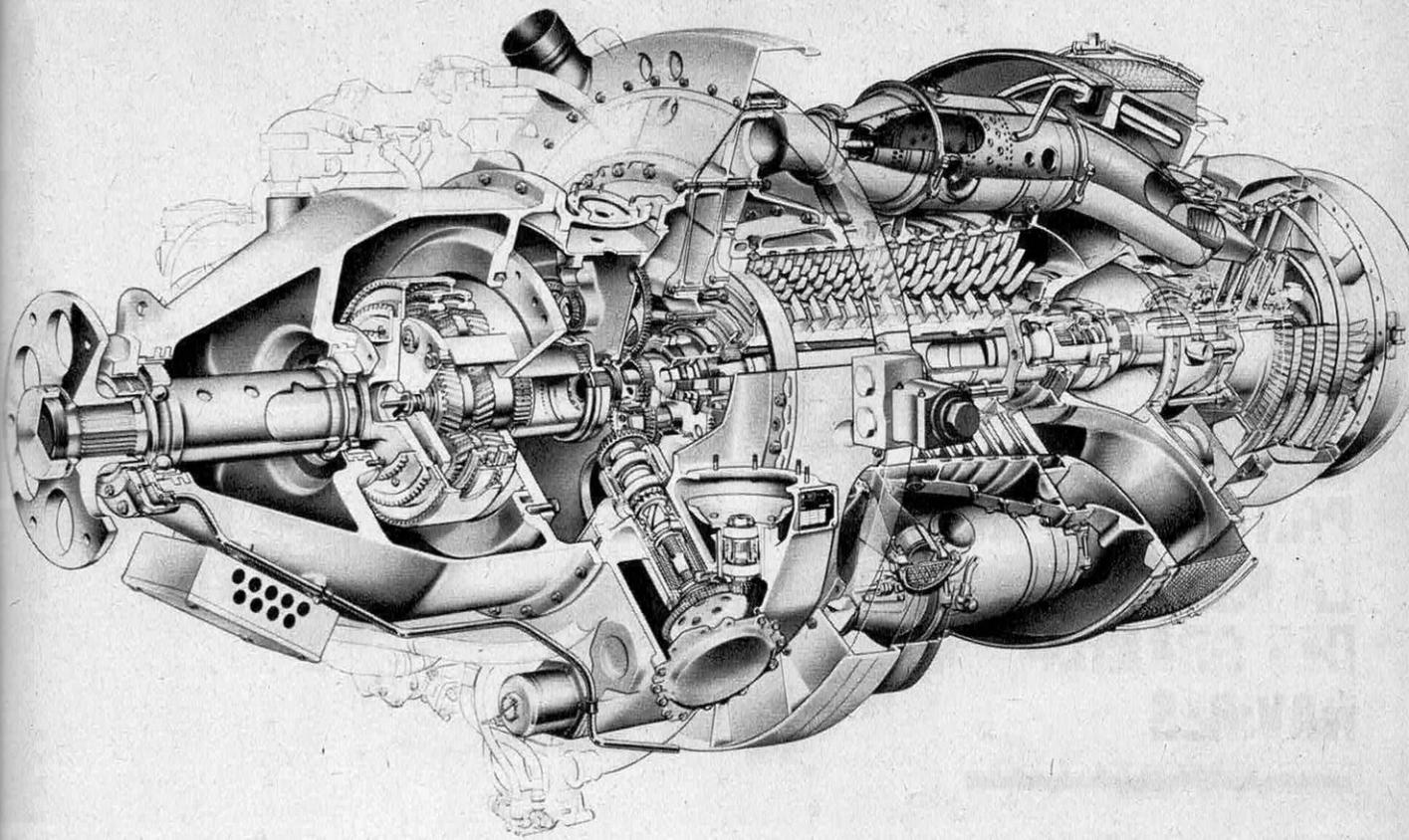
des gaines d'admission au compresseur et d'évacuation des gaz brûlés. Une turbine de 30 000 ch consomme environ 350 tonnes d'air à l'heure, soit près de 80 m³/seconde. Pour réduire les pertes de charge, la section des gaines doit être très grande et leur dessin revêt une importance capitale. C'est une contrainte pour l'architecte naval. Isolation phonique et thermique pour les gaines d'échappement, isolation phonique pour l'admission doivent être généreuses. L'aspiration doit en plus être équipée d'un séparateur de gouttelettes pour éviter l'ingestion d'eau de mer.

LES PROGRES DE LA PROPULSION VAPEUR

L'application de turbines à gaz à la propulsion des navires ne doit pas faire oublier les progrès énormes réalisés sur les appareils propulsifs traditionnels, vapeur et diesel. Les parts respectives des deux modes de propulsion sont à l'heure actuelle, à l'échelle mondiale, de 35 et 65 %. En matière de propulsion vapeur, à part quelques navires anciens ou unités récentes réservées aux eaux intérieures, la turbine est devenue le moyen de transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique d'emploi universel. L'évolution de la propulsion vapeur au cours des vingt ou vingt-cinq dernières années est significative. La consommation spécifique est, par exemple, passée de 300 g/ch/heure à moins de 180 g. Cette réduction de consommation résulte surtout des particularités de la machine en matière de conditions vapeur.



Tête de série des escorteurs ASM type 21 de la Royal Navy, l'Amazon est équipé de turbines à gaz Olympus et Tyne. On assiste ici à l'installation à bord d'un Olympus de 25 000 ch.



Depuis près de quinze ans, la turbine Rolls-Royce Proteus est en service en différentes versions à bord de navires de combat, d'hydroptères et

d'engins à coussin d'air (tel le SRN-4 en service dans le Pas-de-Calais). La puissance développée en continu est de l'ordre de 3 500 ch.

Vers 1945-50, les chaudières à 60 bars n'existaient guère que dans les flottes militaires. Dans la marine marchande, on ne dépassait pas 35 bars et 350° de surchauffe. En 1971, la norme était de 65 bars et plus de 500° pour les installations classiques, la pression atteignant 86 bars pour les installations à **resur-chauffe**. Ces relèvements conduisent à des rendements de chaudière dépassant parfois 90 %.

A la fin de la seconde guerre mondiale, une bonne partie de la flotte chauffait encore au charbon. Les combustibles liquides l'ont, depuis, à peu près complètement emporté. Les brûleurs autorisent des combustions dans un très faible excès d'air, 2 à 5 %, d'où une nette amélioration du rendement chaudières. Dans les installations simples, l'amélioration des condenseurs et des aubages de turbine, ont, en particulier, non seulement conduit à des conditions vapeur et à un rendement chaudière améliorés, mais à une consommation spécifique de l'ordre de 200 g/ch/heure. La resurchauffe, apparue il y a trois ans seulement, s'est rapidement développée et tous les constructeurs ont maintenant en catalogue des groupes de consommation spécifique 180-190 g/ch/h, la température restant fixée à 510°. Dans les applications marines, un problème délicat posé par la resurchauffe est ce-

lui des manœuvres. Pendant celles-ci, la vapeur est admise dans une turbine de marche arrière sans dispositif de resurchauffe. Le maintien en fonction du faisceau de resurchauffe exige alors des artifices, du genre circulation artificielle.

L'évolution de la propulsion vapeur vers de plus hautes performances semble actuellement marquer un palier. Un accroissement de rendement ne pourrait être obtenu qu'en agissant sur les conditions vapeur. On se heurte alors à des problèmes de corrosion et d'encrassement.

Il reste que les installations vapeur occupent une position favorable tant pour les navires porte-containers dont les vitesses atteignent 30 noeuds que pour les pétroliers dont la taille continue d'augmenter. Avec une seule ligne d'arbres, on atteint déjà 50 000 ch et on envisage même des puissances de 120 000 ch. Ces puissances sont, à l'heure actuelle, hors du domaine de la turbine à gaz, à moins de multiplier les lignes d'arbres, c'est-à-dire d'annuler les avantages de coût initial d'installation.

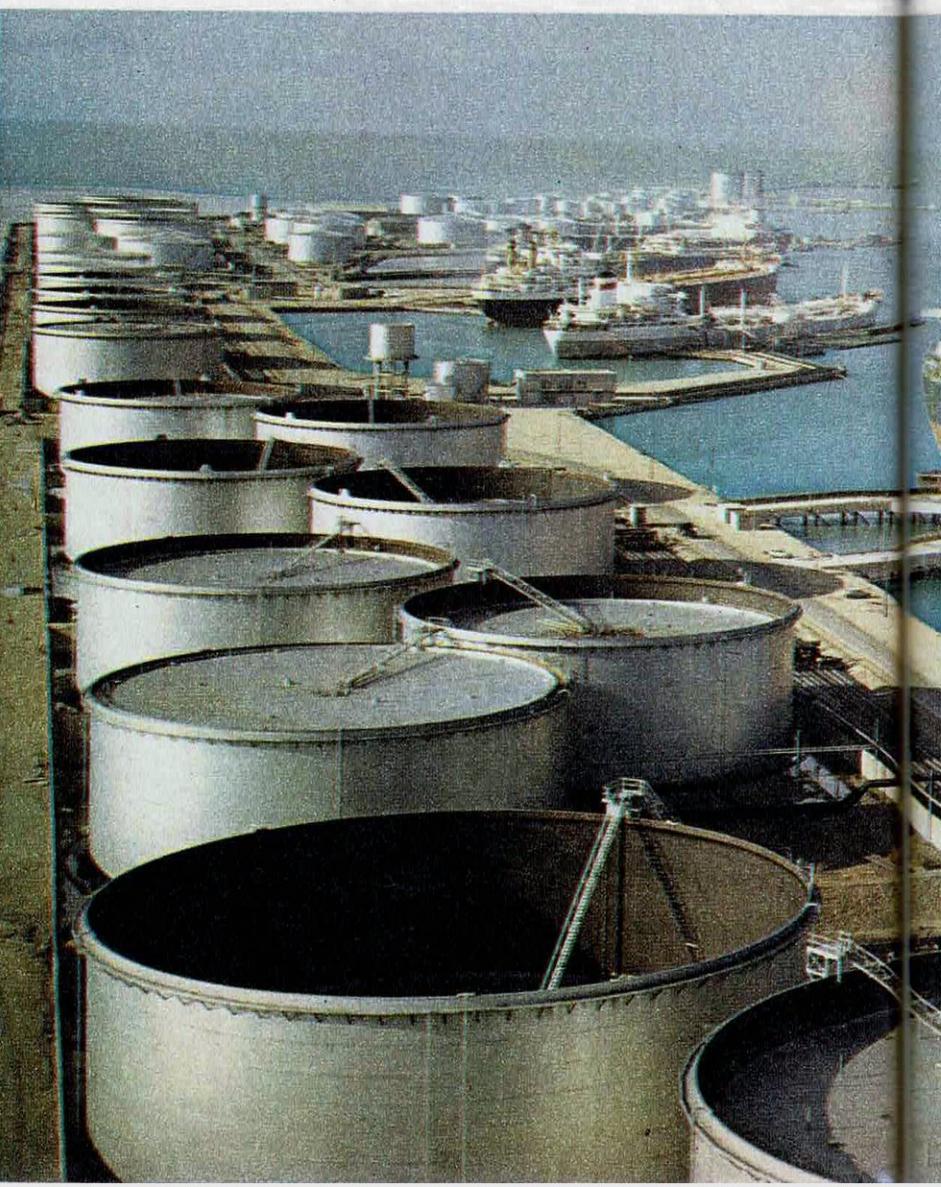
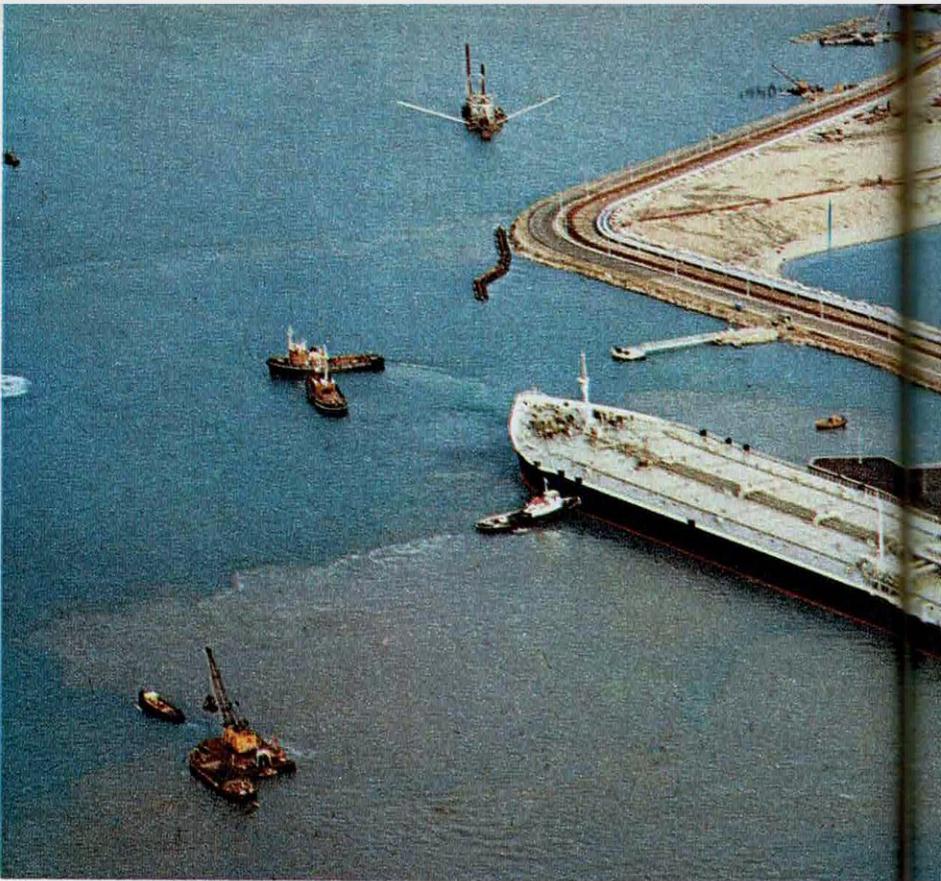
LES DIESELS

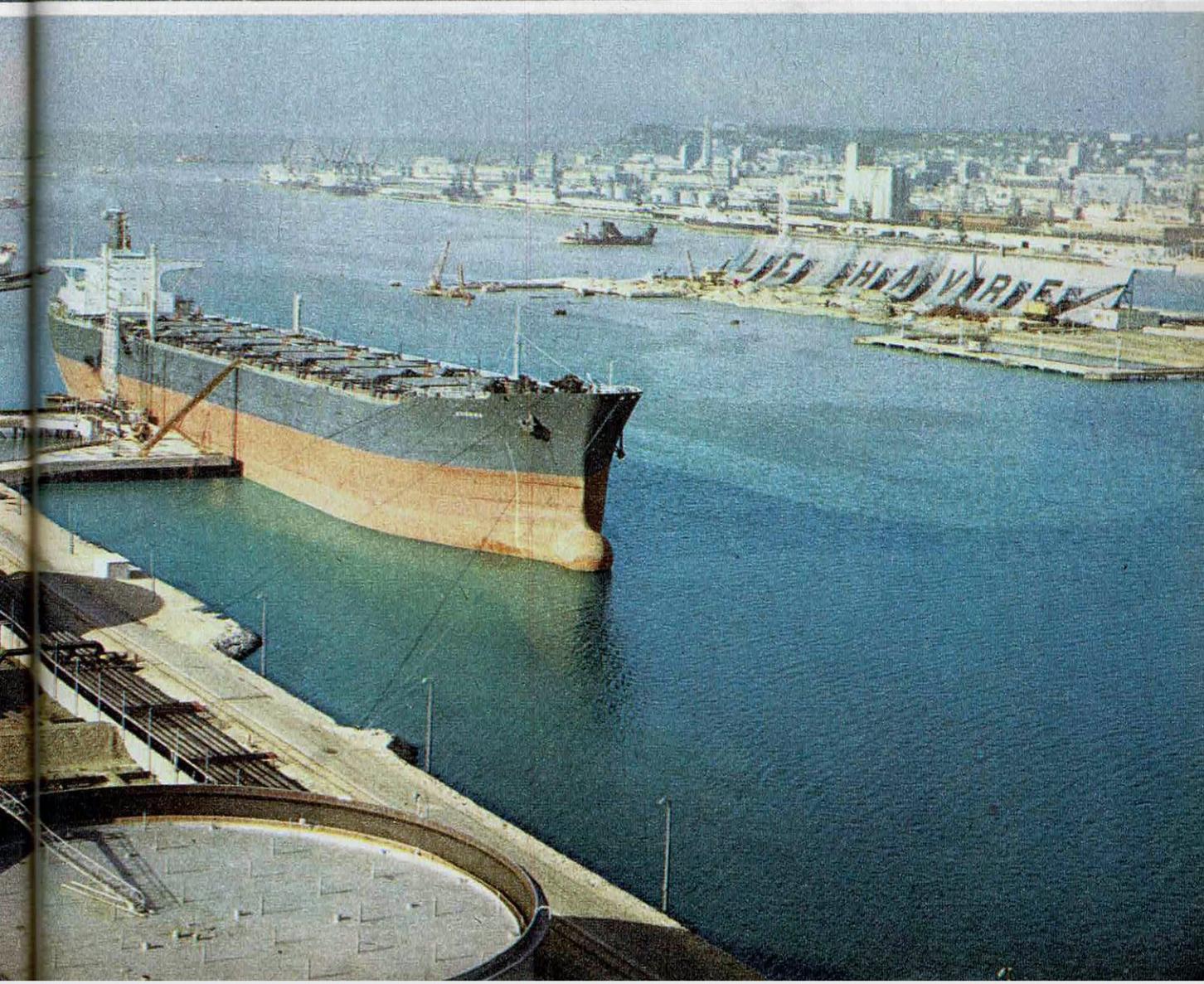
Les moteurs diesels de propulsion marine équipent, disons-nous, 65 % du tonnage mon-

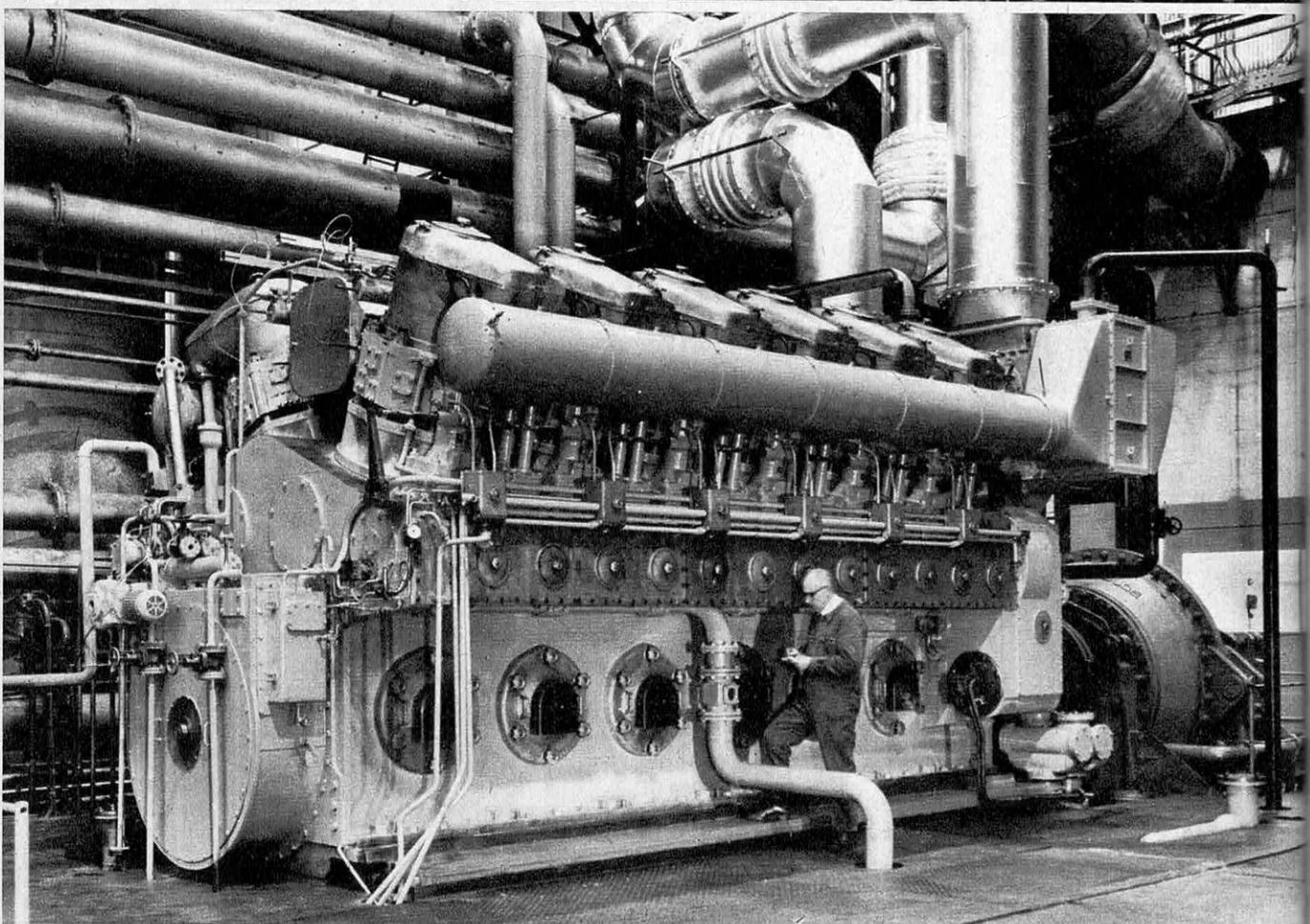
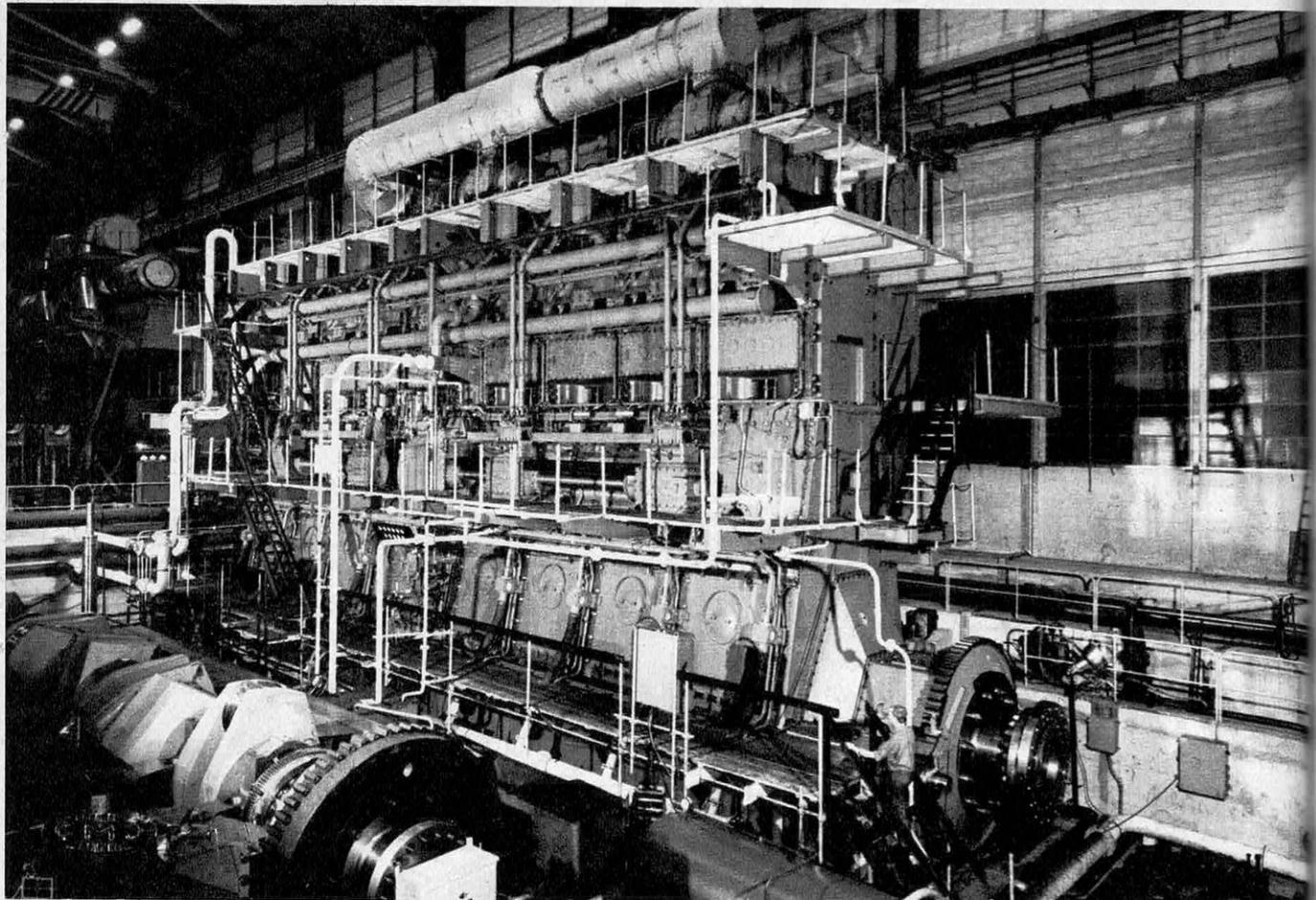
DES INSTALLATIONS PORTUAIRES A LA MESURE DES GRANDS NAVIRES

Les postes pour pétroliers installés le long d'une digue construite en avancée dans le golfe de Fos peuvent accueillir des unités de 250 à 300 000 t. De port en lourd un peu plus modeste (213 000 t) le Magdala en fit l'inauguration (photo en haut de page). Le port pétrolier du Havre (ci-contre) reçoit des 250 000 t. Vers l'extrémité de la jetée sur laquelle il est construit, on aperçoit les installations du port méthanier. La construction d'un port artificiel pour pétroliers de 500 000 t devrait démarrer cette année dans la région.

Photos Alain Perceval







En page de gauche, des représentants de chaque des deux catégories de diesels marins. En haut, un diesel lent de 32 000 ch à huit cylindres, d'alésage 105 cm (4 000 ch par cylindre). Destiné à un minéralier de 160 000 t de port en lourd, c'est le plus gros moteur construit en France à ce jour. L'arbre d'hélice tourne à 108 tr/mn. En bas, un diesel semi-rapide SEMT-Pielstick à douze cylindres en V. Ce type de moteur développe près de 1 000 ch par cylindre. Les premières commandes ont été enregistrées en 1970. Dans la construction navale mondiale, la puissance diesels semi-rapides installée s'accroît régulièrement, les diesels lents connaissant un certain palier.

dial. On sait qu'il en existe deux types, les diesels lents (vitesse de rotation de l'arbre 105-115 tr/mn), fonctionnant selon le cycle deux temps, et les diesels semi-rapides (presque exclusivement à quatre temps et de régimes 400-500 tr/mn). Les deux types sont suralimentés par turbosoufflante entraînée par les gaz d'échappement.

En puissance installée, les diesels lents représentent une grosse majorité. Au delà de 2 000 tonnes de port en lourd, ils fournissent plus de 75 % de cette puissance. Ces moteurs bénéficient d'une longue expérience (les premiers sont apparus avant la première guerre mondiale) et ils utilisent le même fuel lourd que les installations vapeur. Leur consommation spécifique est la plus faible de toutes les installations marines, avec 155 g/ch/heure, et leurs systèmes de transmission sont fort simples, le moteur étant directement couplé à l'hélice.

Ces moteurs paraissent toutefois souffrir de handicaps de plus en plus graves dans le domaine des grandes puissances et être parvenus à leurs limites, encore que cette opinion n'engage que notre responsabilité. Un examen de l'évolution enregistrée au cours des 20 ou 25 dernières années permet d'expliquer cette situation. Depuis 1950, l'accroissement de l'alésage et l'élévation de la pression moyenne effective ont été à l'origine des puissances obtenues. On est passé de 740 mm à 1050 mm d'alésage, la pression moyenne effective atteignant aujourd'hui 11 à 12 kg/cm² contre 7 il y a vingt-deux ans. Les surfaces d'échanges n'augmentent pas aussi vite que le volume des cylindres (les surfaces augmentent selon le carré des dimensions, les volumes selon le cube), les contraintes thermiques deviennent de plus en plus préoccupantes. Augmenter le nombre des cylindres, limité à douze en ligne à l'heure actuelle, poserait non seulement des problèmes de contraintes de torsion mais conduirait à un encombrement déjà dénoncé par les architectes navals. Un dix-cylindres de 25 000 ch atteint, il est vrai, 19 m de long...

Dernier inconvénient, sur de très gros navires, pétroliers ou minéraliers, le gros moteur lent tourne... trop vite. Pour ces unités, la vitesse

de rotation optimale est de 80-85 tr/mn ou même moins. Avec un moteur tournant à 110-115 tours, on perd donc largement en rendement propulsif.

Il semble bien que, depuis 1967, on assiste au déclin du moteur lent. La réduction est sensible pour la puissance totale installée.

Au contraire, la puissance « diesels semi-rapides » installée s'accroît régulièrement. Leur apparition réelle en propulsion marine n'est pas antérieure à 1960. Jusqu'à cette époque, les diesels semi-rapides étaient écartés de la propulsion à cause, surtout, de leur inaptitude à consommer du fuel lourd. Au début des années 60, l'apparition du moteur Pielstick, d'origine française, et dont l'architecture est celle d'un moteur d'automobile, allait tout changer. Ce moteur pouvait brûler du fuel lourd sans usure anormale et n'exigeait pas un entretien considérable.

Les premiers diesels semi-rapides « marine », offraient, avec des alésages et courses de l'ordre de 500 mm et un régime de rotation de 400-500 tr/mn, des puissances de 450 ch par cylindre.

La puissance par cylindre atteint aujourd'hui 1 100 ch, les constructeurs proposant des moteurs à 18 cylindres en V donnant 19 000 ch, soit près de la moitié de ce que donne un gros moteur lent avec un encombrement bien moindre (le poids au cheval est de l'ordre de 10 contre 30 aux diesels lents). Pour les fortes puissances, les diesels semi-rapides se prêtent à des installations à plusieurs unités couplées. Utilisant un réducteur, ils permettent d'obtenir sur l'arbre d'hélice la vitesse de rotation optimale.

Percée de la turbine à gaz, recul du diesel lent, progrès du diesel semi-rapide, maintien de la turbine à vapeur pour les très fortes puissances, toutes ces tendances devraient se confirmer au cours des 10 prochaines années. Encore faut-il ne pas négliger des incidences autres qu'économiques ou techniques. Les problèmes de main-d'œuvre ou les problèmes politiques pourraient bouleverser la situation et faire bénéficier la turbine à gaz, et la propulsion nucléaire, d'une promotion accélérée.

Louis CHAVANET

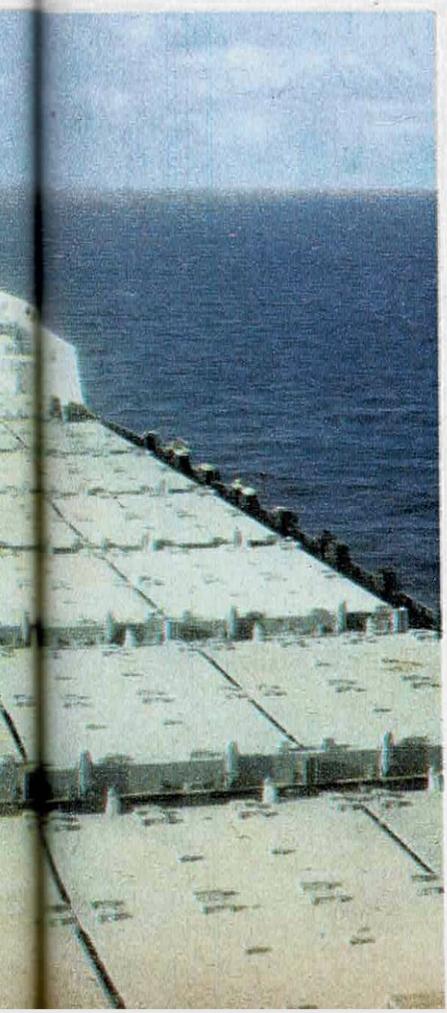
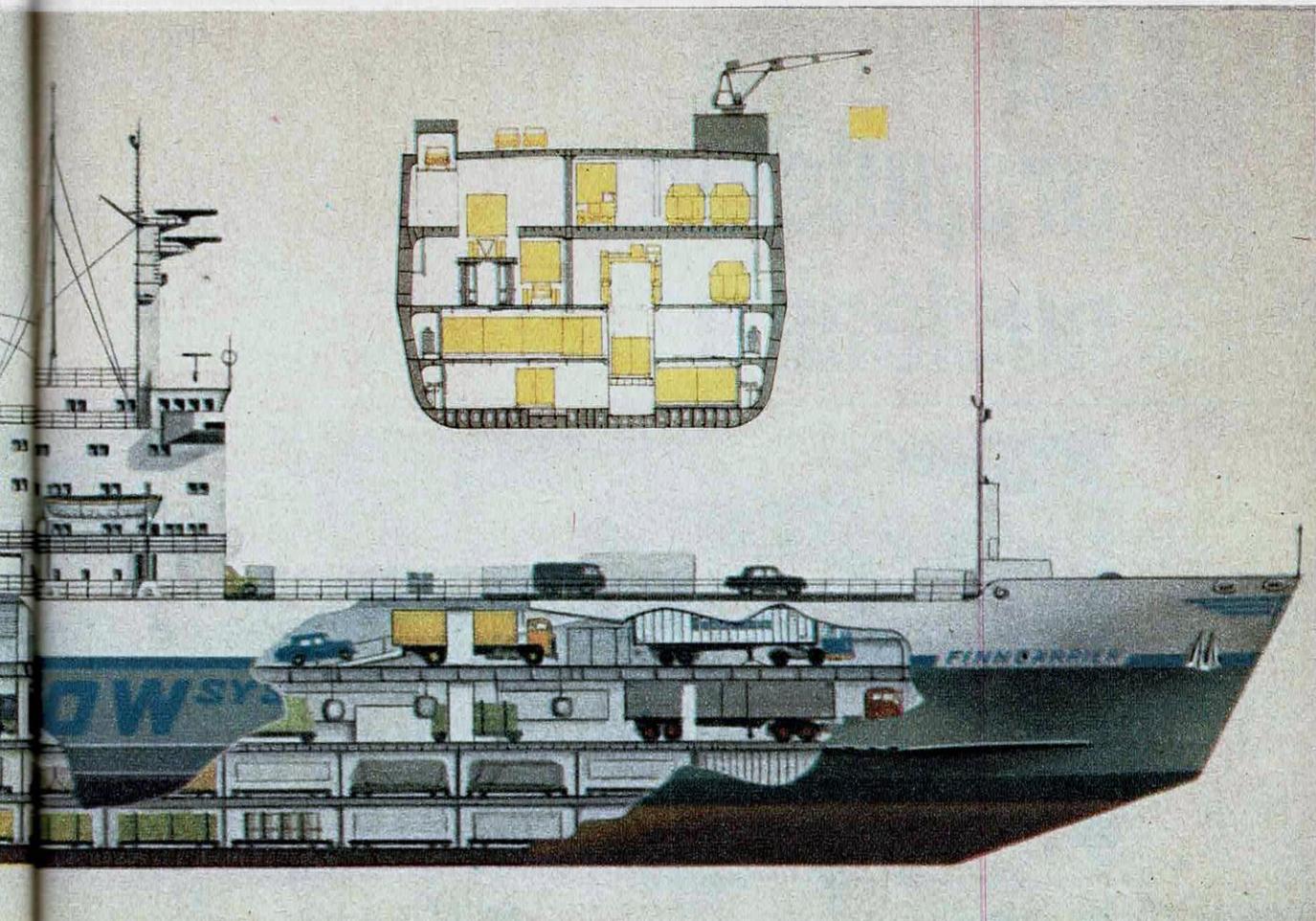
LA REVOLUTION DU FRETT

En haut, un ferry de type roll-on/roll-off, le Finncarrier, en service dans la Baltique sur la liaison Helsinki-Lubeck-Copenhague. Construit à Helsinki au cours des toutes dernières années, le navire présente la particularité de fonctionner en brise-glace. Il offre deux ponts inférieurs à sept pistes pour véhicules routiers. En bas de page, deux aspects du Kangourou, très moderne porte-conteneurs (integral) construit à La Ciotat pour les Messageries Maritimes. Il transporte 1 500 containers de 20 pieds. En page de droite, un des porte-conteneurs mixtes (roll-on/roll-off) mis en service sur l'Atlantique par le groupe ACL.



Skyfotos





La propulsion nucléaire



Le minéralier allemand Otto Hahn est le premier navire de charge européen à propulsion nucléaire. Son réacteur, ci-contre, est de type intégré, avec échangeurs de chaleur à l'intérieur de l'enceinte de sécurité.

En dehors d'applications très spécialisées comme le brise-glace Lénine, construit en U.R.S.S., la propulsion nucléaire des navires de surface a connu quelques déboires, surtout au plan économique. Les premières expériences ont cependant apporté des enseignements non négligeables. Quant à la prospective économique, elle affirme que des porte-containers géants à propulsion nucléaire seraient certainement rentables.



L'utilisation de l'énergie nucléaire pour la propulsion des navires de commerce a été envisagée dès 1955 après le mémorable message envoyé par le **Nautilus**, premier sous-marin atomique américain : « Under way on nuclear power ! »⁽¹⁾. Le président Eisenhower proposait aussitôt la construction d'un navire expérimental utilisant ce mode de propulsion et en 1956 obtenait du Congrès les crédits nécessaires. Il avait basé sa proposition sur deux objectifs :

- Démontrer à tous les peuples du monde l'intérêt que portaient les Etats-Unis aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire.
- Etablir les diverses exigences de la mise en opération d'un navire de commerce doté d'un propulseur nucléaire.

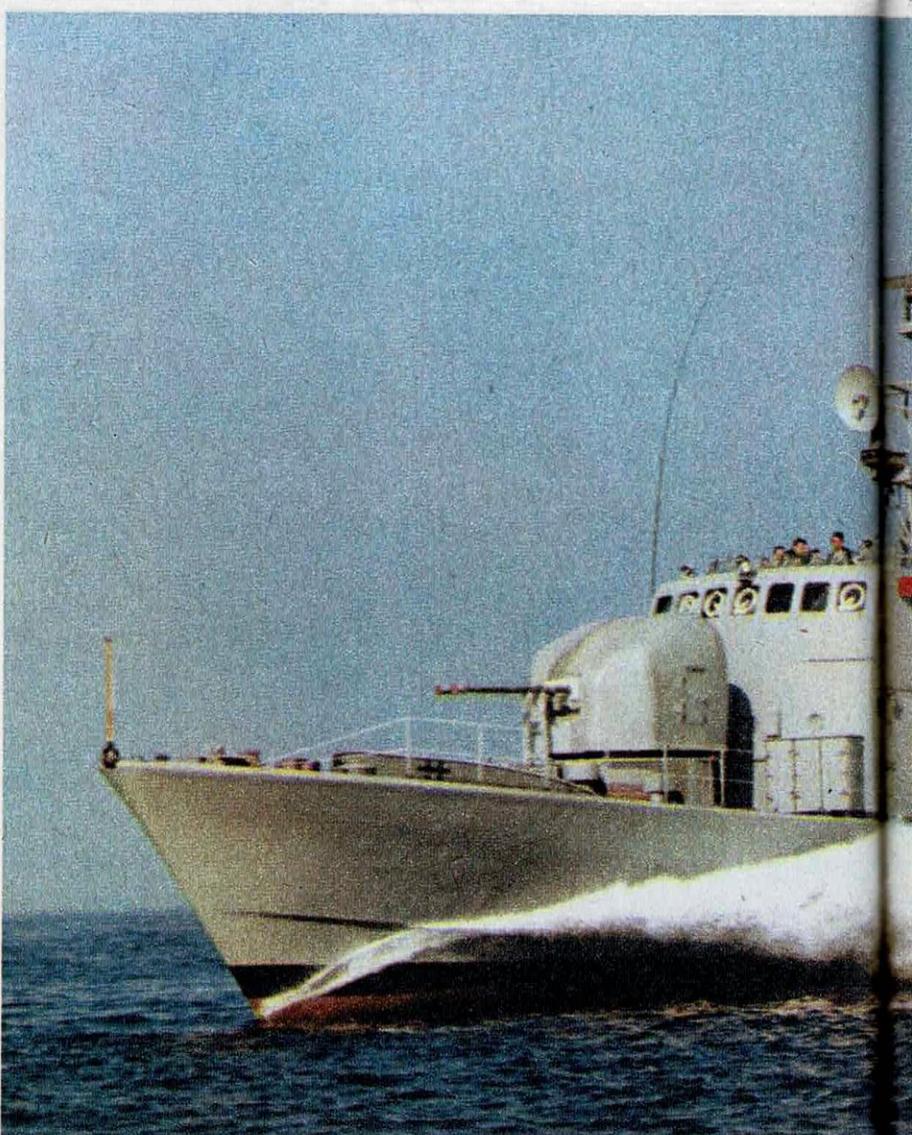
A la même époque, l'Union soviétique, qui avait fait des progrès surprenants dans le domaine atomique, mettait sur cale le brise-glace **Lénine**. Le navire fut lancé en 1957, l'appareil propulsif mis en place, et les essais à la mer commencés un an plus tard. Contrairement à son habitude, le gouvernement soviétique donna une large publicité à l'événement en insistant sur son caractère pacifique. Un mémoire très détaillé fut présenté par les atomistes russes à la Conférence internationale de Genève en 1958.

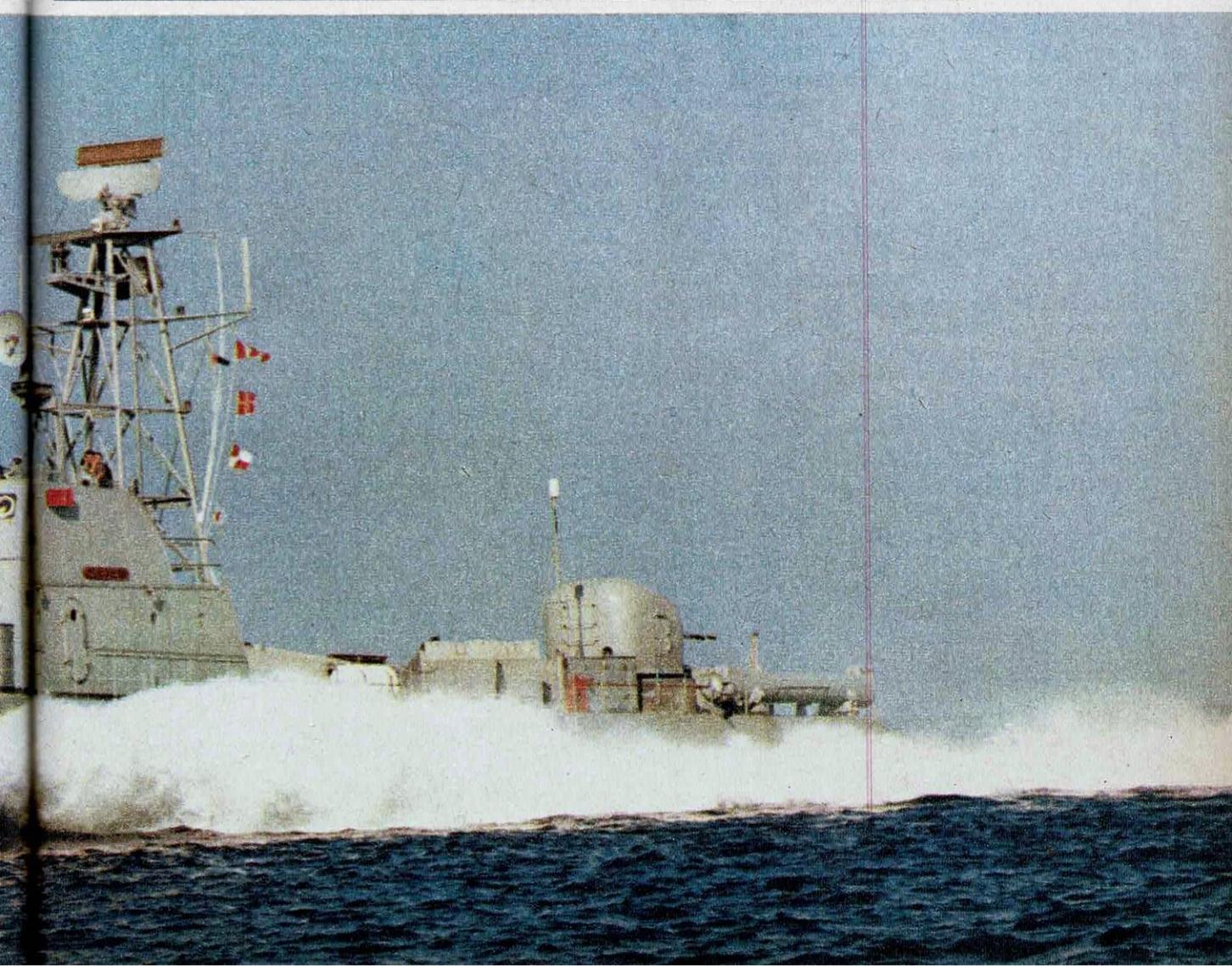
L'intérêt du réacteur nucléaire à bord d'un sous-marin tient au fait que la « chaufferie » ne consommant pas d'oxygène résout le problème du retour en surface périodique qui, avec les progrès des moyens de détection, devient de plus en plus périlleux. Joint à l'accroissement pratiquement illimité du rayon d'action en plongée, l'élimination de ce danger revalorisait à tel point l'arme sous-marine qu'aucune considération de prix n'entrant en ligne de compte. C'est le futur amiral Rickover, alors capitaine de vaisseau, qui avait ouvert la voie avec le **Nautilus** en choisissant un type de réacteur susceptible de fonctionner malgré les mouvements de la plate-forme.

1) En route en propulsion nucléaire.

NAVIRES DE COMBAT D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

Les patrouilleurs rapides de tonnage relativement important, armés de missiles surface-surface, tendent à remplacer les vedettes lance-torpilles. Le modèle le plus connu est sans doute celui construit à Cherbourg par les chantiers de Normandie (photo en bas de page). Pour les mêmes missions, l'US Navy mise plutôt sur l'hydroptère, avec des modèles dérivés du PGH-2 Tucumcari de Boeing (en page de droite). Quant au navire à coussin d'air, tel le N-102 livré à deux exemplaires à la Marine Nationale, il pourrait, pour le moins, s'acquitter de diverses missions de reconnaissance.





Ce réacteur du type PWR (Pressurised Water Reactor) ne diffère de ceux installés à terre que par le degré d'enrichissement en uranium 235 du « cœur » et par la compacité de « l'ensemble primaire » capable de résister aux chocs en cas de grenadage. Il utilise de l'eau sous pression afin d'empêcher son ébullition, ce qui assure la stabilité de la masse liquide quels que soient les mouvements de la plate-forme. Le cœur est placé à la partie inférieure d'une cuve en acier de forme cylindrique surmontée d'une calotte sphérique. Cette cuve est alimentée en eau ordinaire, qui sert à la fois de modérateur et de fluide calorifère. Maintenue sous pression, elle circule dans le cœur où elle s'échauffe aux environs de 278 °C, monte vers la partie supérieure et en sort par des conduits qui l'amènent à un échangeur constitué par des tubes en épingle à cheveux baignant dans l'eau. Au sortir de l'échangeur, l'eau pressurisée refroidie est renvoyée dans la cuve, l'eau contenue dans le réservoir de l'échangeur étant vaporisée au contact de la chaleur dégagée. La vapeur sèche et pure ainsi obtenue alimente le « circuit secondaire » qui aboutit aux turbines du propulseur.

La réaction en chaîne est contrôlée par des barres verticales mobiles, en alliage de zirconium, passant par des gaines étanches à la partie supérieure de la cuve. Ces barres, qui ont pour fonction d'absorber l'excès de neutrons issus de la fission, ralentissent la production de chaleur au fur et à mesure qu'on les introduit dans le cœur.

Bien que les circuits primaire et secondaire soient isolés l'un de l'autre, des précautions doivent être prises pour purifier l'eau pressurisée du circuit primaire avant son arrivée à l'échangeur. Divers dispositifs de sécurité garantissent le fonctionnement régulier du circuit primaire et réduisent les risques d'échauffement et de rayonnement extérieur.

La complexité de ces instruments, et l'impossibilité d'intervenir à l'intérieur de la cuve une fois que la réaction en chaîne est amorcée, entraînent de nombreuses sujétions.

DU LENINE AU SAVANNAH

Les savants russes ont choisi pour le **Lénine** un type de réacteur analogue, en réduisant à 5 % le degré d'enrichissement du cœur. Les dimensions du brise-glace (18 000 t de déplacement, 134 m de long, 26 m de large) ont

permis de consacrer un vaste espace aux appareils de propulsion. La chaufferie nucléaire est constituée par trois réacteurs dont deux alimentent des ensembles turboélectriques entraînant trois hélices, le troisième réacteur demeurant en réserve. La vitesse obtenue est de 18 noeuds et le rayon d'action pratiquement illimité. La configuration générale de la coque est une extrapolation de celles des brise-glaces de 6 000 à 8 000 t précédemment construits en U.R.S.S.

On peut souligner la remarquable efficacité de ce navire, mis à l'épreuve au cours de six campagnes dans l'océan Arctique, entre 1958 et 1966, date à laquelle le **Lénine** est entré en cale sèche pour modifications.

Malgré leur avance technique, les U.S.A. ont mis quelque temps à réaliser leur bâtiment de surface à propulsion nucléaire. Après la déclaration du président Eisenhower en 1955 et l'octroi des crédits nécessaires par le Congrès, un cargo mixte expérimental, le **Savannah**, fut mis sur cale en 1958 et lancé en juillet 1959.

La firme Babcock and Wilcox, qui avait réalisé les cuves des sous-marins de l'US Navy, fut chargée de la même construction pour le **Savannah**. Elle avait jusqu'alors travaillé en association avec la Westinghouse à laquelle l'amiral Rickover avait confié la construction de la machinerie et des appareils intérieurs à la cuve. Il semble que cette société ait reçu des consignes très strictes au sujet de certains aspects de la fabrication, car elle n'apporta qu'une collaboration réticente au maître d'œuvre du **Savannah**. Rickover était, en effet, opposé à la dissémination de la technique nucléaire et son autorité telle qu'il était difficile de passer outre.

Quoi qu'il en soit, le réacteur fit ses premiers essais à terre en décembre 1961 et fut installé à bord en mai 1962. Une première série d'essais à la mer commença quelques mois plus tard. Après quelques réparations et mises au point, le bateau appareilla pour son port d'attache officiel de Savannah (Géorgie) où il prit ses premiers passagers et un fret symbolique à destination de Norfolk. Il en repartit le 13 septembre 1962 pour une croisière d'endurance. Traversant le golfe du Mexique, il franchit le canal de Panama, fit escale à Honolulu et dans plusieurs ports de la côte Ouest.

C'est alors que les ennuis commencèrent : fissures dans les conduites d'eau sous pression ;

fuites aux passages des câbles électriques dans l'enceinte ; fuites d'huile dans le circuit de commande hydraulique des barres de contrôle. Cette dernière avarie, très grave en raison du danger d'incendie, nécessita la mise en atmosphère d'azote de l'enceinte du réacteur. A tous ces incidents propres au réacteur étaient venues s'ajouter diverses pannes dans les installations du bord. Pour comble de malheur, un incident survint au cours d'une traversée à laquelle étaient conviées des personnalités de marque : l'axe du stabilisateur de roulis s'étant bloqué en position extrême, un violent coup de roulis fit déborder la piscine du bord, arrosant copieusement les invités qui eurent grand peine à regagner leurs cabines en raison de la forte gêne prise par le bâtiment.

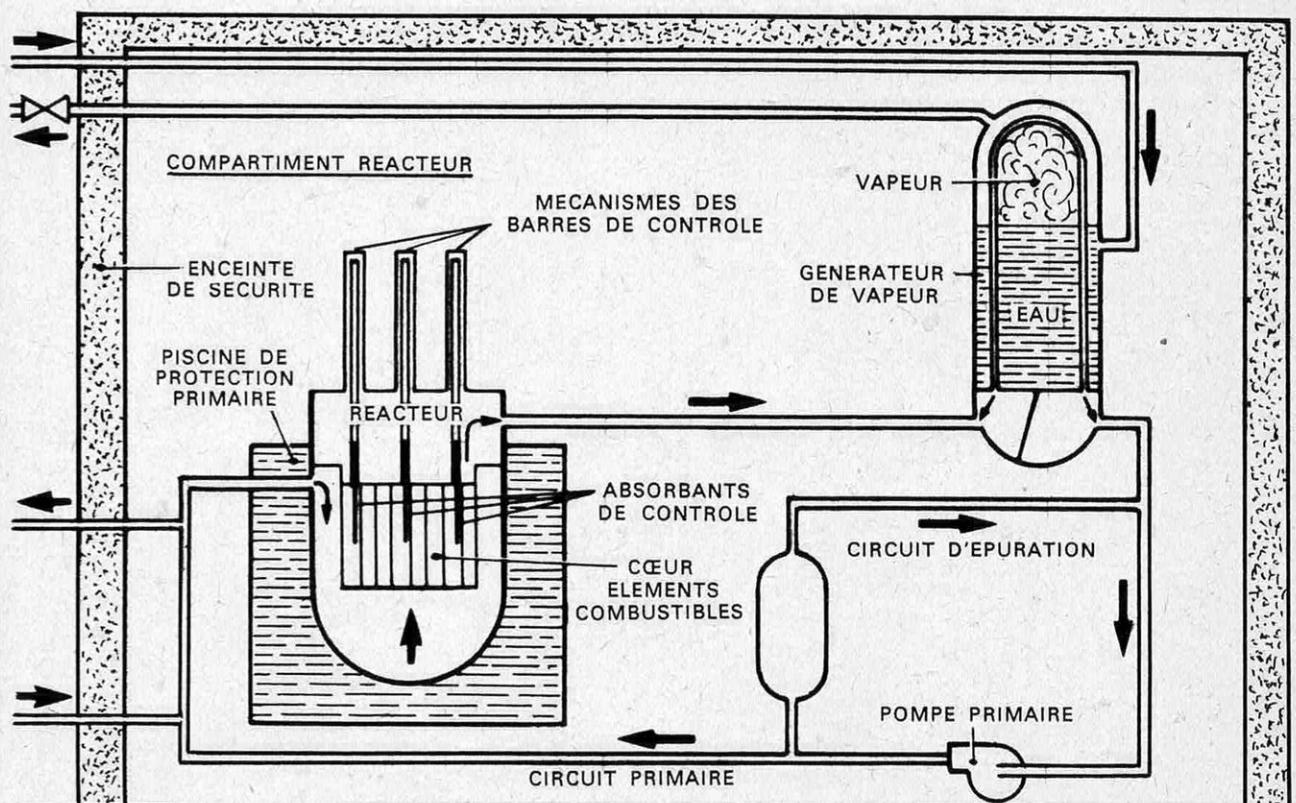
Tout cela n'aurait pas été bien grave sur un navire ordinaire, mais comme il s'agissait d'un navire « atomique », considéré à priori comme suspect, l'affaire prit les proportions d'un cyclone. Une fois arrivés au port de Galveston où des installations spéciales avaient été aménagées pour les réparations,

les vingt-neuf spécialistes de la propulsion nucléaire réclamèrent une augmentation de salaire qui allait les placer à un échelon supérieur à celui des officiers de pont. L'administration maritime opposa un refus formel. L'intervention intempestive de la presse aggrava le conflit. Les ingénieurs, qui avaient mis sac à terre, déclarèrent aux journalistes que « tout était raté sur le **Savannah**, depuis le réacteur jusqu'au téléphone » et qualifièrent le bateau de « mécanique monstrueuse ».

La croisière en Europe sur laquelle la Maison Blanche avait fondé tant d'espoirs dut être retardée d'un an, l'immobilisation du **Savannah** à Galveston coûtant au gouvernement fédéral 30 000 dollars par mois. Cette somme, ajoutée aux 80 millions de dollars dépensés pour la construction, provoqua au Congrès des réactions violentes.

Le Président eût raison de ces protestations. Le 8 juin 1964, le **Savannah** reprit la mer avec une nouvelle équipe et traversa l'Atlantique pour visiter les rares ports étrangers qui avaient accepté de l'accueillir. Après avoir fait escale en Allemagne fédérale, en France

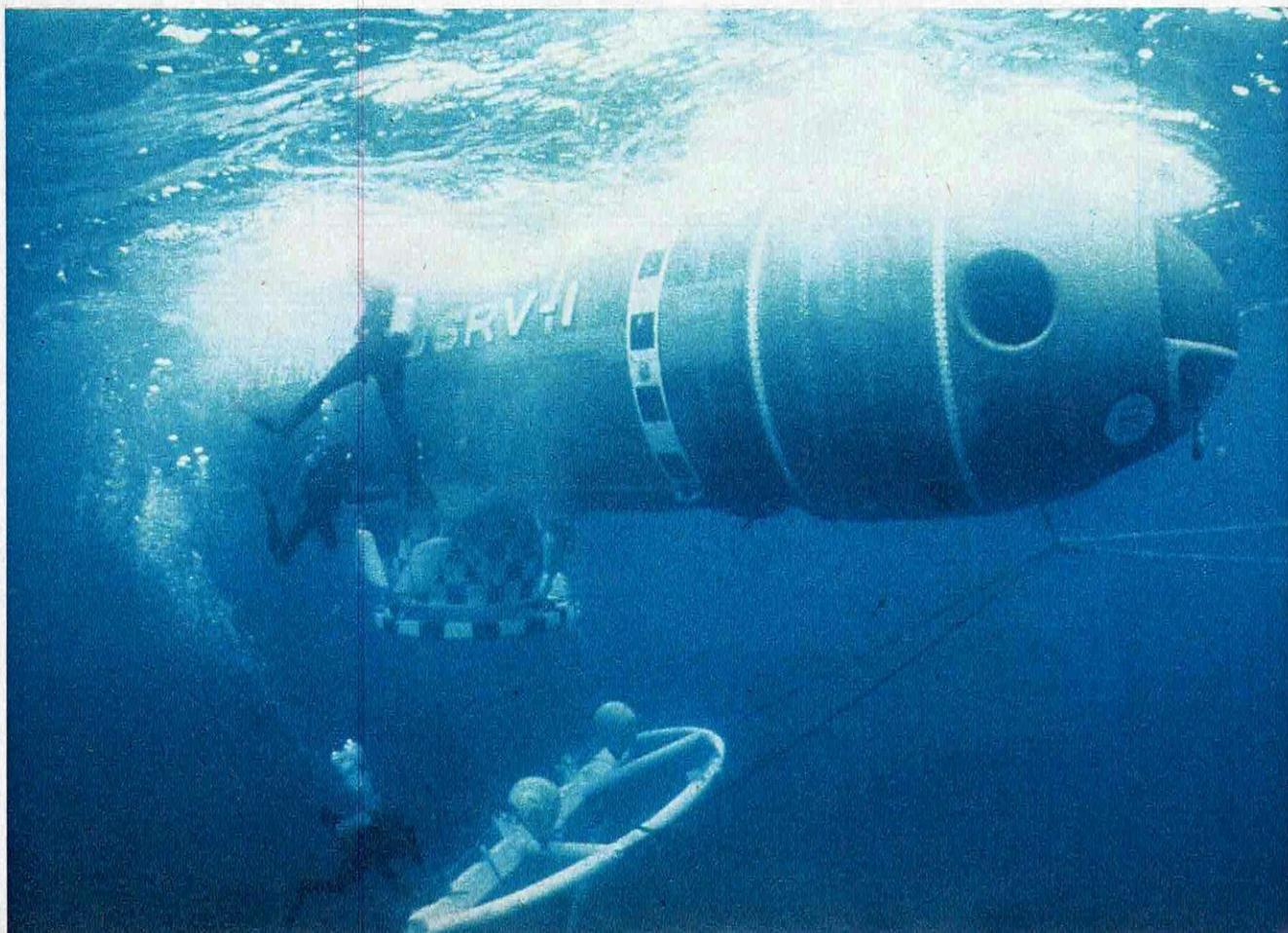
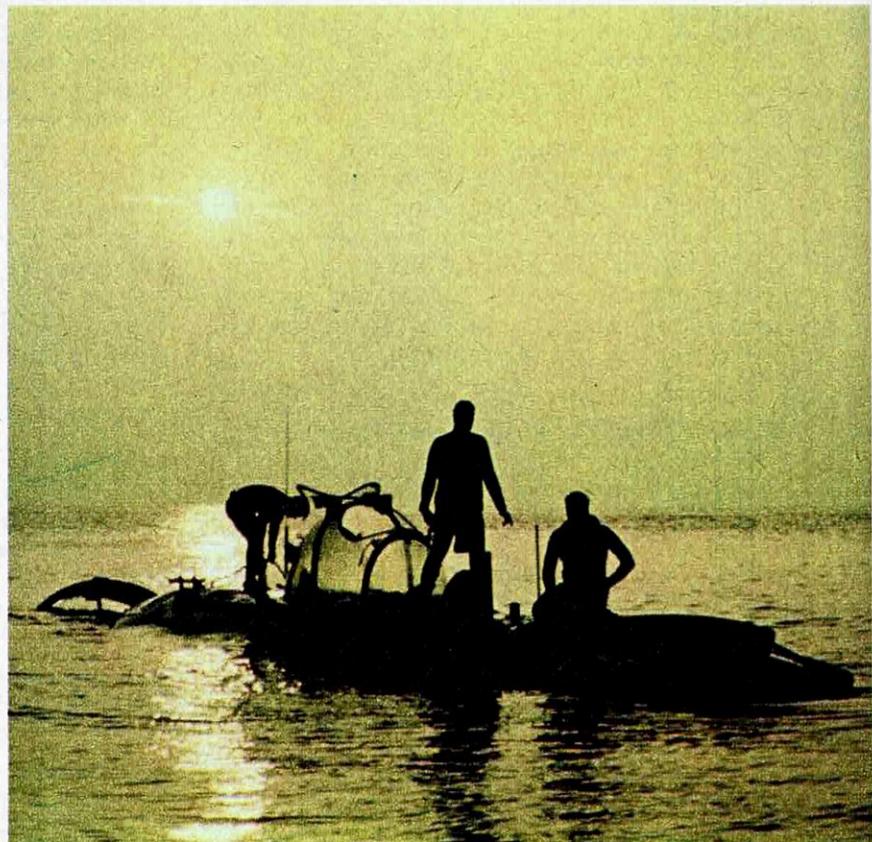
suite page 92



Un schéma très simplifié de réacteur nucléaire pour propulsion marine. Encore n'a-t-on pas fait figurer le système de pressurisation de la vapeur du circuit « primaire » recueillant la chaleur produite dans le cœur. Dans ce dernier, la réaction en chaîne est contrôlée par des barres verticales en alliage de zirconium absorbant l'excès de neutrons. Le positionnement des barres verticales est réglé en fonction de la puissance désirée.

DES ENGINS SOUS-MARINS LOURDS ET COUTEUX

Construits l'un et l'autre par Lockheed, le DSRV et la Deep Quest sont des engins lourds, très coûteux et délicats à mettre en œuvre. Les documents de cette page se rapportent aux essais à la mer du DSRV n° 2. Les DSRV sont destinés au sauvetage des équipages de sous-marins bloqués au fond. En page de droite, la Deep Quest se prépare à plonger. A l'arrière plan, le navire de soutien à radier immergéeable pour mise à l'eau et récupération.





et en Angleterre, le **Savannah** regagna Galveston. Il semble que pendant cette croisière le réacteur ait correctement fonctionné, mais le coût élevé des réparations et modifications conduisit le gouvernement des Etats-Unis à décider sa mise en cocon.

Entretemps, la marine marchande américaine avait fait une étude de rentabilité comparée entre propulsion nucléaire et propulsion classique. Les conclusions étaient les suivantes : dans l'état actuel de la technique, la propulsion nucléaire devenait compétitive pour des navires de forte charge effectuant un trajet de longue durée à une vitesse d'au moins 20 nœuds ; les progrès techniques réalisés depuis le **Savannah** permettaient de réduire le poids et l'encombrement des futurs réacteurs d'environ deux tiers, et la consommation du combustible dans une proportion analogue.

A l'appui de ce document, Babcock and Wilcox présenta un projet de réacteur « intégré » (Consolidated Nuclear Steam Generator) qui différait du précédent en ce que les échangeurs de chaleur et les pompes de circulation étaient incorporés dans la cuve pressurisée, ce qui éliminait les conduites d'eau sous pression jusqu'alors placées dans l'enceinte secondaire et favorisait la circulation naturelle de l'eau du circuit primaire, assurant ainsi le refroidissement du cœur à l'arrêt.

Le gouvernement des Etats-Unis jugea cependant inutile de présenter au Congrès une nouvelle demande de crédits juste après l'échec relatif du programme **Savannah**. L'amiral Rickover, toujours opposé à la dissémination, estima que les progrès accomplis par les propulseurs nucléaires des bâtiments de guerre étaient suffisants pour éviter les frais de construction d'un nouveau réacteur expérimental. La marine marchande, d'accord avec la Commission de l'énergie atomique, accepta de surseoir à de nouvelles expériences en attendant que les études de rentabilité aient été poussées plus avant. Cette attente a été si longue que le majestueux **Savannah**, aujourd'hui démodé, vient d'être ramené à son port d'attache où le public sera admis à le visiter.

NAISSANCE DE L'OTTO HAHN

L'expérience du **Savannah** eut le mérite d'intéresser différents pays, dans le cadre de

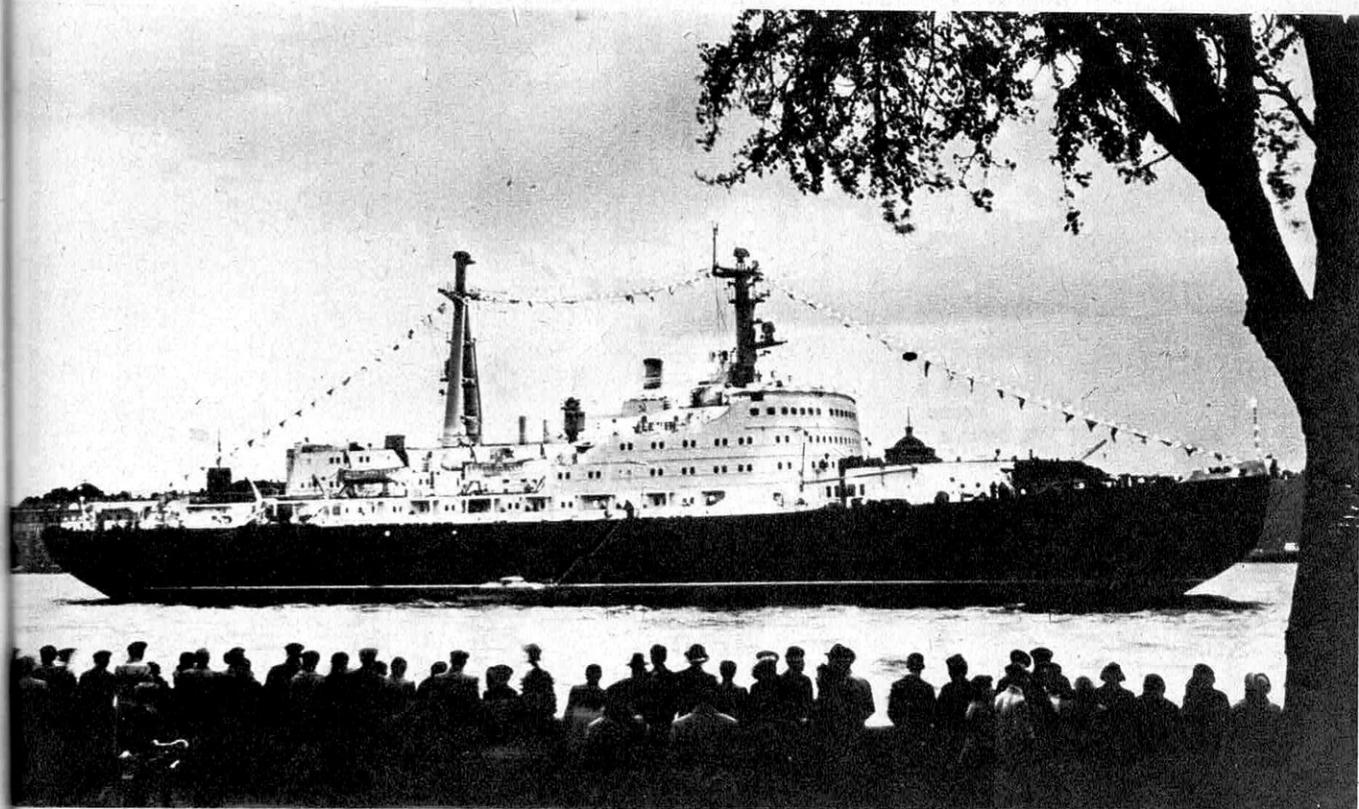
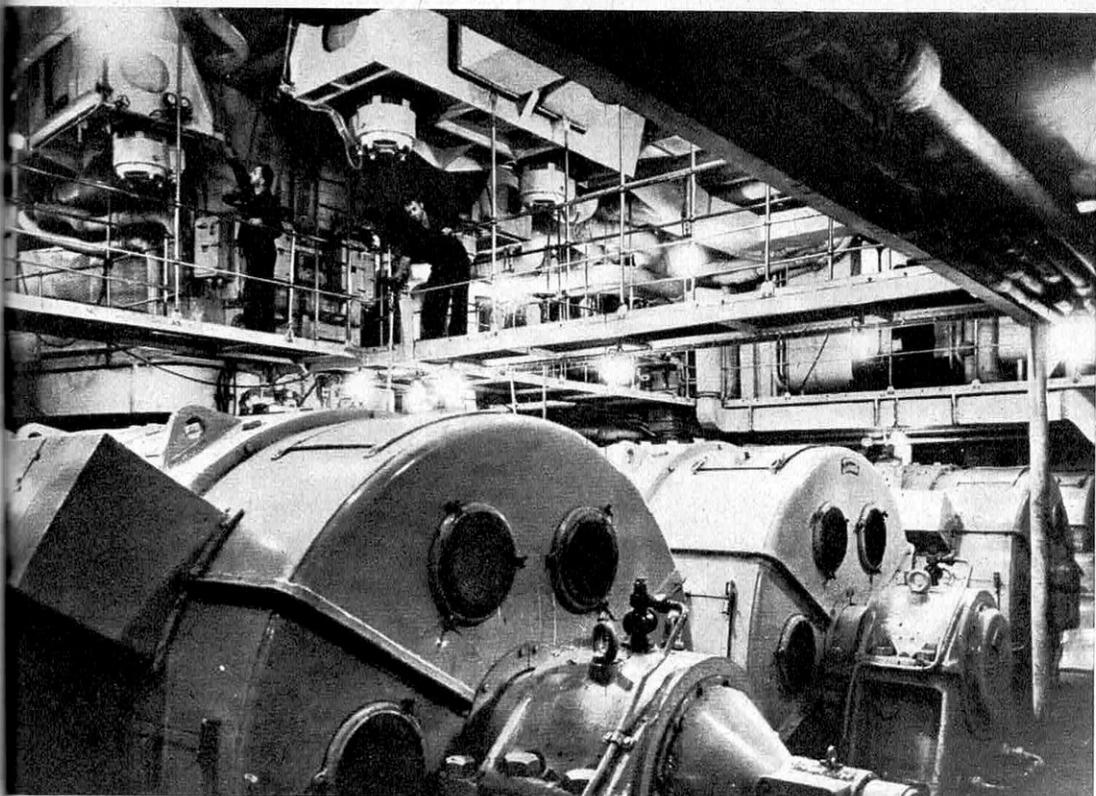
l'Euratom. La France et la Grande-Bretagne, qui avaient en chantier des sous-marins à propulsion nucléaire, se contentèrent d'étudier les problèmes de rentabilité, mais il n'en fut pas de même de l'Allemagne fédérale et de l'Italie. Les applications militaires leur étant interdites, ces pays n'avaient d'autre moyen de progresser dans le domaine de la propulsion nucléaire que de construire un navire de commerce. L'Allemagne fut la première à entreprendre l'étude d'un réacteur et, pour forcer la main à l'Euratom, offrit un minéralier de 25 800 t, l'**Otto Hahn**, déjà en cours de construction. Le projet accepté par l'Euratom, les avis d'appels d'offre ne susciterent que peu de participations étrangères (la France pour les pompes et l'Italie pour les dispositifs anti-collision). Ce fut la filiale allemande Babcock et Wilcox d'Oberhausen qui reçut la part du lion.

L'Italie crut pouvoir mettre en chantier un navire logistique à propulsion nucléaire, l'**Enrico Fermi**, mais elle se vit refuser toute aide des Etats-Unis du fait que le bâtiment était armé par la marine militaire. Elle renonça alors à son projet.

Le réacteur installé à bord du minéralier **Otto Hahn** est du type « intégré ». Le bâtiment a des caractéristiques analogues à celles du **Savannah** (25 800 t de déplacement, 172 m de long sur 24 m de large, tirant d'eau 9 m). A la différence de son prédécesseur, son port en lourd est de 15 000 t, ce qui lui permet d'emporter un fret appréciable, mais sa vitesse est un peu plus faible, 16 nœuds, et sa puissance sur l'arbre moitié moins forte : 10 000 ch seulement.

Les essais du réacteur ayant donné toute satisfaction, l'**Otto Hahn** prit la mer en décembre 1968 pour son premier voyage expérimental. Les négociations entamées avec l'étranger pour obtenir autorisation de séjour dans les ports ayant été très longues, le cargo dut d'abord demeurer dans les eaux de la mer du Nord. Ce n'est qu'en 1970 que la première autorisation fut accordée et qu'un service régulier put être organisé. De février 1970 à mars 1971, l'**Otto Hahn** effectua onze traversées et toucha huit ports étrangers.

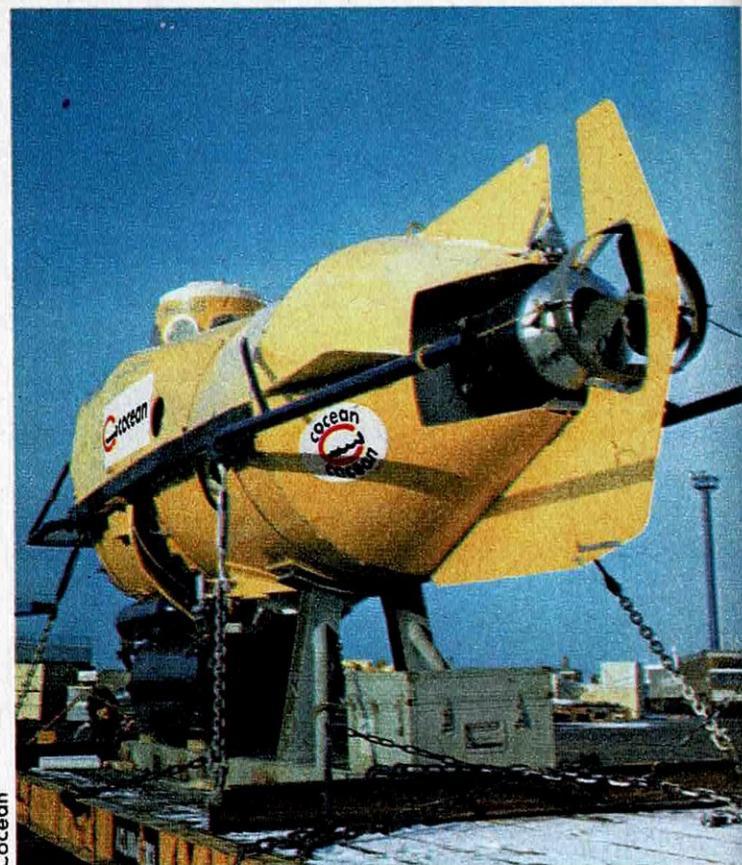
En avril et en mai, le navire effectua sa première croisière d'endurance, reliant Hambourg au golfe Persique par le Cap, avec un seul incident notable. Un arrêt prolongé du navire à Hambourg, en juin et juillet, fut provoqué par le remplacement, par suite de



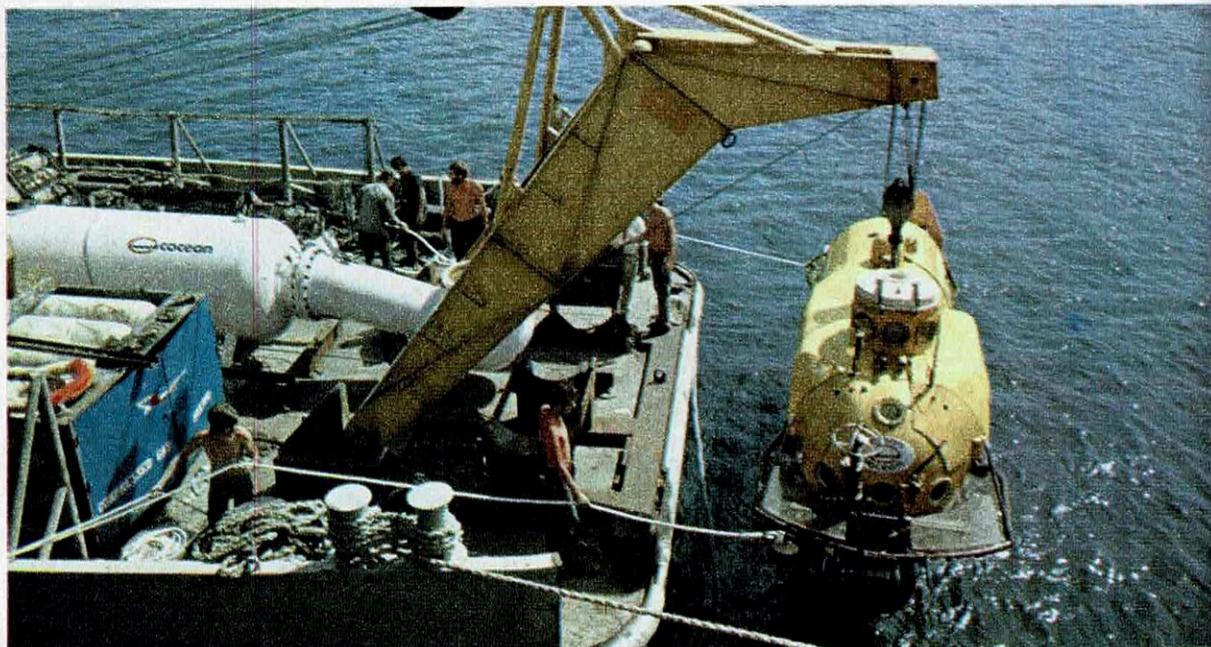
En service depuis 1958, le brise-glace soviétique Lénine est pourvu de trois réacteurs nucléaires dont deux fonctionnent en service normal pour l'entraînement des groupes turbo-électriques (photo en haut de page). La propulsion nucléaire constitue un énorme avantage pour ce type de bâtiment dont l'autonomie est une qualité primordiale. En tout cas, le Lénine a été le premier bâtiment nucléaire commercial construit au monde.

LES SOUS-MARINS MINIATURES D'INTERVENTION

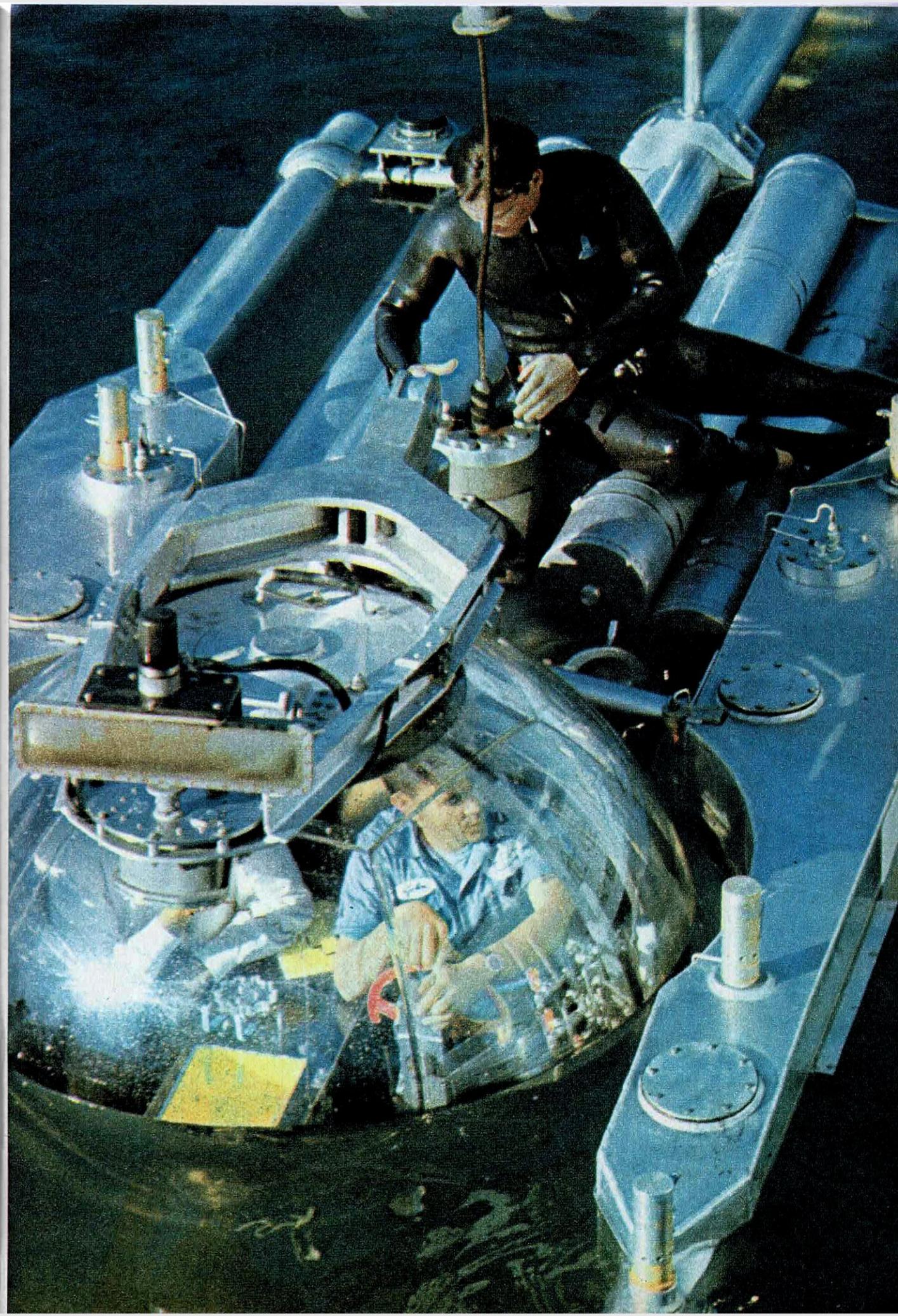
Depuis l'an dernier le Shelf Diver (9 t de déplacement), construit aux Etats-Unis par Perry, est utilisé à des travaux sous-marins par l'entreprise française Cocean. Le sous-marin emporte deux plongeurs dans un compartiment « humide » s'ouvrant par un sas à la partie inférieure. En bas de page et en page de droite, deux aspects de la mise en œuvre du Sea Link, petit sous-marin biplace conçu pour des profondeurs maximum de 1 000 mètres.



Cocean



Smithsonian Institution



la rupture d'une connexion électrique, d'une des trois pompes de circulation du circuit primaire. Une seconde croisière, entre Hambourg et la mer des Caraïbes, ne fut marquée par aucun incident.

A son retour au port, en décembre 1971, l'**Otto Hahn** avait parcouru 120 000 milles nautiques, subi de violentes tempêtes et navigué dans des conditions climatiques très défavorables (humidité de l'air, température élevée de l'eau de mer, etc.). Le comportement de l'ensemble propulseur avait dépassé les prévisions les plus optimistes et l'équipage considérait la mise en œuvre du navire au moins aussi facile que celle d'un cargo classique. L'un des principaux buts de la croisière était d'évaluer l'influence des mouvements de la plate-forme sur le comportement du réacteur. A cette fin une instrumentation de contrôle très élaborée, comprenant des accéléromètres et thermo-couples, avait été installée. Les données enregistrées, exploitées soit à bord, soit à terre au Centre de recherche de Geesthacht, confirmèrent les prévisions des constructeurs. Le système, entièrement nouveau, d'autopressurisation, maintenant constante la température de l'eau du circuit primaire, se comportait bien, même par très mauvaise mer. Autre qualité indispensable pour un réacteur marin vérifiée sur l'**Otto Hahn**, la faculté de supporter les brusques variations de pression et de température consécutives à l'arrêt des turbines. L'expérience a montré que l'augmentation de pression de vapeur du circuit secondaire provoquait en 12 secondes l'ouverture des soupapes de sûreté, réduisant ainsi l'admission de l'eau à l'échangeur de chaleur et maintenant la pression de vapeur à une valeur à peu près constante.

Les diverses observations effectuées au cours de la croisière de l'**Otto Hahn** ont mis en évidence l'avantage qu'il y aurait à adapter la construction d'un navire à la forme du réacteur et à ses exigences de sécurité. Jusqu'ici, il n'a pas été tenu compte du fait qu'un navire de charge fortement structuré pouvait comporter un cloisonnement suffisamment rigide pour jouer le rôle d'enceinte secondaire. Un réacteur bénéficiant d'une structure extérieure spéciale a ainsi été dessiné par les ingénieurs de la Deutsche Babcock und Wilcox Dampfkesselwerke, avec un gain de poids et de volume considérable. La sécurité est accrue du fait que le noyage du comparti-

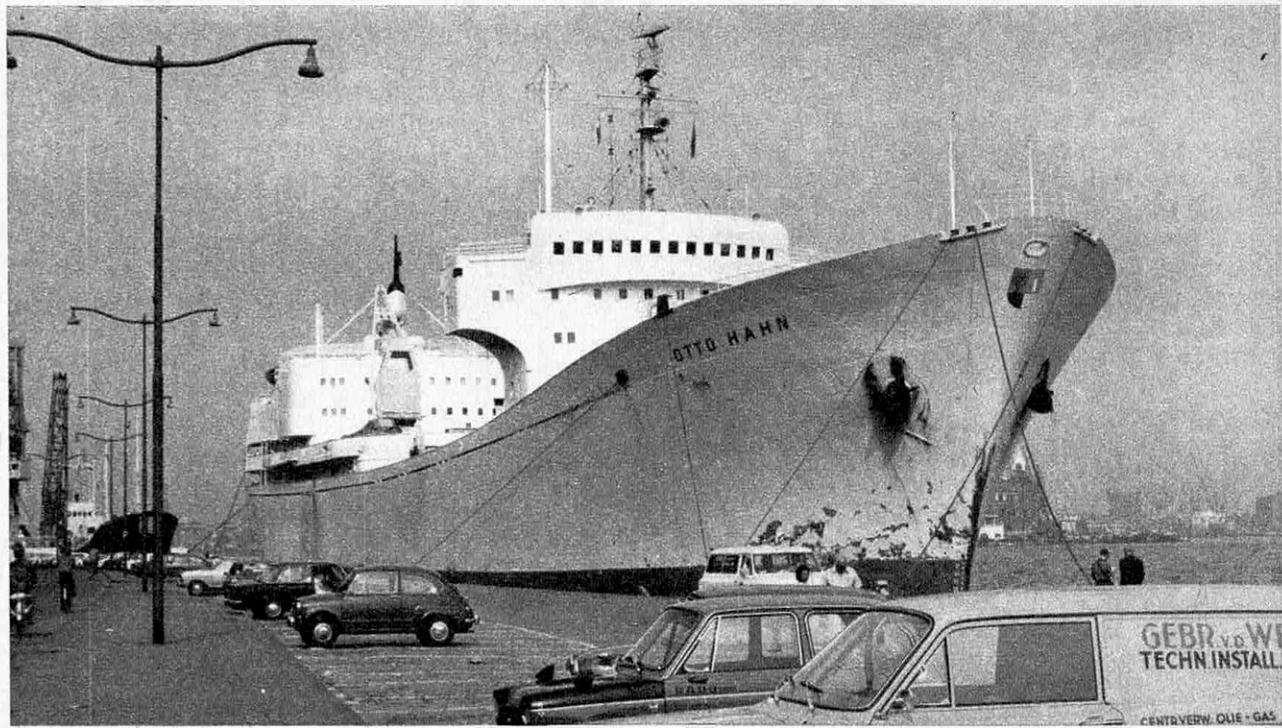
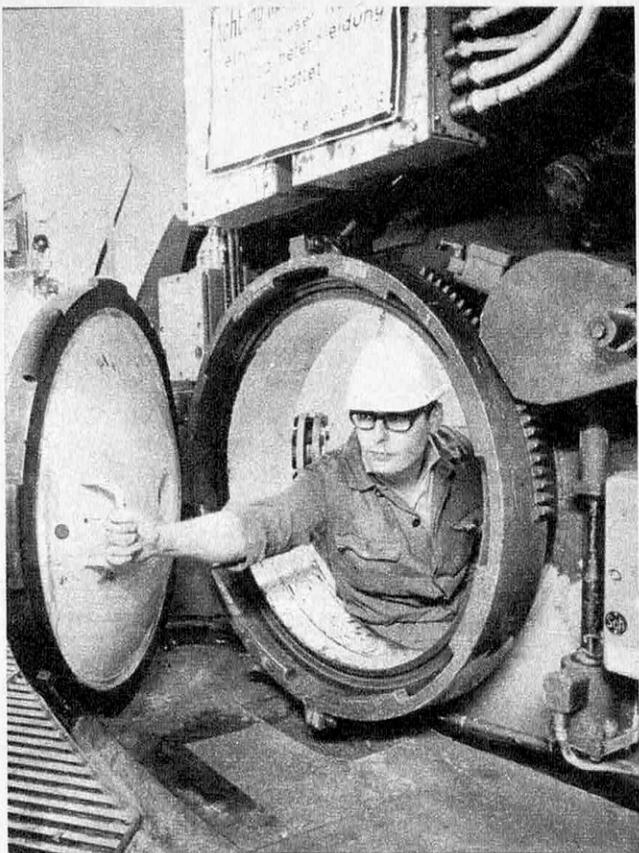
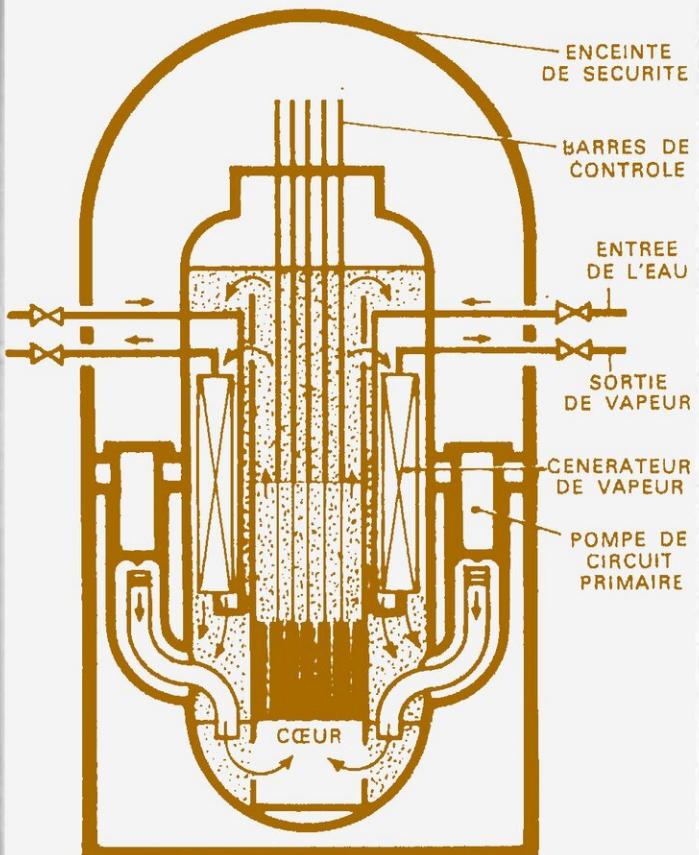
ment peut être utilisé au cas où toutes les pompes de circulation auxiliaires seraient mises accidentellement hors service.

Sur le plan économique, les enseignements tirés ont conduit les ingénieurs à fixer la puissance sur l'arbre à 50 000 ch (138 MW thermiques) pour l'utilisation d'un réacteur sur des porte-containers rapides ou de grands pétroliers (seuls navires de charge susceptibles, en propulsion nucléaire, d'offrir une rentabilité au moins égale à celle de leurs homologues à propulsion classique). Mais comme il est impossible de construire un navire d'essai, la Deutsche Babcock und Wilcox Dampfkesselwerke a entrepris, à l'exemple de plusieurs organismes étrangers, une étude précise de la rentabilité comparée de la propulsion nucléaire et de la propulsion classique. Elle espère obtenir du gouvernement de l'Allemagne fédérale, et peut-être d'autres gouvernements européens, l'aide financière nécessaire à la construction d'un premier prototype.

LES PROJETS JAPONAIS

Le Japon avait les mêmes raisons que l'Allemagne ou l'Italie de s'intéresser à la propulsion nucléaire. En fait, ce n'est qu'en 1963 qu'une agence fut créée pour l'étude d'un tel réacteur. En mars 1965, étaient lancés des appels d'offres pour la réalisation d'un navire océanographique à propulsion nucléaire. Abandonné en raison de son coût excessif, ce projet ne fut repris que deux ans plus tard sous la forme d'un cargo de faible tonnage, mis en chantier en 1968. Aucune norme de rentabilité n'était alors envisagée, l'installation propulsive occupant plus d'un tiers de la capacité totale du navire (en raison des extraordinaires précautions prises pour assurer la sécurité). Le réacteur, basé sur le même principe que ses devanciers (oxyde d'uranium faiblement enrichi en uranium 235 et modéré à l'eau sous pression) n'est pas du type « intégré » : toutes les pompes et échangeurs de chaleur sont éloignés de la cuve primaire et largement espacés dans l'enceinte secondaire aux dimensions considérables.

Le bâtiment a reçu le nom de **Mutsu**, petit port situé à la pointe extrême de l'île de Hondo où des installations spéciales (quais, portiques de levage, ateliers et magasins divers) ont été construites. Le réacteur a été



Après quelques difficultés d'ordre surtout juridique, l'*Otto Hahn* semble bien avoir conquis ses galons. Les premières croisières d'endurance du navire, dans le cours de l'année dernière, n'ont donné lieu à aucun incident marquant. Le dessin du réacteur, en haut de page, tend à favoriser le refroidissement du cœur à l'arrêt par circulation naturelle de l'eau du circuit primaire.

livré et mis en place au cours des derniers mois de 1971 et les premiers essais vont incessamment commencer.

Ce qui frappe le plus à la vue des schémas du **Mutsu** et des explications qui les accompagnent, c'est le luxe de précautions visant à protéger le réacteur et son circuit primaire en cas de collision ou de naufrage. A la population japonaise, encore très sensibilisée par les bombardements atomiques de 1945, il a fallu, semble-t-il, donner toutes les assurances possibles.

Quoi qu'il en soit, un soin tout particulier a été pris pour assurer la résistance et la réduction des vibrations de la coque. La distance qui sépare l'enveloppe extérieure de la cuve du bordé représente plus du cinquième de la largeur totale pour permettre l'installation de robustes structures anti-collision. Dans le sens longitudinal, la résistance aux chocs est assurée à l'avant et à l'arrière du réacteur par six ponts en tôle épaisse constituant un véritable blindage. Une structure analogue a été adoptée pour le renforcement du vaigrage des fonds. De plus, trois cloisons pare-feu ont été installées pour prévenir d'éventuels incendies. Bien que les précautions prises pour éliminer tout risque de fuite et de pollution dans les compartiments du réacteur et de ses auxiliaires soient moins explicitées, il est probable qu'elles ont été tout aussi soigneusement établies.

De par sa conception et sa vocation purement expérimentale, le **Mutsu** ne semble pas chercher à gagner de vitesse ses concurrents occidentaux. Le Japon qui a réussi à tenir la première place dans la construction navale mondiale, veut manifestement mettre tous les atouts dans son jeu avant de se lancer dans un domaine encore mal connu. Ce qui ne l'a pas empêché d'entamer des pourparlers avec l'Interatom d'Allemagne fédérale en vue de la construction sous licence de deux et peut-être trois réacteurs marins livrables au cours de l'actuelle décennie.

DES ETUDES DE RENTABILITE VITE DEPASSEES

Depuis l'expérience du **Savannah**, toutes les nations du « club atomique » ont accumulé rapports et études prospectives sur la valeur économique du nouveau mode de propulsion.

Malgré la diversité des hypothèses admises pour évaluer certains éléments (primes d'assurance, frais d'entretien, taxes de séjour dans les ports, servitudes de sécurité, salaires du personnel...), les conclusions sont en général concordantes du fait que l'élément déterminant, le prix du fuel, est dans tous les cas évalué au cours de l'époque, c'est-à-dire à un tarif très bas, 9 à 12 dollars la tonne. Ces conclusions sont, en gros, les suivantes : la propulsion nucléaire ne deviendra rentable que pour des puissances de 150 000 à 200 000 ch sur l'arbre. Rien ne permet de prévoir la date où ces chiffres seront atteints sur des navires de commerce.

En 1969, les auteurs d'une étude publiée en France ont cherché à serrer de plus près la réalité en établissant la comparaison du coût de transport entre deux navires aux caractéristiques identiques supposés réalisés en 1968, l'un à propulsion nucléaire, l'autre à propulsion classique. Ils ont ensuite effectué les mêmes calculs en tenant compte de diverses variations de prix susceptibles d'intervenir d'ici 1985. Les conclusions sont cette fois les suivantes : le seuil de rentabilité pourrait être atteint en 1985 pour des puissances de 120 000 à 150 000 ch, qui dépassent encore largement la gamme utilisée sur les navires de commerce. Les auteurs estiment que le réacteur n'a aucune chance de devenir compétitif à bord des pétroliers qui, malgré un accroissement continu du tonnage, n'ont guère augmenté leur vitesse, mais qu'il pourrait le devenir en 1985 à bord des porte-containers dont la vitesse augmente régulièrement et « atteint couramment 23 noeuds ».

Bien que les évaluations de prix soient en général trop conservatives, en particulier pour le fuel et pour l'entretien, cette étude a le mérite de rationaliser les méthodes de comparaison et de souligner que la vocation propre du navire pouvait favoriser l'un ou l'autre des moyens de propulsion.

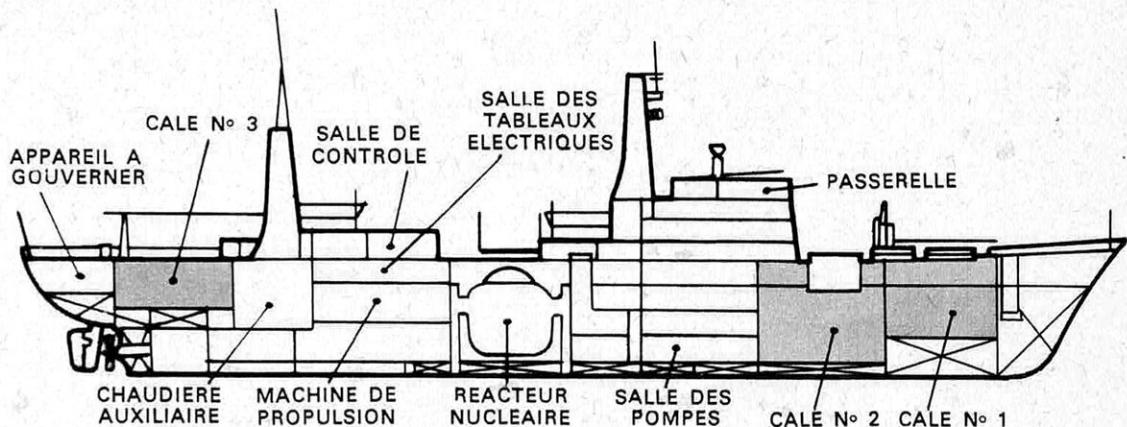
Depuis que le camionneur américain Mac Lean, dont l'entreprise était paralysée par les tracasseries douanières au passage d'un Etat à l'autre, eut l'idée d'employer le transport par mer pour s'en affranchir, le navire porte-containers a connu une formidable expansion. L'affaire, commencée par la transformation de quelques minéraliers de moyen tonnage, s'est développée avec l'apparition d'une deuxième génération de navires spécialisés pouvant transporter plus de 1 000 con-

tainers à la vitesse d'une vingtaine de nœuds. Un nouveau pas vient d'être franchi avec des long-courriers encore plus rapides embarquant 3 000 containers sur des parcours transocéaniques.

On peut estimer que ces faits nouveaux rapprochent de nous le moment où la propulsion nucléaire deviendra rentable. Des unités de 30 à 32 nœuds sont, en effet, en cours de construction aux Etats-Unis (pour les liaisons côte Est-Japon par Panama), dont la puissance propulsive atteindra 120 000 ch répartis sur

deux lignes d'arbre. Dans ce cas, l'emploi de réacteurs en remplacement des chaudières classiques permettrait une réduction certaine des frais d'exploitation.

En accord avec l'Administration de la Marine, Babcock and Wilcox a entrepris une campagne en faveur d'un réacteur de 120 000 ch qui permettrait une économie annuelle d'environ 1 million de dollars par rapport à une chaudière classique de même puissance brûlant du fuel. Même si l'on admet que ces évaluations sont optimistes, un autre



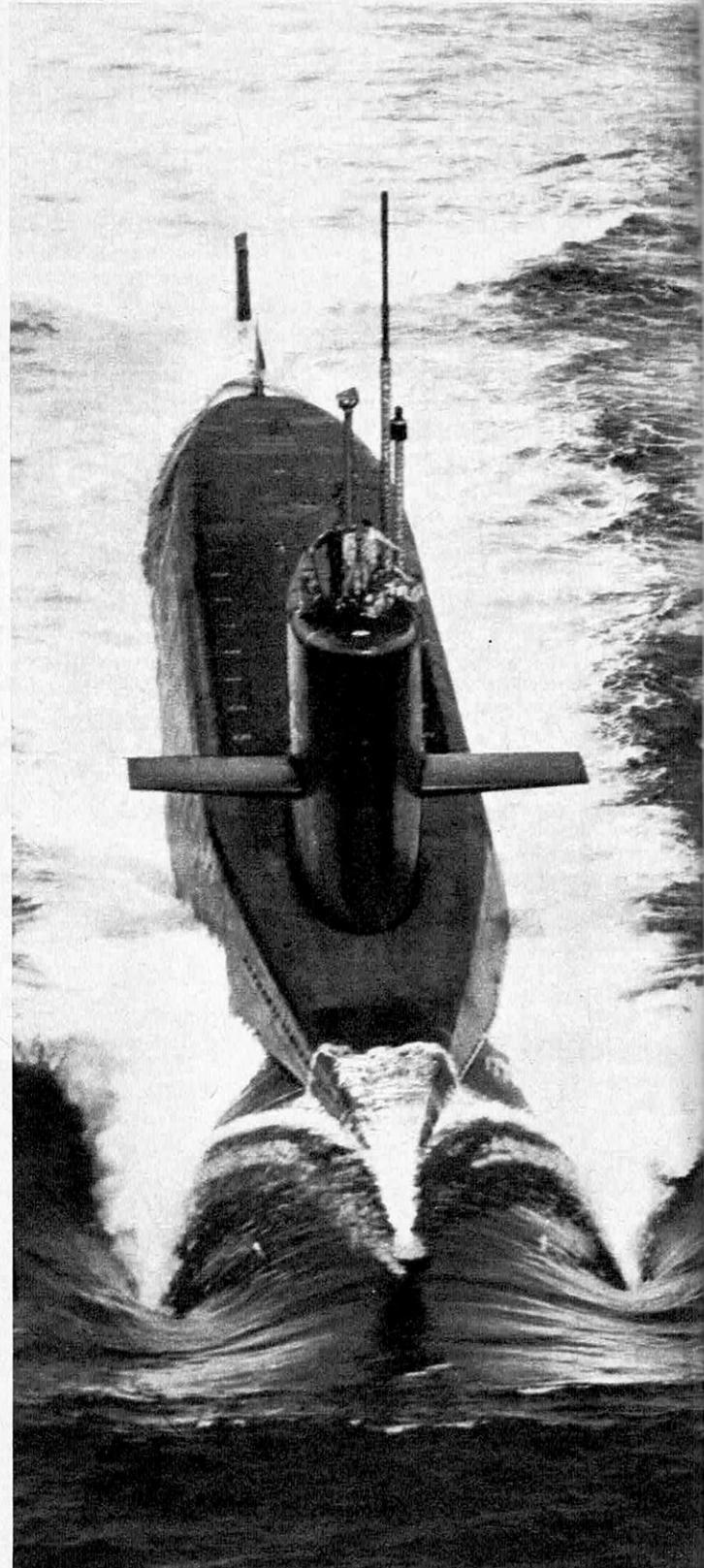
Quelque mauvais esprit pourrait se demander, au vu du dessin en coupe longitudinale du navire, si la vocation principale du Mutsu n'est pas de transporter un réacteur nucléaire. Il est vrai qu'en réservant si peu d'espace aux cales, les Japonais n'ont pas caché vouloir réaliser avant tout un navire expérimental. Le navire effectue cette année ses premiers essais de longue durée.

facteur intervient en faveur du coût opérationnel d'un navire à propulsion nucléaire. Il s'agit de la hausse des prix du combustible classique. Jusqu'ici, sauf pendant de courtes périodes de crise (guerre de Corée, affaire de Suez et conflit arabo-israélien), le prix du fuel n'avait cessé de baisser. Depuis peu, en raison des exigences accrues des pays producteurs du Moyen-Orient, la tendance s'est renversée et rien n'indique que le cours actuel de 25 dollars la tonne ne sera pas dépassé. Au contraire le coût du combustible nucléaire a plutôt tendance à diminuer.

Au demeurant, les capsules d'uranium enrichi à 3 ou 4 %, dont le vieillissement est pratiquement indépendant de la puissance extraite, n'exigent pour leur remplacement qu'une immobilisation du navire d'une quinzaine de jours tous les deux ou trois ans. L'immobilisation pour ravitaillement en combustible du même navire à chaudière classique atteindrait au total, sur deux ou trois ans, des durées beaucoup plus longues. Etant donné que le volume occupé par les soutes à combustible réduit d'autant la capacité de charge du navire classique, on a calculé que cinq navires à propulsion nucléaire pourraient effectuer le même service que huit navires classiques, en permettant un gain d'exploitation global de 5 à 6 millions de dollars par an. C'est dans cette optique nouvelle qu'un groupe d'armateurs européens utilisant des porte-containers de fort tonnage ont entrepris l'étude du remplacement de la chaudière classique par un réacteur nucléaire.

LES ARMATEURS EUROPEENS AU TRAVAIL

Au cours du colloque de Hambourg sur les navires nucléaires, au mois de mai 1971, les délégués français de la COCEI, de la compagnie des Messageries Maritimes et du centre de Saclay ont présenté un mémoire relatif au remplacement de l'appareil propulsif d'un porte-containers en cours de construction par un ensemble propulsif nucléaire. Le navire qui a servi de modèle est le septième d'une série destinée au trafic Europe-Extrême-Orient par Panama et il sera mis sur cale en 1972. Le franchissement du canal imposant un tirant d'eau maximum de 13 m, les caractéristiques suivantes ont été adoptées : longueur 288 m, largeur 32,26 m, creux 24,60 m. Pour assurer une vitesse de



L'expérience acquise avec les sous-marins nucléaires a largement été à l'origine des études et réalisations dans le domaine des navires de surface à vocation commerciale. C'est vrai pour les Etats-Unis et sans doute pour l'U.R.S.S., mais aussi pour la France. Le Redoutable (ci-dessus), entré en service effectif au début de cette année, a permis, comme ses frères Terrible et Foudroyant, d'accumuler une foule d'enseignements.

28 nœuds et un rayon d'action de 12 000 milles nautiques, la puissance nécessaire est de 90 000 ch. L'installation comporte deux lignes d'arbre et chaque groupe de turbines développe une puissance sur l'arbre de 44 000 ch. L'appareil propulsif étudié pour le remplacement des chaudières est un réacteur à eau pressurisée comportant deux boucles de transfert de chaleur. Malgré le gain de poids qu'il procure, le système intégré n'a pas été retenu en raison du volume exigé pour un réacteur de 250 MW. On a choisi, cependant, une disposition qui favorise la circulation naturelle de l'eau du circuit primaire et par conséquent le refroidissement du cœur à l'arrêt. Le cœur, à uranium faiblement enrichi, est à deux zones permettant le déchargement par moitié des capsules tous les deux ans. Cette opération s'effectue par l'intermédiaire d'une « piscine » de déchargement remplie d'eau.

L'appareil moteur est constitué par deux groupes de turbines d'une puissance de 50 000 ch sur l'arbre, conduites en télécommande depuis la passerelle. Le seul aspect de la conduite qui soit particulier au réacteur nucléaire provient du fait que ce dernier fonctionne à la température, pratiquement constante, du fluide primaire, la température et la pression de vapeur augmentant quand la puissance propulsive diminue. Ceci a conduit à surdimensionner les circuits secondaires et les pompes d'alimentation. De plus, bien que le réacteur s'adapte en principe à toute variation d'allure du navire, il a été prévu, pour limiter la fatigue du combustible nucléaire, de décharger directement au condenseur une fraction notable de la vapeur. Le devis de prix pour la chaufferie nucléaire se monte à 80 millions de francs contre 14 millions pour la chaufferie classique. Les suppléments de prix pour la machine, la propulsion de secours et le renforcement des structures atteint 19 millions, dont il faut déduire 1 million correspondant aux installations de mazout.

Le coût du navire nucléaire est donc supérieur de 84 millions à celui du navire classique. Le coût annuel d'exploitation, par contre, se traduit, compte tenu des majorations d'amortissement dues au surprix de construction, d'assurance et de personnel et au prix du combustible classique, par un bénéfice d'environ 16 millions de francs sur quinze ans, soit un peu plus d'un million par an. Si

on remarque que l'étude a été faite à partir d'un navire prévu pour une installation classique et que toutes les hypothèses sont largement conservatives, il est hors de doute que les économies réalisées sur un navire spécialement aménagé pour recevoir un appareil nucléaire seraient de beaucoup supérieures.

QUELLES PERSPECTIVES ?

On peut, au total, considérer la rentabilité du porte-containers à propulsion nucléaire comme assurée. La compagnie des Messageries Maritimes, propriétaire du bateau actuellement mis sur cale aux chantiers Howaltswerke et Deutscherwerft de Hambourg, a été chargée d'établir le bilan commercial du bateau doté d'un appareil propulsif nucléaire. Le centre de Saclay, qui a dessiné les plans de l'appareil propulsif et de son réacteur, est prêt à en diriger la construction. Pour passer au stade de la réalisation, il faudra obtenir une aide de l'Etat.

Quoi qu'il en soit, il ne faut pas se dissimuler que la compétition sera dure avec la propulsion classique. À part le cas particulier du **Lénine** qui, en sa qualité de brise-glace, fait ce qu'aucun autre bateau au monde ne pourrait faire, il est évident que les armateurs qui viennent de rénover leur flotte ne sont pas très pressés d'investir à nouveau. Le gouvernement devra donc juger si, dans la conjoncture actuelle, l'aide qu'il concède à la marine marchande doit être développée pour lui permettre de sortir du marasme et si la formule du porte-containers à propulsion nucléaire est la meilleure. Le principal argument qui peut influencer sa décision est que la France a acquis une forte expérience dans le domaine de la propulsion atomique en construisant dans les délais prévus deux sous-marins lance-missiles de 10 000 t dont les essais ont été concluants.

Le problème n'est pas purement français. Si le marché européen des constructions navales veut rester compétitif, il faut que les divers pays intéressés adoptent une politique commune. C'est dans le cadre de cette politique, déjà amorcée par l'Association des constructeurs de navires avec l'appui de la C.E.E., que la France peut avoir intérêt à profiter de son avance technique.

Albert VULLIEZ
de l'Académie de Marine.

une véritable encyclopédie du savoir les numéros hors-série de

SCIENCE VIE

et

Pour vous aider à retrouver nos principaux sujets, nous les avons classés par ordre numérique. Vous pourrez ainsi, soit compléter votre collection, soit commander les volumes qui vous intéressent à l'aide du bon spécial qui figure ci-contre.



- N° 51 La Mer
- N° 52 Auto 1960/61
- N° 53 Chemins de Fer
- N° 54 Aviation 1961
- N° 55 Énergie
- N° 56 Auto 1961/62
- N° 57 Photo-Cinéma
- N° 58 Musique
- N° 60 Auto 1962/63

- N° 71 Auto 1965/66
- N° 73 Les Chemins de Fer 1966
- N° 74 Habitation
- N° 75 Photo-Ciné
- N° 76 Auto 1966/67
- N° 78 Aviation 1967
- N° 79 Auto 1967/68
- N° 80 Photo



- N° 42 La Vitesse
- N° 43 Le Sahara
- N° 45 Médecine-Chirurgie
- N° 46 Habitation
- N° 48 Auto 1959/60
- N° 49 Électronique



- N° 91 1970 Navigation de plaisance
- N° 92 1970 Météo
- N° 93 1970 Auto 1970/71
- N° 94 1971 Le Son
- N° 95 1971 L'Aviation
- N° 96 1971 L'Automobile 71
- N° 97 1971 Photocinéma 72
- N° 98 1972 Marine 72
- N° 99 Diététique (à paraître)



- N° 61 Électricité
- N° 62 Week-End 1963
- N° 63 Aviation 63
- N° 64 Auto 1963/64
- N° 65 Radio
- Télévision
- N° 66 Photo
- N° 68 Auto 1964/65
- N° 69 L'Automatisme
- N° 70 Aviation 1965

- N° 81 Télévision
- N° 83 Transport Aérien
- N° 84 L'Auto et la Motocyclette
- N° 85 Les Greffes
- N° 86 1969 A la Conquête des Océans
- N° 87 1969 Aviation 1969
- N° 88 1969 La Lune
- N° 89 1969 L'Automobile 1969/70
- N° 90 1970 Photo 1970



COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION

De nombreux lecteurs désireux de compléter leur collection ne parviennent pas à trouver les numéros manquants. Ceux-ci sont disponibles à notre service de vente et leur seront expédiés à réception de leur commande accompagnée du règlement. Écrire à :

SCIENCE & VIE « PROMOTION 1 », 32, boulevard Henri-IV - PARIS 4^e - tél. 887.35.78

Nom:

Adresse:

Numéros demandés:

Ci-joint mon règlement: F

(F 5. - par numéro, plus 10% du montant de la commande pour frais d'envoi).

Chèque bancaire

Chèque postal

(CCP 32.826-31 La Source)

Mandat-lettre

A l'ordre de Excelsior-Publications

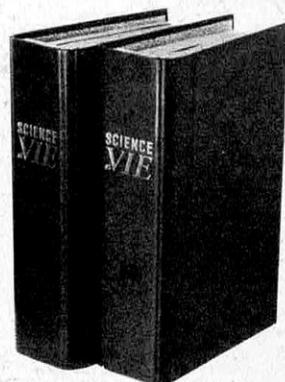
Aucun envoi ne pourra être fait contre remboursement.

(à découper ou à recopier)

CONSERVEZ VOTRE COLLECTION

Pour vous permettre de garder vos numéros de SCIENCE & Vie, mensuels et hors-série, nous avons édité des reliures permettant chacune la conservation de 6 numéros. Celles-ci sont disponibles à notre service de vente et vous seront expédiées à réception de votre commande accompagnée du règlement. Écrire à :

**SCIENCE & VIE « PROMOTION 1 »,
32, boulevard Henri-IV - PARIS 4^e - tél. 887.35.78**



Nom:

Adresse:

Reliures demandées:

(les reliures sont obligatoirement expédiées par multiples de deux - F 14,15 pour deux reliures, port compris).

Chèque bancaire

Chèque postal

(CCP 32.826-31 La Source)

Mandat-lettre

A l'ordre de Excelsior-Publications

Aucun envoi ne pourra être fait contre remboursement.

(à découper ou à recopier)

LES NAVIRES DE GUERRE

Les forces navales de surface ne sont pas démodées.

La meilleure preuve en est l'apparition, dans l'Atlantique, la Méditerranée ou l'océan Indien, de bâtiments de guerre soviétiques de conception récente, articulés en forces d'intervention aéronavales.

Bardés d'électronique, hérissés de missiles, les navires de guerre actuels peuvent faire face à bien des menaces.

Les engins surface-surface, d'apparition récente, rendent particulièrement redoutables les petits patrouilleurs rapides.

Cinq ou dix années s'écoulent entre la conception et la mise en service d'un nouveau type de navire de guerre, qui n'est pourtant qu'une plate-forme porteuse d'armements. Dans le cours de ces cinq ou dix ans, de nombreux facteurs risquent d'influencer la réalisation du projet. On peut citer en particulier :

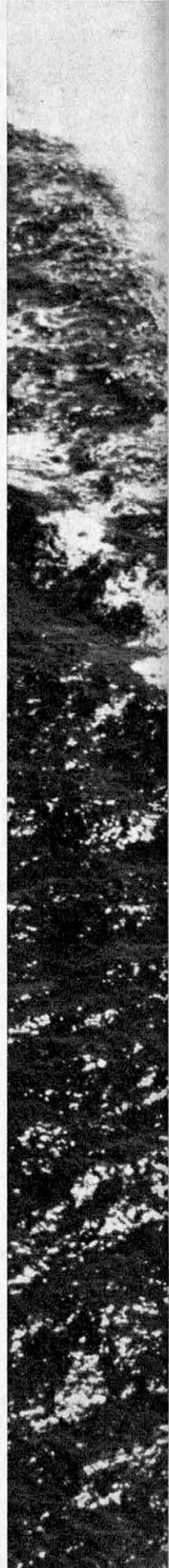
- l'évolution de la politique internationale, en fonction des orientations décidées par les « meneurs » : le bloc U.S.A.-Europe occidentale, le bloc soviétique, la Chine... ;
- les besoins et les objectifs plus ou moins ambitieux des marines en cause ;
- les moyens financiers dont dispose tel ou tel pays (s'il ne s'agit pas d'un des « très grands ») et l'importance des concours qu'il peut éventuellement espérer des plus puissants ;
- l'apparition toujours possible d'une arme nouvelle dont les qualités risquent de démoder l'armement initialement prévu. Ainsi, le missile anti-surface français Exocet, adaptable à des coques de tonnages très divers, a été, en deux ans à peine, adopté par neuf marines.

LES NANTIS... ET LES AUTRES

Toute nation tant soit peu « nantie » veut pouvoir mettre en œuvre des moyens non seulement marins purs, mais aussi aéronavals. Si l'on excepte la très importante aviation embarquée de l'US Navy et celles, beaucoup plus modestes, de la Grande-Bretagne et de la France, les forces aéronavales sont presque toujours (font exception quelques hélicoptères de lutte anti-sous-marin) basées à terre. Dans une large mesure, les sous-marins et les avions (et hélicoptères) sont considérés aujourd'hui comme les moyens d'action primordiaux d'une marine. Cependant, l'apparition des croiseurs, destroyers et canonniers rapides lance-missiles soviétiques, l'importance des moyens logistiques à assurer si on veut faire intervenir efficacement une force navale sur de vastes espaces océaniques, le développement (très inégal selon le pays) des moyens amphibies, tout cela a ajouté aux exigences.

Quatre-vingtquinze pour cent des affrontements postérieurs à la seconde guerre mondiale ont éclaté dans des régions sous-développées. Dans le cas où une intervention maritime s'imposait, des moyens assez peu importants, voire peu coûteux et pouvant être

Un croiseur léger lance-missiles classe Kynda en pleine mer. La flotte soviétique compterait quatre bâtiments de ce type, déplaçant 5 300 t et de vitesse 34 noeuds. Au pied du château avant, on remarque une rampe quadruple de missiles surface-surface.





US Navy

En service depuis 1961, le porte-avions nucléaire Enterprise est l'un des plus beaux bâtiments de l'US Navy. Il embarque une centaine d'appareils de combat et de reconnaissance et croise à 33 nœuds.

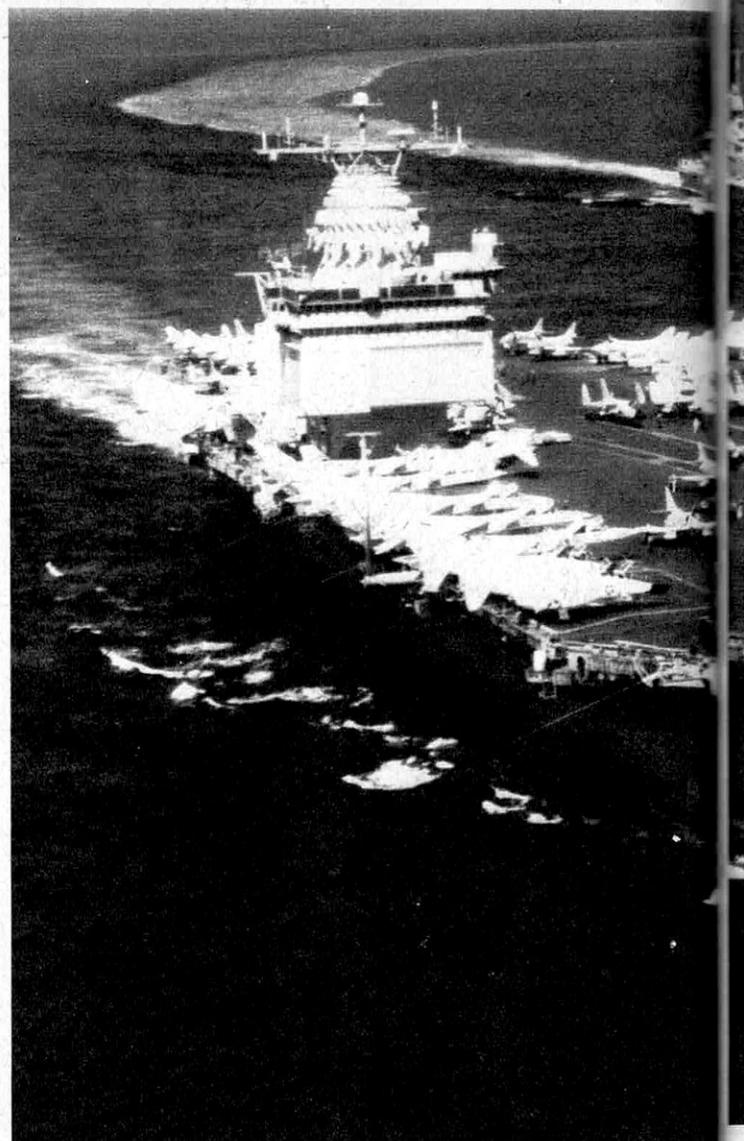
mis en œuvre par un personnel sans très grande qualification technique, furent le plus souvent suffisants.

Pourtant, le prix de revient et la « sophistication » des équipements prévus à cet égard par les grandes puissances sont proprement stupéfiants. Les U.S.A., surtout, disposent d'une « amphibious warfare force » considérable, bâtie autour du célèbre Marine Corps. Ce dernier comprend plus de 200 000 hommes articulés en divisions. Mille deux cents avions et hélicoptères lui sont directement rattachés. La Grande-Bretagne, quant à elle, ne dispose que d'une force d'intervention immédiate de quelque 2 000 hommes.

On peut très bien admettre que le gouvernement d'une grande île comme Madagascar (qui ne possède, en matière navale, que quelques patrouilleurs) veuille un jour disposer d'un engin automoteur de débarquement armé d'un mortier quadritube et gréé en porte-hélicoptères (à l'instar des **Blavet** et **Trieux**, récemment aménagés pour la Marine française). Une unité de ce type peut convenir à nombre d'opérations locales de police.

Au-delà des moyens d'intervention amphibies, on peut constater que de nombreux pays se satisfont encore de matériels anciens provenant des surplus américains ou soviétiques. En 1970-1971, certaines marines qui pourtant avaient commandé, pour la première fois depuis longtemps, quelques navires neufs, ont encore reçu des unités anciennes remises en état. La Grèce, la Turquie, l'Espagne, l'Argentine, l'Iran ont ainsi hérité des destroyers, dragueurs et sous-marins d'origine américaine.

L'Inde, qui fait construire dans ses propres chantiers, sur plans britanniques, des escorteurs et des dragueurs de petits fonds avec, dans une large mesure, des matériels importés de Grande-Bretagne, a accepté le transfert par l'U.R.S.S. de divers navires. Viennent ainsi grossir la flotte indienne : quatre sous-marins (quatre autres sont envisagés) ; six escorteurs type **Petia** ; plusieurs canonnières rapides lance-missiles (classe **Osa**) ; six patrouilleurs de 100 t, deux navires de débarquement (type **Polnocny**), etc. Cette aide a sans doute été motivée par le désir de compenser la menace que la Chine exerce sur l'Inde. L'aide soviétique s'est d'ailleurs manifestée aussi par des matériels destinés à l'armée ou à l'aviation. Quant au Pakistan, client de la France pour les sous-marins (il vient, comme l'Afrique du Sud, d'en armer trois du type **Diane/Daphné**), il a récemment reçu de la Chine communiste plusieurs canonnières fuviales.

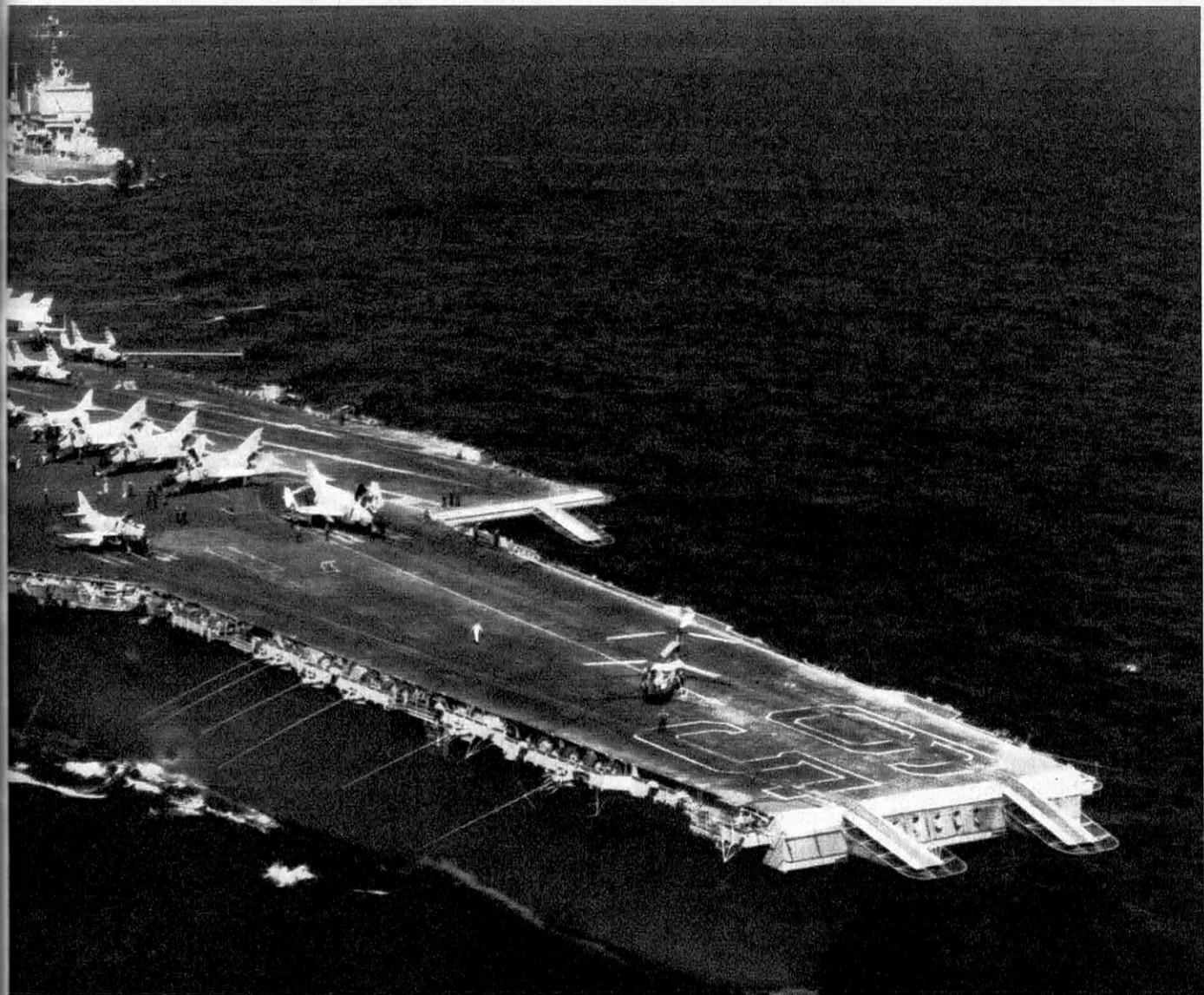


Au-delà de ces péripéties, il convient d'examiner les programmes de constructions neuves, en cours et en projet dans le monde.

LES PROGRAMMES MAJEURS

Les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, l'U.R.S.S. et la France ont construit ou construisent des **sous-marins** de 7 500 à 10 000 t à propulsion nucléaire, lanceurs de missiles stratégiques. Les U.S.A. ont fait un nouveau pas en avant avec le projet ULMS récemment annoncé (25 sous-marins lanceurs de missiles **Perseus** d'une portée de 10 000 km). Les Etats-Unis, l'U.R.S.S., la Grande-Bretagne, construisent aussi des sous-marins nucléaires d'attaque armés de torpilles (et, pour les U.S.A., d'engins **Subroc**). L'U.R.S.S. a mis en service en 1970-1971 ses premiers sous-marins nucléaires de la classe C, pouvant tirer en plongée des missiles anti-surface. Il s'agit d'une innovation redoutable et les Etats-Unis veulent suivre dans cette voie.

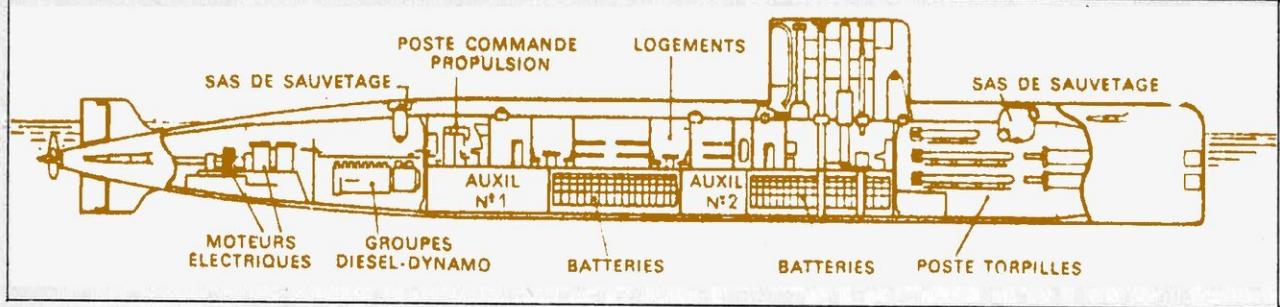
Des sous-marins à propulsion classique (diesel



et moteurs électriques) ont été commandés en France, en Italie, au Japon, en Suède, aux Pays-Bas. Plusieurs l'ont été, en République fédérale ou sur des plans allemands, pour le compte de la Grèce, de la Turquie, de l'Argentine, de la Colombie, du Pérou. D'autres enfin, dans des chantiers ou sur des plans anglais, pour l'Australie, le Brésil et le Chili. Tous ces engins se placent dans les trois catégories : 450 t, 1 000-1 400 t, 1 600-1 800 t.

Porte-avions et porte-hélicoptères. Le porte-avions reste le bâtiment de combat par excellence, aussi bien pour la dissuasion nucléaire que pour les conflits limités aux armements classiques. Son efficacité tient à la puissance de frappe de ses avions, sa souplesse au fait qu'il peut franchir plus de 1 000 kilomètres en une seule journée. Il permet, de plus, de nuancer les interventions, de la démonstration aérienne à l'attaque d'objectifs navals aussi bien que terrestres. Grâce à ses avions d'assaut embarqués, il est l'adversaire le plus dangereux des navires de surface équipés de missiles à longue portée. Les Etats-Unis, qui possèdent 16 porte-avions,

dont 5 en réserve, en font encore construire 2 à propulsion nucléaire (95 000 t). La mise en chantier d'un 3^e a été différée. Pour protéger leurs voies de communications maritimes, l'US Navy et la Royal Navy envisagent la construction de porte-aéronefs (hélicoptères de lutte anti-sous-marin et appareils à décollage ultracourt ou vertical du genre Harrier (adopté par le Marine Corps). Ces bâtiments, de tonnage assez modeste (20 000 t au plus), sont désignés aux U.S.A. « Sea Control Ships », en Grande-Bretagne « Through Deck Cruisers ». Aucun, d'ailleurs, n'est encore sur cale. La France projette elle aussi la construction d'un porte-hélicoptères. Les croiseurs sont baptisés aussi frégates aux Etats-Unis et en France. Plusieurs de ces bâtiments, de 5 600 à 10 000 t, armés pour l'essentiel de missiles anti-surface, surface-air et de moyens anti-sous-marins (y compris des hélicoptères) sont sur cale aux Etats-Unis (classe California), en U.R.S.S. (classe Kresta II) et en France (classe Tourville). Ce type de bâtiment dépasse les possibilités des marines de second plan.



Un au moins des nouveaux sous-marins océaniques de 1 200 t de la Marine nationale sera mis en chantier cette année (quatre sont prévus au

programme). Ces sous-marins qui embarqueront une cinquantaine d'hommes, officiers compris, sont adaptés à des vitesses élevées.

DES DESTROYERS AUX ESCORTEURS COTIERS

Si l'on excepte les trente **Spruance** de 7 000 t en pleine charge commandés cette année par les Etats-Unis (leur vocation principale est la lutte anti-sous-marin), les bâtiments rangés dans cette catégorie sont en général de déplacement plus réduit. A la limite, ils n'excéderaient pas 2 500 t en pleine charge (**Amazon** britanniques). Au sommet se placeront les **Haruna** japonais (4 700 t). Le plus souvent, le déplacement sera de 3 000 à 4 000 t. C'est le cas des **Sheffield** britanniques, de leurs répliques argentines **Hercules**, des **C70** français en projet, des **Tromp** néerlandais, **Ardito** (Italie), **Niteroi** (Brésil), **Baléares** (Espagne) — qui sont la réplique des **Brooke** américains —, **Iroquois** (Canada) et des très récents **Krivak** soviétiques. Les Etats-Unis, quant à eux, projettent une nouvelle série de 3 000 t qui recevrait l'engin anti-surface Harpoon, équivalent de l'Exocet français. Presque tous ces bâtiments embarqueront au moins un hélicoptère. Les **Haruna** japonais en auront trois.

Les bâtiments que la marine nationale appelle **avisos**, les petits destroyers et escorteurs côtiers, se situent de 900 à 2 000 t. Il en existe d'un peu particuliers, tels que les quatre destroyers légers (1 350 t) à vitesse élevée (37 nœuds), type **Saam**, qu'un chantier britannique construit pour l'Iran. L'artillerie en sera anglaise et le missile italien (Nettuno). Encore en Angleterre, seront bientôt achevés deux « frégates » (il ne s'agit pourtant que d'escorteurs de faible tonnage — 1 700 à 1 800 t — et de vitesse modérée — 26 à 27 nœuds —). Destinés à la Thaïlande et à la Malaisie, ils en flotteront l'orgueil national.

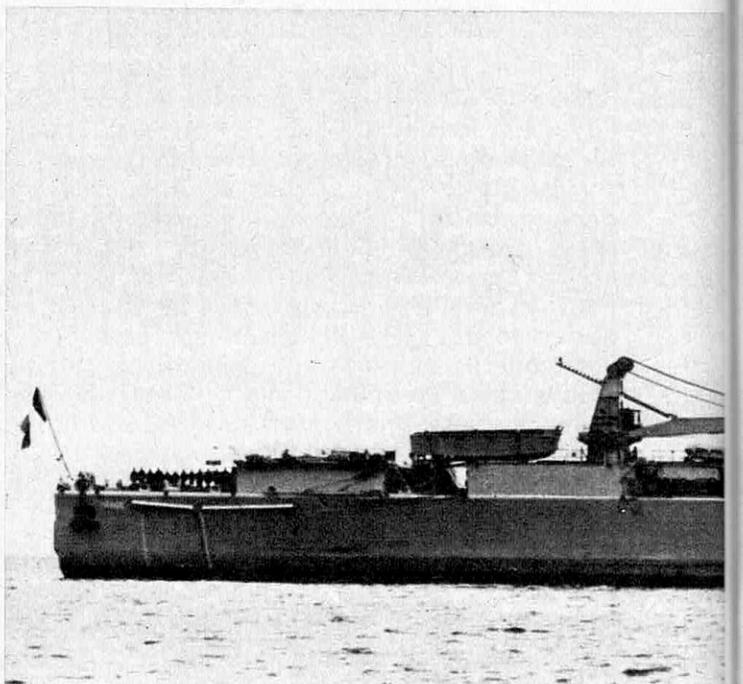
Plus intéressants à notre avis sont les escorteurs de 1 200-1 400 t (21-23 nœuds) qui vont être construits en France (type **A 69**) et, en Espagne, pour les besoins du Portugal et de l'Afrique du Sud.

Les **A 69** dont 14 sont prévus d'ici quatre ans, seront surtout à vocation ASM. Ils protégeront

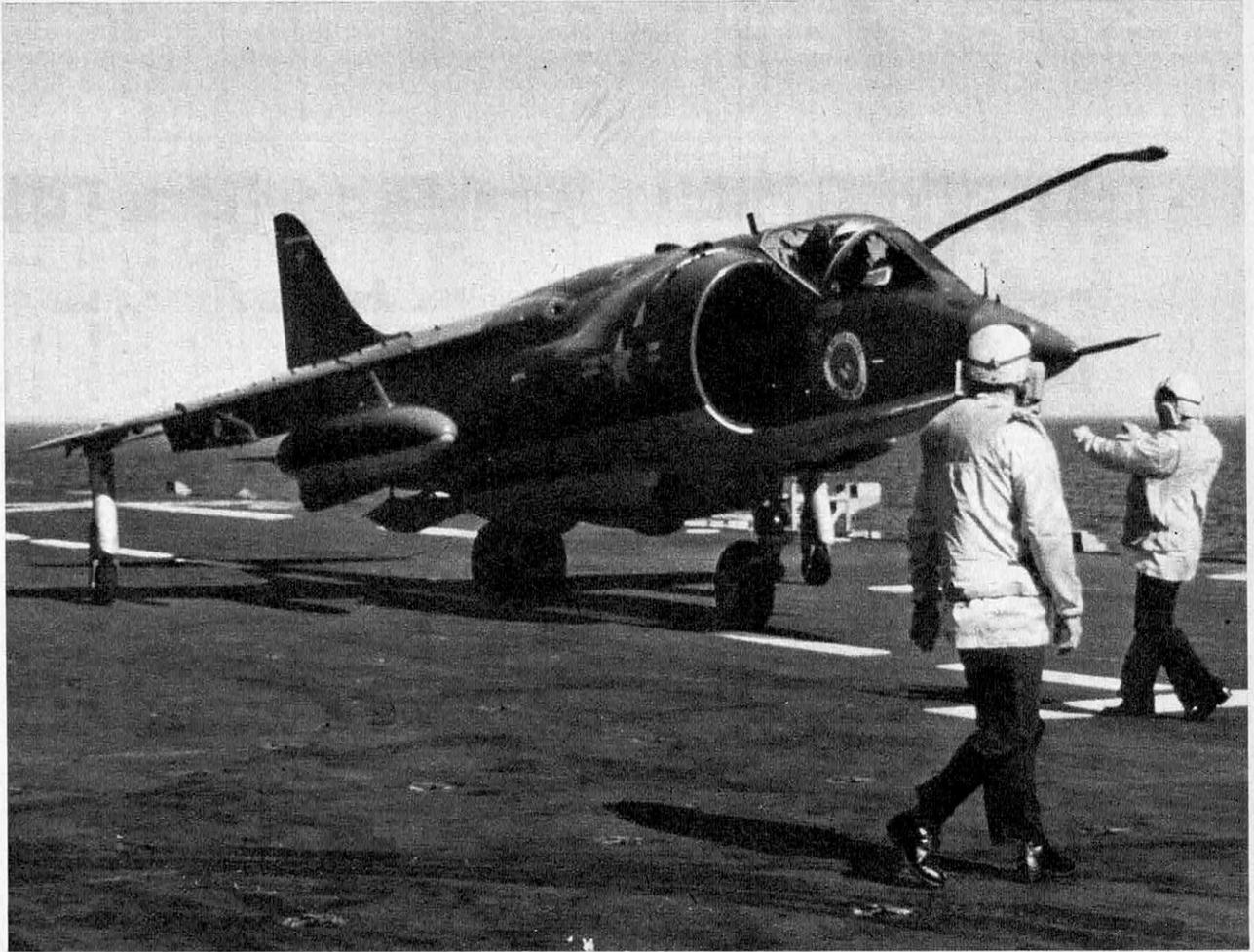
les atterrages de Brest où sont basés les sous-marins nucléaires de la force de dissuasion. Les besoins du Portugal sont autres. Les bâtiments commandés continueront la série des **Joao Continho** livrés à six exemplaires en 1970-1971. Les quatre unités de la nouvelle commande pourraient être suivies de cinq autres. L'artillerie, d'origine française, est moderne, la fonction anti-sous-marin apparaît secondaire ; plus importante semble la mission d'intervention et de police dans les territoires d'outre-mer.

Le Portugal dispose déjà de quatre excellents avisos-escorteurs pour ce type d'opérations. Il s'agit de la série **Commandante Joao Belo**, de 2 200 t, réplique des Commandant Rivière français.

Il n'est pas exclu que l'Afrique du Sud n'adopte un type de bâtiment dérivé des **Joao Continho**.



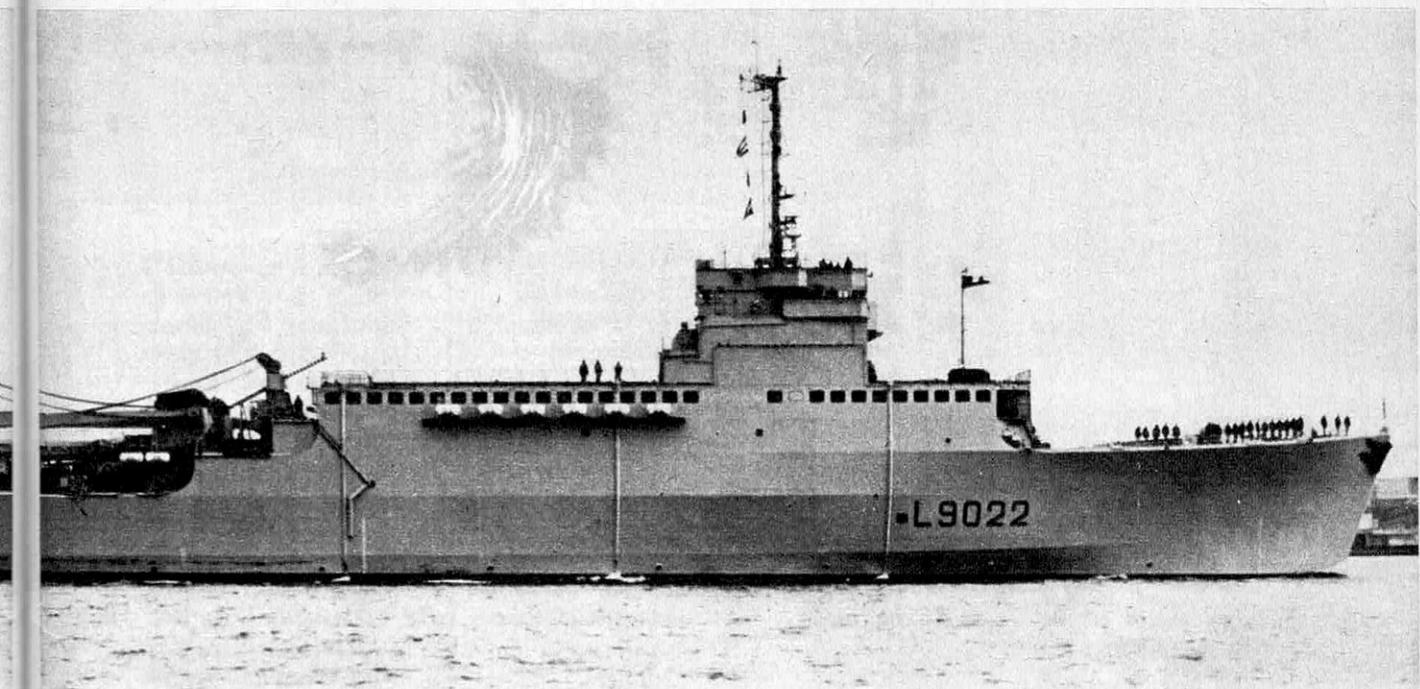
Frère de l'**Ouragan**, le transport d'assaut **Orage** est en service dans la Marine nationale depuis



Les S/VTOL d'appui au sol Harrier commandés par le Marine Corps pourraient opérer à partir de bâtiments d'assaut. Un des premiers Harrier

livrés se livre ici à des essais d'apportage à bord du Guadalcanal, un navire d'assaut porte-hélicoptères de déplacement 17 000 t.

ECP-Armées

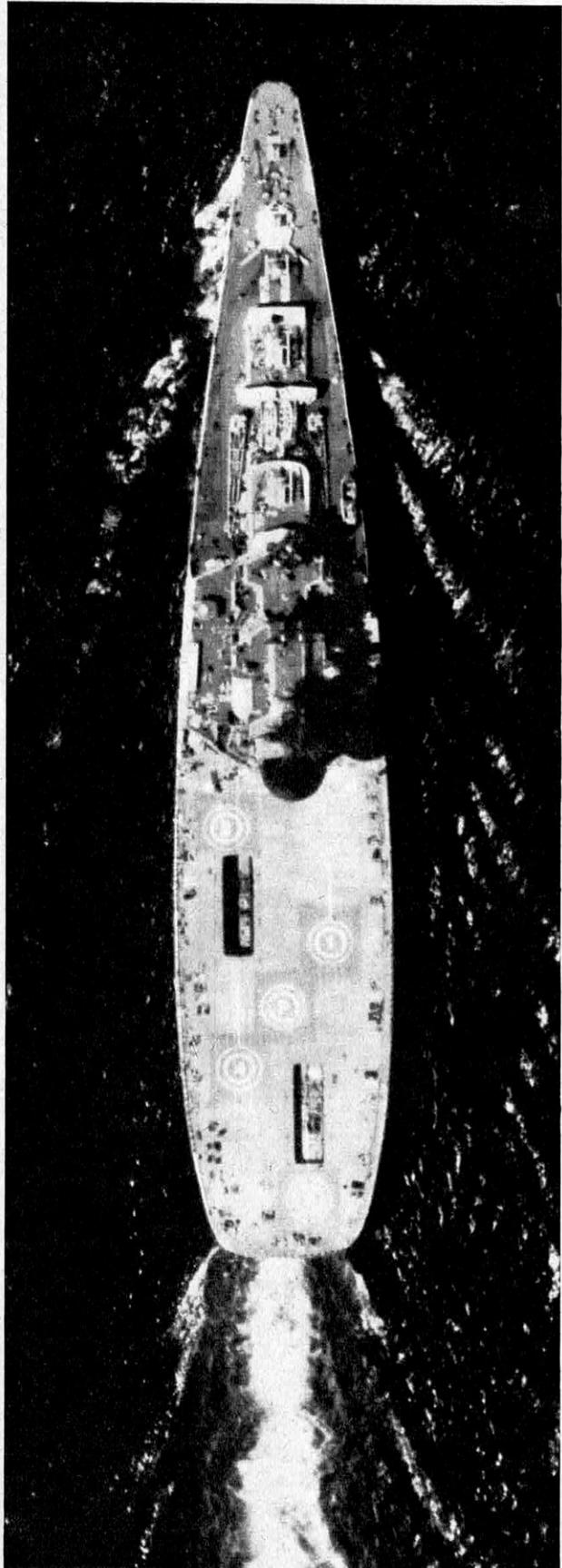


1968. Il peut mettre en œuvre plusieurs hélicoptères du genre Super-Frelon pour la mise à terre

de commandos ou, grâce à son radier immergable, plusieurs péniches de débarquement.

Le croiseur porte-hélicoptères Moskva se caractérise par sa plate-forme d'envol de grandes dimensions et par la concentration vers l'avant des armements anti-aériens et anti-sous-marins. Deux navires de ce type sont en service en U.R.S.S.

Les Kashin, destroyers lance-missiles de déplacement 4 600 t et de vitesse 35 nœuds, existent à une douzaine d'exemplaires dans la Marine soviétique. Celui-ci a été photographié dans l'Atlantique en octobre dernier.



LES PATROUILLEURS RAPIDES LANCE-MISSILES

Après le succès des **Osa** soviétiques et des **Mivtach** israéliens (bâtiments de construction française⁽¹⁾), diverses marines s'intéressent à la formule du patrouilleur rapide (35 nœuds), de faible déplacement (250 t environ), auquel un missile comme l'Exocet (choisi presque unanimement pour armement principal) assure une extraordinaire puissance de frappe.

A souligner toutefois que ces bâtiments ne sauraient convenir pour des missions océaniques. L'état de la mer et la force du vent limitent leur emploi, en raison du tonnage modeste.

(1) Il s'agit des très célèbres « vedettes » de Cherbourg.



US Navy

L'Allemagne fédérale a inscrit à son programme trente canonnières lance-missiles. La construction de vingt d'entre elles a été confiée à la France. La Grèce et la Malaisie ont passé chacune à la France quatre commandes fermes.

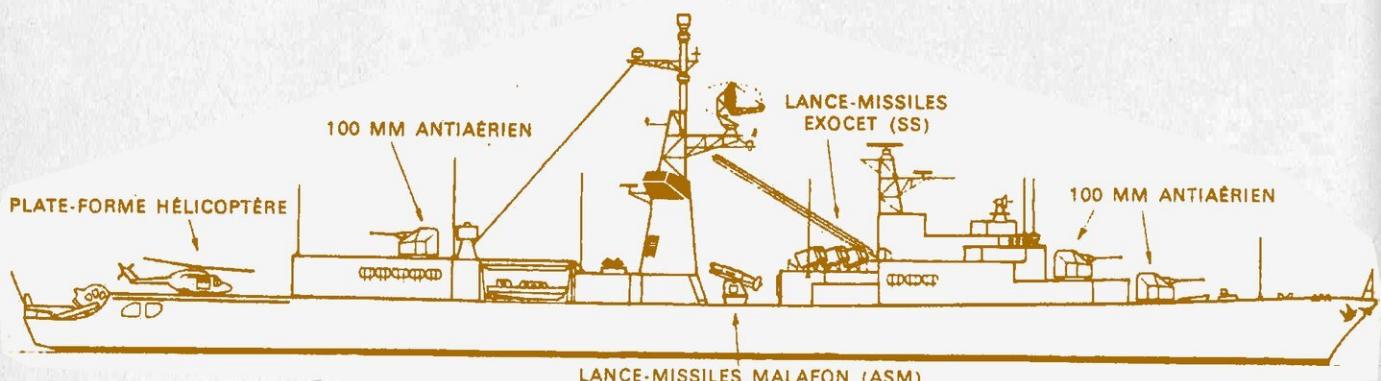
Ce type de bâtiment tend à supplanter les vedettes lance-torpilles dont un modèle récent est le **Shershen** soviétique.

La Suède pourrait doter d'engins anti-surface quelques-unes de ses nouvelles vedettes **Spica**, tandis que les **Dardo** et **Strale** italiens devraient finalement recevoir non des torpilles, mais des missiles **Nettuno**.

Les patrouilleurs et canonnières rapides ne sont pas privés d'artillerie. Bien qu'il charge un peu la plage avant, le 76 mm OTO Melara Compact tend à supplanter les Bofors 57 et 40 mm. Ces bâtiments peuvent aussi recevoir

les nouveaux bitubes de 35 à 40 mm. Dans un proche avenir, les canonnières rapides pourraient grandir. Déjà l'U.R.S.S. a mis en service plusieurs **Nanouchka** de 700-800 t équipés de six missiles anti-surface SS N-9 et les chantiers français proposent d'intéressants modèles du même genre.

Le succès des canonnières rapides tient à leur coût relativement modeste (en raison de leur tonnage) comparé à l'énorme puissance de destruction que leur confère les missiles surface-surface (Exocet, Nettuno, ou même SS12). La précision de certains de ces engins est stupéfiante. Notons au passage que la Norvège a mis en service six petites canonnières (140 t seulement), de type **Storm**, armé du missile Penguin. Moins puissant et de plus faible portée que l'Exocet, cet engin représente cependant une solution intéressante.



Plusieurs unités de la classe Tourville (frégates ASM) devraient entrer en service en France d'ici

1980. Propulsés par turbine à vapeur, ces bâtiments dépasseront 30 nœuds en croisière.

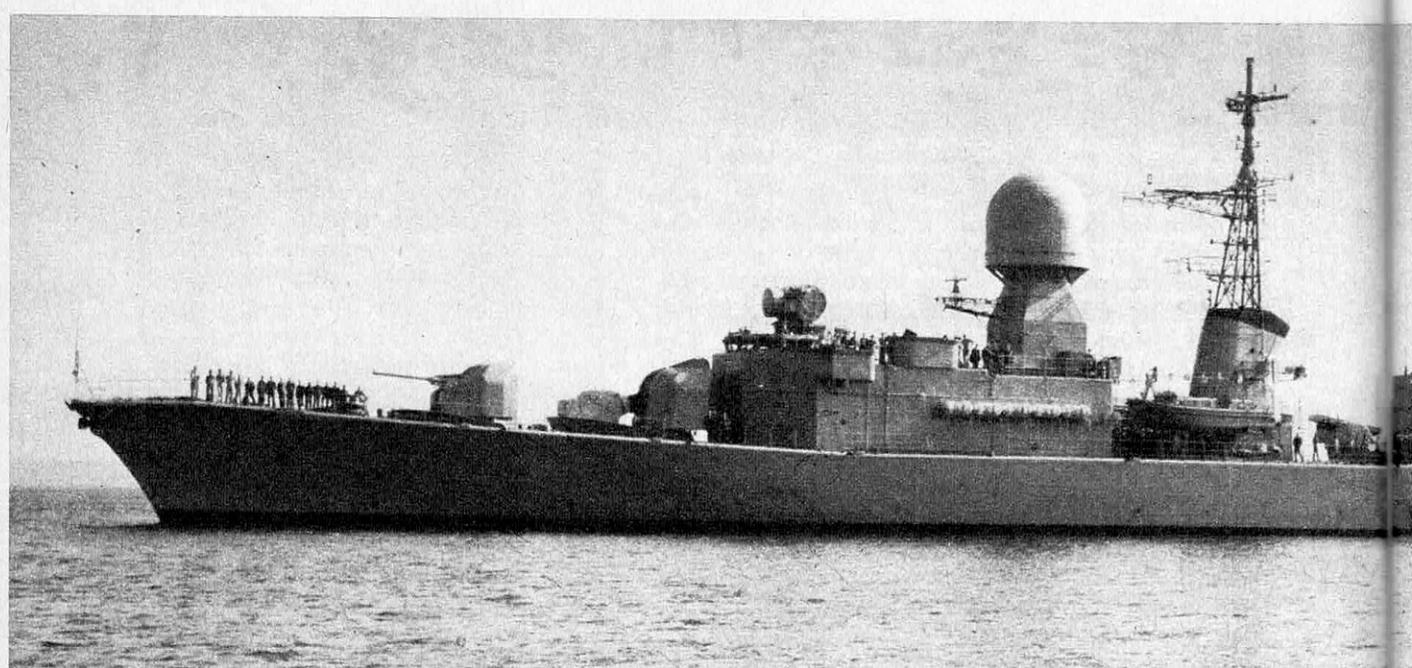
DES MATERIELS TRES SPECIALISES...

Les principales marines étudient des hydroptères et des navires sur coussin d'air (aéroglisseurs). L'US Navy voit dans ces engins des solutions d'avenir pour diverses missions. Des hydroptères militaires sont en projet, en France et en Italie, ou aux essais (cas du Tucumcari américain). Quant aux aéroglisseurs, seuls les Etats-Unis, la Grande-Bretagne et l'Iran (qui en a reçu plusieurs d'un constructeur anglais), ont déjà quelque expérience pratique de leur utilisation militaire (pour la patrouille et les opérations amphibies).

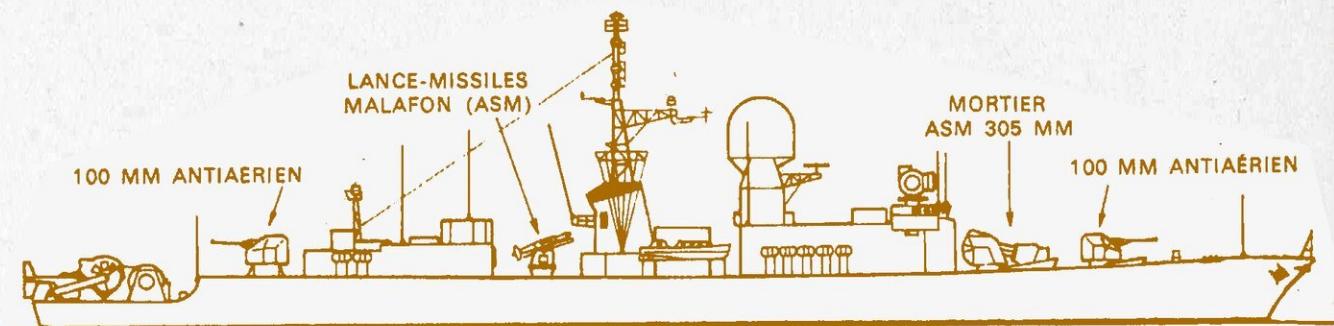
Il faudrait évoquer aussi les bâtiments destinés aux opérations amphibies et au soutien

logistique. L'US Navy construit par exemple cinq LHA, navires « d'assaut » de 40 000 t, et poursuit un programme de LST porte chars d'un type nouveau. Son ambition est de disposer d'engins filant 20 nœuds, c'est-à-dire deux fois plus rapides que leurs frères de la seconde guerre mondiale encore en service. La même tendance se manifeste pour les nouveaux ravitailleurs (séries AOR Wichita, AFS Mars — Sylvana, AE, LKA), bien que l'amiral Zumwalt, chef d'état-major de l'US Navy, estime l'effort encore insuffisant.

Du côté soviétique, il faut mentionner l'apparition du **Boris Chilikin**, ravitaillleur polyvalent de haute mer comparable aux plus récents types alignés par les flottes occidentales. C'est un nouveau témoignage de l'intérêt porté par l'U.R.S.S. à sa flotte de surface océanique.



L'Aconit, vu par bâbord. L'entrée en service est prévue pour cette année. Il sera doté, entre autres, d'un



Lancée en 1970, la corvette Aconit préfigure les frégates F-67 en préparation. Déplaçant 3 000 t,

l'Aconit embarque 260 hommes et officiers et est équipé pour la lutte anti-sous-marin.

L'ENVERS DU DECOR

Est-il besoin de préciser que les techniques les plus évoluées sont appliquées dans la conception des nouveaux bâtiments de guerre ?

Chaudières à haut degré de surchauffe (pour la propulsion par turbines classiques), moteurs diesel légers à hautes performances, turbines à gaz, propulsion nucléaire, tous ces procédés trouvent leur application. L'énergie nucléaire, en particulier, autorise des vitesses doubles de celles pratiquées il y a vingt-cinq ans, et l'autonomie n'est plus limitée que par l'endurance des équipages.

Au chapitre armement, les marines vivent aujourd'hui à l'heure des missiles, qui remplacent l'artillerie traditionnelle. Ces projectiles multiformes sont capables de frapper

avec la plus haute précision aussi bien l'avion volant à Mach 2 que des centres industriels importants, des navires de surface ou des sous-marins évoluant en profondeur. La mise en œuvre de ces nouveaux armements implique un recours toujours plus poussé à l'électronique et à l'informatique. Ces deux disciplines sont devenues déterminantes dans la conception de tout nouveau navire de guerre.

Qu'il s'agisse de navigation, de transmissions, de détection aérienne (radars) ou sous-marin (sonars), de traitement de l'information (systèmes NTDS aux U.S.A., SENIT en France, ADA en Grande-Bretagne) ou de guidage des missiles, les systèmes deviennent chaque jour plus élaborés et absorbent un pourcentage toujours plus élevé du volume disponible à bord et du coût de la construction. La qualification technique des équipages et des états-majors doit être à la mesure de ces équipements. Le problème se pose d'ailleurs dans des termes analogues pour le matériel des forces aéronavales. La formation du personnel, l'engagement à long terme d'un pourcentage croissant de spécialistes sont des objectifs essentiels.

Les circonstances font la vie particulièrement difficile à la marine française, qui doit envisager le renouvellement d'une grande partie de sa flotte d'ici à 1980. Mais ces problèmes ne lui sont pas vraiment propres. Partout dans le monde, des programmes de construction ont été lancés. À ce propos, les succès remportés à l'étranger par les matériels français montrent que notre pays dispose de larges possibilités techniques propres à aider à la solution de ses problèmes militaires.

On ne peut que souhaiter que nos gouvernements sachent opérer les choix indispensables et que la suite dans les idées ne leur fasse pas défaut pour en assurer la concrétisation.



sonar remorqué pour la détection des sous-marins.

Henri LE MASSON
de l'Académie de Marine

Les navires-laboratoire

L'océanographie moderne a 100 ans. Tout le monde est d'accord pour estimer qu'elle a débuté avec la croisière du **Challenger**. De 1872 à 1876, cette corvette britannique a étudié les principaux océans (Atlantique, Pacifique et Indien) au long d'un périple de 68 890 milles nautiques (soit 125 000 km). Le personnel scientifique du Challenger était réduit à six hommes, alors que l'équipage comptait quelque 250 hommes. L'équipement, bien que modeste, comprenait ce qui se faisait de mieux à l'époque (treuils à vapeur, courantomètres, chaluts, dragues et sondes pour grandes profondeurs...) et quelques petits laboratoires avaient pris la place des dix-huit canons de cet ancien navire de guerre. Les conditions de vie étaient dures à bord : on dénombra soixante et un déserteurs, soit près de 24 % de l'effectif.

La publication des résultats de l'expédition ne nécessita pas moins de cinquante gros livres. Parmi les trouvailles les plus remarquables à mettre à l'actif du Challenger, il faut citer la découverte des fameux nodules polymétalliques — plus communément appelés nodules de manganèse — auxquels les grands pays commencent aujourd'hui à s'intéresser de très près.

Les navires scientifiques de la fin du XIX^e siècle et de la première moitié du XX^e siècle (jusqu'à la deuxième guerre mondiale) reçurent de nombreuses améliorations. Mais c'est seulement depuis vingt ans que sont apparus de véritables navires océanographiques,

laboratoires flottants conçus pour le travail à la mer.

Il y a d'abord la flottille des petits bateaux (quelques dizaines de tonnes) pour les campagnes de courte durée effectuées au voisinage des côtes. Souvent, ces navires sont des chalutiers aménagés utilisés pour prélever des échantillons qui seront étudiés à terre. L'essor des vingt dernières années porte plutôt sur les bâtiments de haute mer.

DES CARACTÉRISTIQUES COMMUNES

Quelles que soient leur taille et leur mission, les bateaux océanographiques de haute mer doivent permettre aux spécialistes d'y travailler dans les meilleures conditions possibles. Ils sont donc confortables : tous les navires modernes sont entièrement climatisés. Les laboratoires, aussi spacieux que possible, sont dotés des équipements nécessaires à l'étude immédiate des échantillons d'eau de mer, de sédiments ou d'organismes marins ou au stockage d'une partie de ceux-ci. Des stabilisateurs anti-roulis diminuent considérablement l'effet de la houle : une gîte de 25° sera ainsi ramenée à 12°. Certains des plus récents navires sont même des catamarans, deux coques donnant plus de stabilité qu'une seule. Le tout nouveau **Hayes** de la Marine américaine a ainsi deux coques déplaçant au total 3 080 t, réunies par une superstructure commune.

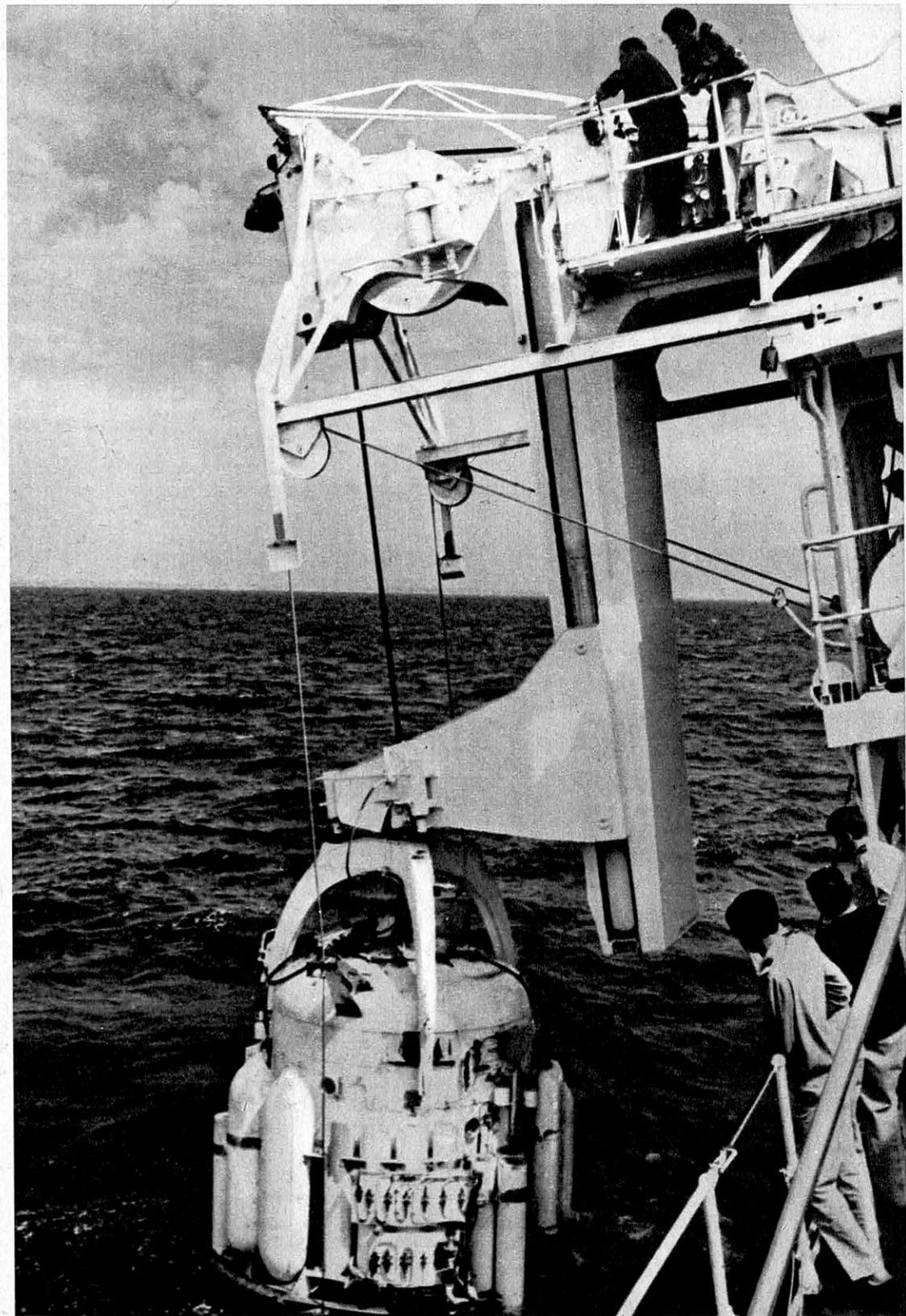
Des hélices placées dans des tunnels trans-

Marine Nationale



Le Triton, du Groupe d'études et de recherches sous-marines de Toulon, peut, à bien des égards, être considéré comme un laboratoire océanographique. Il sert à l'expérimentation des moyens de plongée les plus divers et des techniques d'observation sous-marine. En page de droite, la mise à l'eau depuis le Triton d'une tourelle-ascenseur.

Les navires océanographiques de fort tonnage n'ont plus grand chose de commun avec le Challenger à la croisière célèbre. Du Jean-Charcot aux unités battant pavillon américain ou allemand, il s'agit de navires dotés d'équipements coûteux et offrant des conditions de travail confortables.



versaux ou, comme sur **Knorr** américain, des propulseurs à axe vertical remplaçant les hélices classiques dotent ces navires d'une manœuvrabilité parfaite leur permettant de se maintenir au-dessus d'un site de travail en dépit du vent et du courant. Des grues et des treuils assurent la descente et la remontée des instruments de mesure et de prélèvement, aussi bien des bouteilles à eau de mer et des thermomètres que des chaluts ou carottiers de grandes profondeurs.

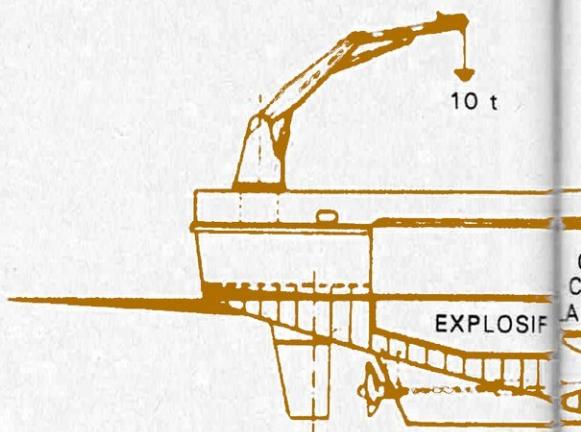
Ces instruments sont descendus, soit par les flancs du navire, soit par l'arrière, soit par un puits aménagé au milieu du bateau, là où le tangage et le roulis sont les moins sensibles. Treuils et grues permettent aussi le remorquage de magnétomètres, d'appareils génératrices d'ondes sismiques ou d'hydrophones indispensables aux études d'acoustique. Ausculter les fonds marins est déjà bien, mais les voir est encore mieux. C'est ce que font caméras et appareils photo accrochés à des câbles longs parfois de plusieurs kilomètres. Des ballons et même parfois des fusées-sondes sont lancés depuis les navires, ce qui permet d'associer l'étude de l'atmosphère aux recherches proprement marines (on sait à quel point les échanges d'énergie entre l'océan et l'atmosphère conditionnent les climats sur l'ensemble de notre planète). Dans le même temps, thermomètres, hygromètres, anémomètres mesurent continuellement, depuis le bateau même, divers paramètres météorologiques. D'autres appareils enregistrent en permanence la température, la salinité (éventuellement la teneur en oxygène), et la réaction de l'eau de mer dans laquelle baigne la coque.

La position du navire doit être donnée avec la plus grande précision possible : près des côtes, les chaînes de radionavigation Loran, Toran ou Decca font l'affaire. En plein océan, seuls les satellites de navigation peuvent situer le navire avec suffisamment de précision. Cependant, en dépit de l'utilité évidente d'un positionnement très précis par satellite, les navires océanographiques ne sont pas encore tous équipés des systèmes correspondants, qui sont fort coûteux.

LES GRANDES UNITES

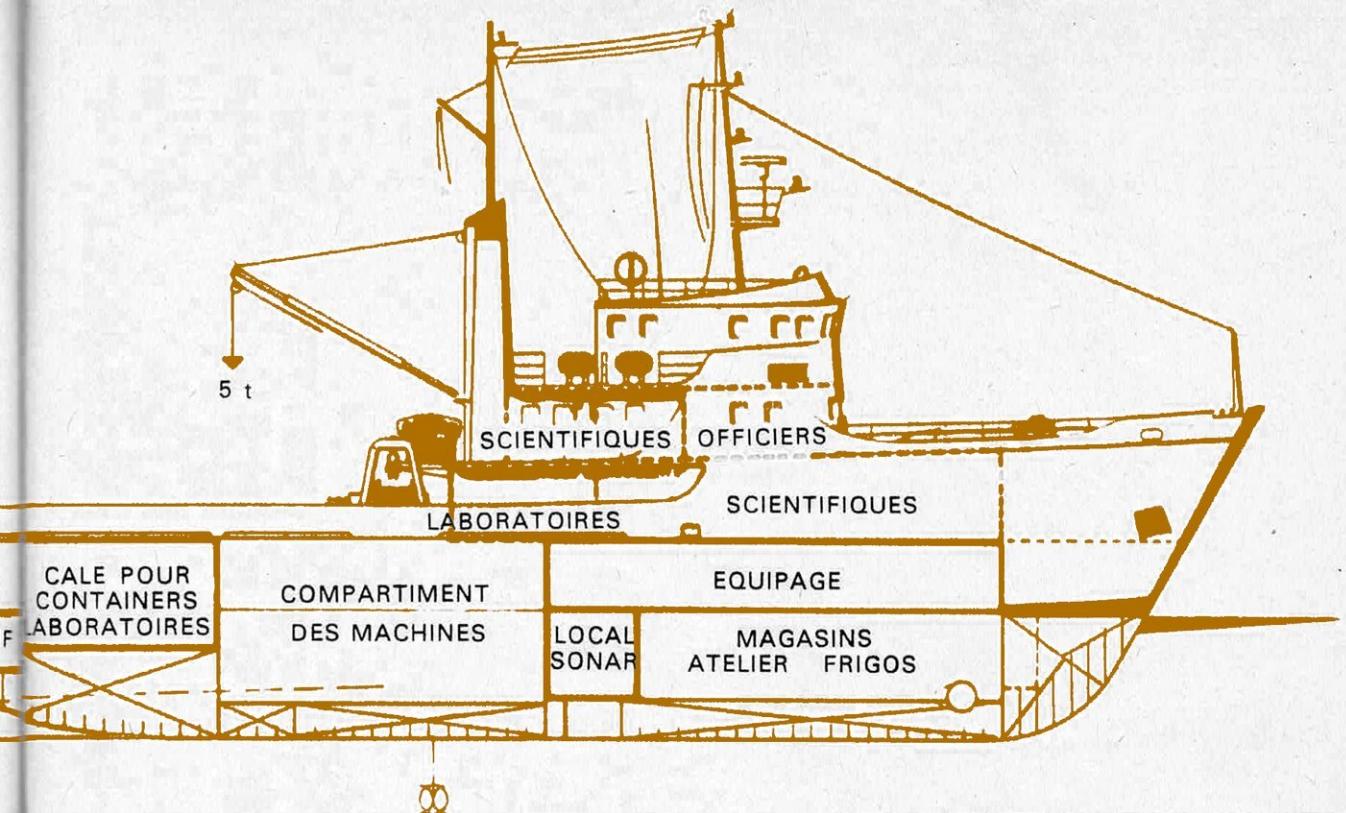
Les grands navires océanographiques ont une autonomie de 15 000 à 20 000 km. Ils effectuent ainsi de longues croisières pendant lesquelles s'accumulent d'énormes quantités d'informations dans divers domaines : physique et chimie de l'eau de mer, biologie, géologie et géophysique... Il est intéressant de commencer le dépouillement de ces données alors que le bateau est encore en mer. De plus en plus, pour cette raison, ces bâtiments océanographiques sont équipés d'ordinateurs de bonne taille.

Armé par le CNEXO, le Noroît est le premier d'une série de bâtiments océanographiques de tonnage moyen à vocations multiples. Après une campagne d'étude des échanges d'eau entre Atlantique et Méditerranée en 1971, le navire a à son programme 1972 l'étude de la répartition des « nodules polymétalliques » dans l'océan Pacifique.

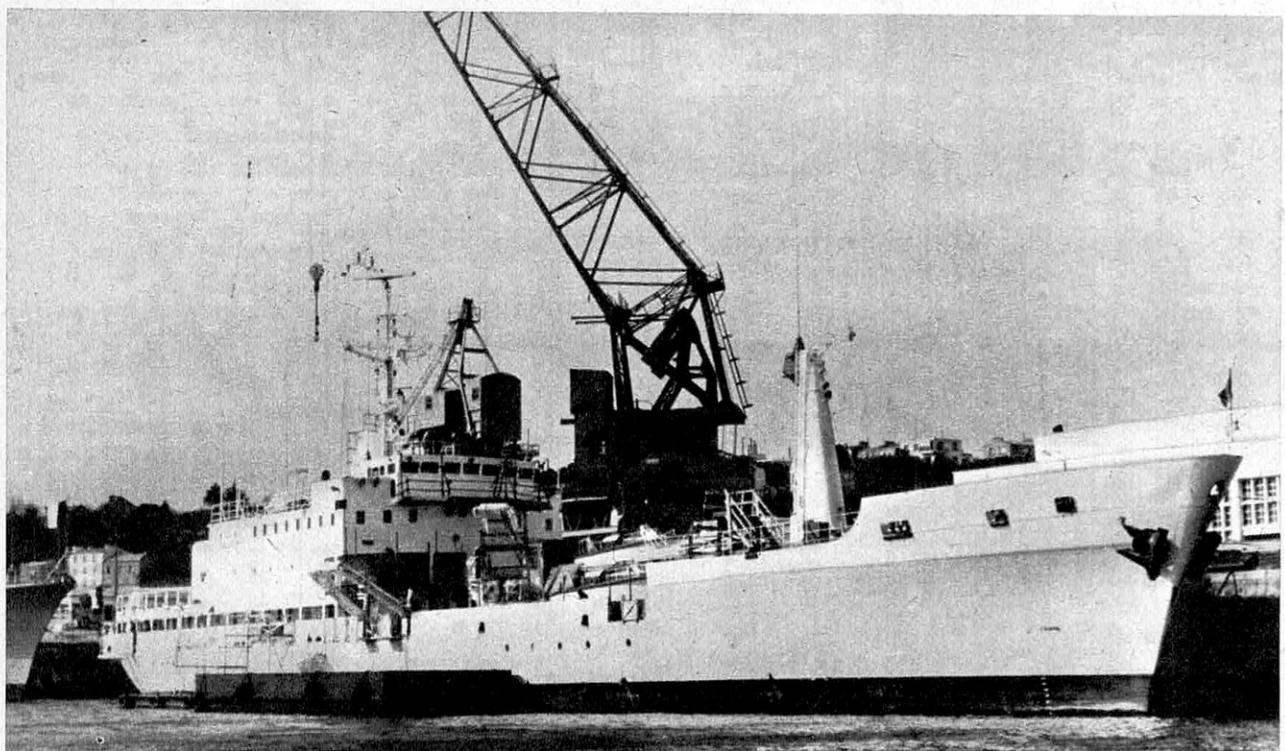


Avec tous ces équipements, on comprend que les navires océanographiques soient des bâtiments coûteux. Le prix de construction du **Jean-Charcot** — le navire « amiral » de la flotte océanographique française — a été estimé en 1966 à 20 millions de francs. L'**Oceanographer**, le **Researcher** et le **Hayes** américains ont coûté, le premier (en 1967) 10 millions de dollars (52 millions de francs) ; le second, en 1970, 8,3 millions de dollars (43,16 millions de francs) ; le troisième, en 1971, 16 millions de dollars (83,2 millions de francs). De plus, la journée d'un grand navire océanographique coûte cher : de 2 500 à 6 000 dollars (de 13 000 à 31 200 francs). A lui seul, l'équipement indispensable au travail en mer vaut une fortune : 1 million de dollars (5,2 millions de francs) pour le seul Data Acquisition System du Researcher américain ; 1 million de francs pour le système de navigation par satellites qui équipera le nouveau **Noroît** français (lequel ne déplace que 870 t).

Actuellement, les laboratoires occupent une bonne place à bord des grands navires océanographiques : 3 060 m² sur l'**Oceanographer**, 3 965 m² sur le **Discover** (ce dernier chiffre comprenant, en plus des laboratoires proprement dits, le centre de données, le local du gravimètre, le bureau des météorologistes et le laboratoire photographique). Le nombre des scientifiques et techniciens embarqués n'a plus rien de commun avec l'équipe de six chercheurs qui avaient pris place à bord du **Challenger**. Sur l'**Oceanographer**, navire de 3 800 t appartenant à la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) américaine, l'équipe scienti-



En service depuis 1971, le *d'Entrecasteaux* peut effectuer des levés océanographiques par 6 000 mètres de fond. Ce bâtiment, déplaçant 2 400 t à pleine charge, est doté de plusieurs propulseurs orientables pour la marche très lente.



Marine Nationale

fique peut atteindre 54 chercheurs et techniciens pour 63 officiers et hommes d'équipage. Avec un bateau légèrement plus petit comme le *Discovery* britannique (2 665 t), les chiffres sont respectivement de 20 et 45 ; sur le *Meteor* allemand (2 200 t) on arrive à 24 et 52 ; l'*Atlantis II* américain (2 300 t) prend à son bord 25 chercheurs et 31 membres d'équipage ; le *Jean-Charcot* français (2 200 t) peut emmener 29 scientifiques et 34 hommes d'équipage.

LES SOVIETIQUES EN TETE

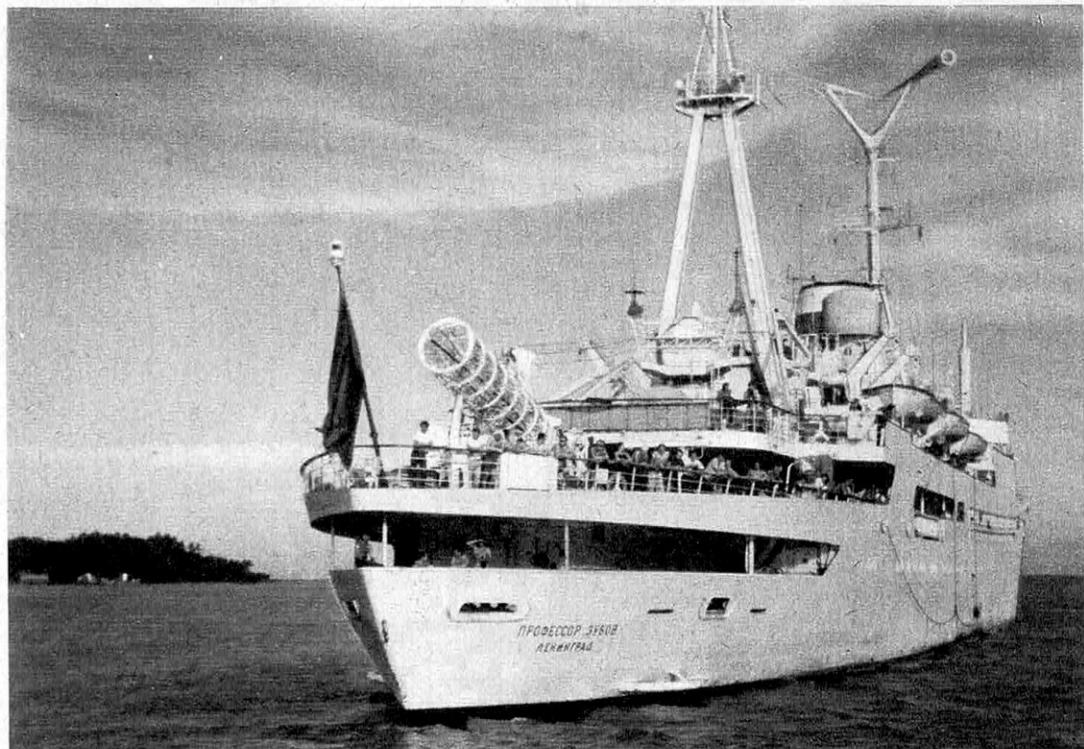
La flotte océanographique mondiale est très inégalement répartie. La France, la Grande-Bretagne et l'Allemagne fédérale possèdent un certain nombre de bâtiments de taille moyenne (déplaçant moins de 1 000 t), mais elles n'ont chacune, en revanche, qu'un seul grand navire océanographique. Il s'agit, respectivement, du *Jean-Charcot* (2 200 t), du *Discovery* (2 665 t) et du *Meteor* (2 200 t). Les Etats-Unis, eux, en ont au moins une vingtaine dont la qualité « civile » est parfois difficile à déterminer. Le *Kane* (2 634 t), par exemple, est la propriété de la Navy, mais son équipage est civil. Ses recherches sur l'acoustique sous-marine et les fonds marins ont d'ailleurs des aspects militaires indéniables. De même, le *Knorr*, qui porte aussi le

numéro AGOR-15 (Auxiliary General Oceanographic Research), a été construit par l'Office of Naval Research de la Marine américaine mais celui-ci l'a affecté à la Woods Hole Oceanographic Institution, un des principaux instituts américains de recherche océanographique. A noter qu'en juin 1966, le *Silas-Bent* (2 624 t), frère jumeau du *Kane*, s'est vu refuser l'entrée du port de Leningrad. Bien que destiné à être visité par les participants au congrès international d'océanographie qui se tenait alors à Moscou, ses multiples radars, sonars, système de navigation par satellite, etc., avaient probablement inquiété les autorités soviétiques.

Les navires océanographiques soviétiques constituent un cas à part. Seuls les Russes font naviguer des séries de bâtiments énormes, souvent construits en Allemagne de l'Est et en Pologne. Dès 1949, le cargo *Mars*, déplaçant 5 700 t, était, sous le nom de *Vitiaz*, transformé en navire de recherches océanographiques. En 1957 naissait le *Mikhaïl-Lomonossov* de 5 960 t.

Depuis, des escadres entières de très gros bateaux sont entrées en service. L'*Akademik-Kourtchatov*, qui déplace 6 700 t, compte au moins sept frères (*Professeur-Vize*, *Akademik-Chirchov*, *Akademik-Korolev*, *Professeur-Zoubkov*, *Akademik-Vernadsky*, *Dimitri-Mendéléev*, *Nevelskov*). Chacun emmène 80 ou 90 scientifiques et leur équipage comprend de

Les Soviétiques sont particulièrement bien équipés en navires océanographiques de fort tonnage. Le « Professeur-Zoubov », ci-dessous, est destiné à la recherche hydrométéorologique. Il peut d'ailleurs tirer des fusées-sondes à 180 km d'altitude.



90 à 160 personnes. A Bordeaux, l'an dernier, l'Akademik-Vernadsky prenait, avec ses 6 828 t, des allures de paquebot à côté du Jean-Charcot, du Kane et de la frégate météorologique France II (2 200 t).

Le Professeur-Zoubov, lui, est équipé pour la recherche hydrométéorologique. Il est allé en Guyane en décembre 1971 participer à une campagne franco-soviétique de tirs de fusées-sondes. Il peut en effet lancer des fusées météorologiques MR-12 jusqu'à une altitude de 180 km et les suivre dans un rayon de 150 km. L'instant exact du tir est déterminé par un ordinateur au moment où la gîte du navire est nulle.

Viennent enfin, chez les Soviétiques, les véritables monstres, les stations flottantes de poursuite et de télémesure indispensables pour suivre les vols d'engins spatiaux habités ou non. Hérissés d'antennes, surmontés d'enormes radômes, ces navires d'un genre unique jouent peut-être aussi le rôle de stations d'écoute. Au moins onze sont en service : le Dolinsk, le Bejatza, le Ritsna, l'Axaï, le Morovetz, le Kegostrov, le Nevely, le Borovitchi et surtout les très gros Kosmonaut-Vladimir-Komarov (17 580 t), Akademik-Korolev (22 000 t) et Kosmonaut-Youri-Gagarine, véritable mammouth avec ses 45 000 t. Peu de détails sont connus sur ces navires, en particulier sur le Kosmonaut-Youri-Gaga-

rine entré en service en décembre 1971. On sait qu'il a 231 m de long, qu'il compte onze ponts et que 62 m séparent la pointe de ses antennes du bas de sa quille. Quatre antennes paraboliques (dont deux de 30 m de diamètre) sont dissimulées par de gigantesques radômes. A bord, une centaine de laboratoires sont aménagés pour les chercheurs, le nombre de ceux-ci n'étant pas connu. On sait, par contre, que le « petit » Kosmonaut-Vladimir-Komarov embarque 240 personnes (dont 126 pour l'équipe scientifique) et que l'Akademik-Korolev emmène 300 personnes en tout.

Un peu moins gros que le Kosmonaut-Youri-Gagarine, les bâtiments de la série des Vostok déplacent tout de même 43 000 t et filent à 18 noeuds (32,5 km à l'heure). Il est vrai qu'ils sont à la fois bateaux-laboratoires et navires-usines capables de se suffire à eux-mêmes pendant quatre mois et de traiter chaque jour 300 t de poissons. Ils mettent à l'eau 14 chantiers de 14 m de long.

Indépendamment de ces monstres un peu trop spécialisés, est-il souhaitable de construire des navires de recherche océanographique de 6 000 et 7 000 t ? On en débat, même en U.R.S.S. où pourtant la notion de rentabilité est rarement prise en considération.

Yvonne REBEYROL

LES SOUS-MARINS MINIATURES

Après les premiers bathyscaphes, engins très particuliers dont l'intérêt reste considérable, des dizaines de sous-marins miniature ont vu le jour, surtout aux Etats-Unis. Leur coût opérationnel élevé, joint à une vocation trop imprécise, leur a souvent interdit une carrière effective. Les exigences des utilisateurs, pétroliers en particulier, commencent toutefois à se préciser.

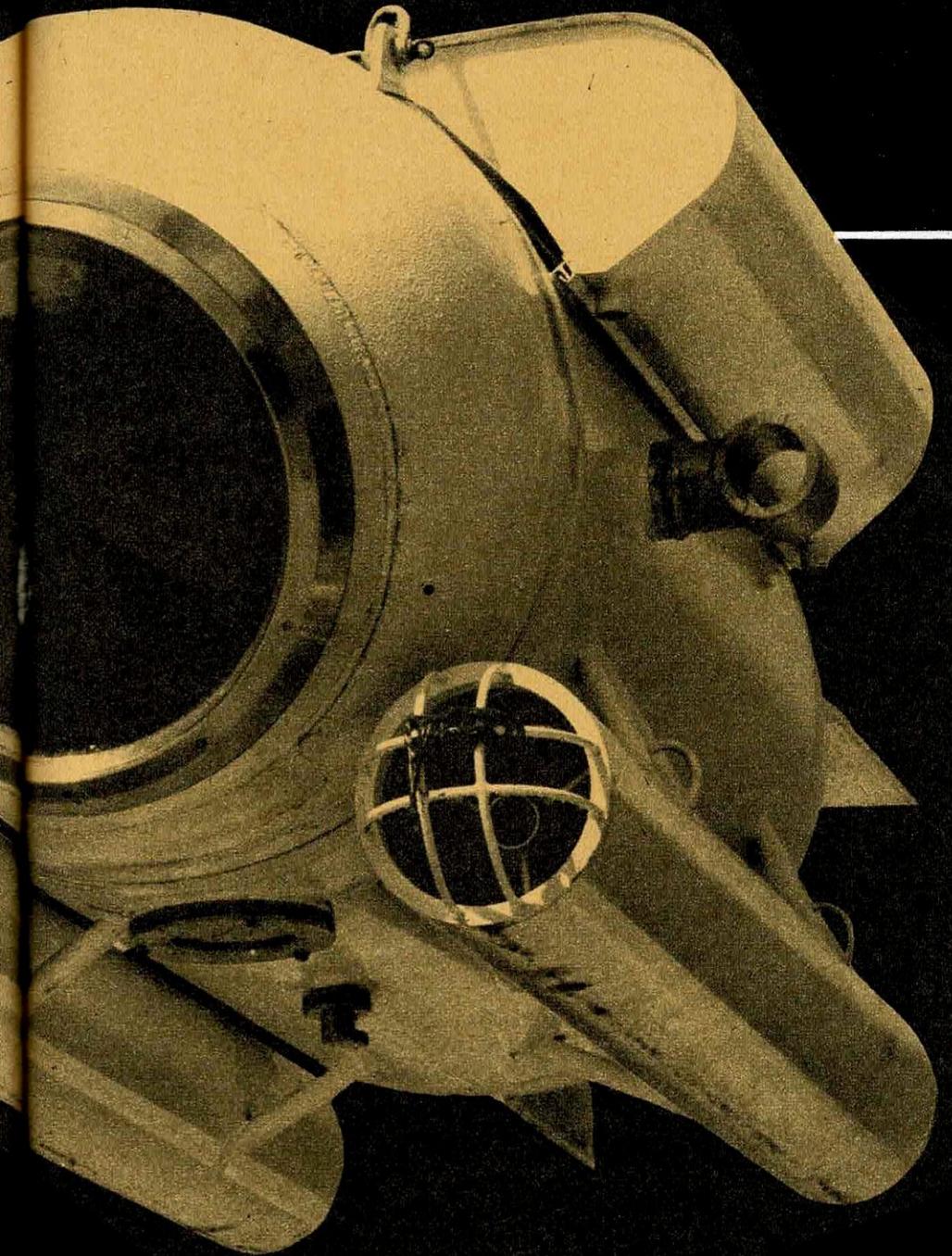
Le 26 octobre 1948, devant Dakar, le bathyscaphe **F.N.R.S. II** plongeait pour la première fois avec comme passagers l'un de ses inventeurs, le professeur Auguste Piccard et le professeur Théodore Monod, alors directeur de l'Institut français d'Afrique noire. La performance fut modeste puisque l'engin ne descendit qu'à 25 m... La deuxième plongée d'essai, à vide celle-là, amena l'engin sans dommage à 1 380 m sous la surface de l'Atlantique, mais elle révéla que le **F.N.R.S. II** ne pouvait résister au remorquage et aux vagues.

Si imparfait soit-il, ce premier bathyscaphe a ouvert une ère nouvelle, celles des sous-marins expérimentaux et des sous-marins dont l'usage n'est pas uniquement militaire.

Ce début malheureux ne découragea pas les tenants du bathyscaphe. Une convention fut signée en octobre 1950 entre le **F.N.R.S.** (Fond national de la recherche scientifique belge qui avait subventionné la construction du **F.N.R.S. II** ⁽¹⁾), le **C.N.R.S.** et la Marine française. L'arsenal de Toulon était chargé de construire un second engin, le **F.N.R.S. III**, en munissant la sphère du **F.N.R.S. II** d'un nouveau flotteur. Très vite un désaccord complet sépara l'équipe Piccard et les ingénieurs français. Laissant notre Marine travailler sur le **F.N.R.S. III**, Piccard entreprit, avec l'aide d'un groupe italo-suisse et de la Marine ita-

¹⁾ Le **F.N.R.S. I** était le ballon stratosphérique du professeur Piccard, financé par le même organisme.





Le Nérée,
un engin
prototype pour
essais de
composants
construit par
la Comex. Il
annonce
peut-être une
nouvelle
génération
de sous-marins
de travail,
légers, robustes
et d'emploi
économique.

lienne, la réalisation d'un autre bathyscaphe baptisé **Trieste**.

Mis à l'eau en août 1953, le **Trieste** emmena le 30 septembre de la même année Auguste Piccard et son fils Jacques à 3 150 m sous la surface de la Méditerranée. Pendant ce temps, à Toulon, la construction du F.N.R.S. III s'était poursuivie. Le premier essai devança même de deux mois celui du **Trieste**, mais le F.N.R.S. III n'atteignit que le 15 février 1954 sa profondeur limite de 4 050 m au large de Dakar. Quant au **Trieste**, vendu aux Etats-Unis et muni d'une nouvelle sphère, il atteignait, le 23 janvier 1960, la profondeur record de 10 916 m, record jamais battu à ce jour. Reconstruit avec l'ancienne sphère et un nouveau flotteur, l'engin a reçu le nom de **Trieste II**. La Marine américaine l'utilise notamment à des travaux d'acoustique sous-marine, mais il ne peut plus descendre au-delà de 6 000 m.

Conçu pour des profondeurs opérationnelles de 5 000 m, l'**Aluminaut** est un des plus lourds sous-



DE L'ARCHIMEDE AUX SOUS-MARINS D'INTERVENTION

NAUFRAGE ET RECUPERATION DE L'ALVIN
Le 16 octobre 1968, l'**Alvin** coulait. Le naufrage ne faisait pas de victime, heureusement. Mais le petit sous-marin reposait désormais sous les eaux de l'Atlantique par 1 540 m de fond, à 200 km au sud-est du cap Cod (Massachusetts). Les recherches conduites par le D.O.W.B. (Deep Ocean Work Boat), autre sous-marin expérimental, furent infructueuses et très vite interrompues par le mauvais temps. Le 16 août 1969, l'**Aluminaut** (sous-marin en compagnie duquel l'**Alvin** avait travaillé à Palomares) et le **Mizar**, navire de surface spécialisé dans le repérage et le relevage d'objets perdus en mer, reprirent les recherches.

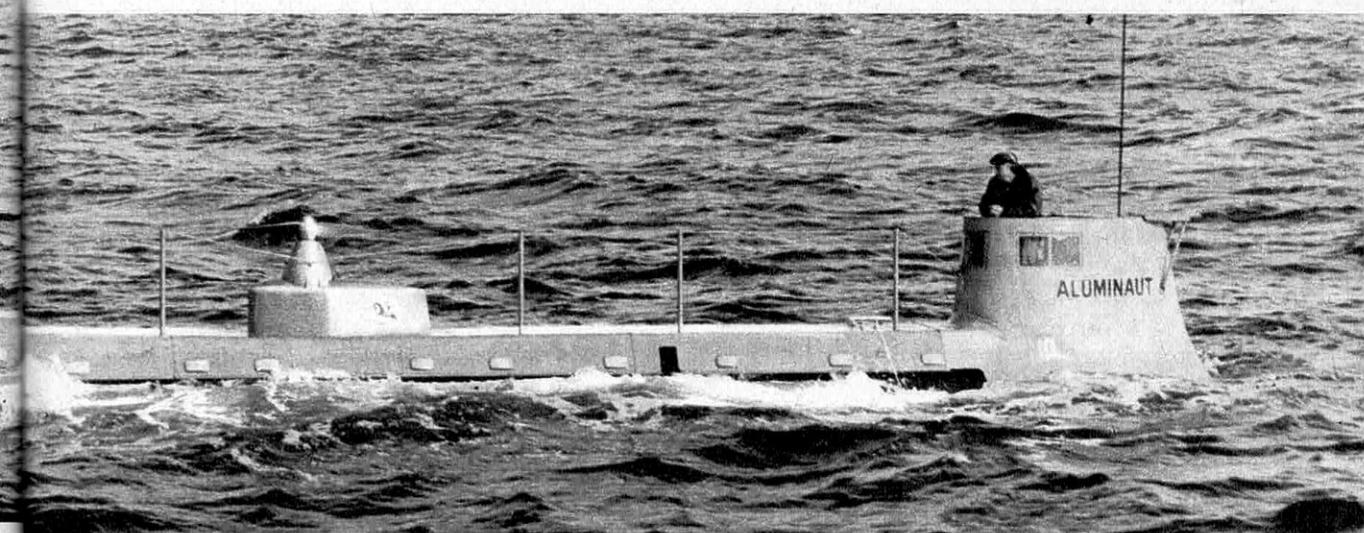
Grâce à ses deux bras mécaniques, l'**Aluminaut** réussit le 28 août à accrocher un filin sur l'**Alvin**. La grue du **Mizar** put remonter le sous-marin accidenté. Avec ses 4,5 t, l'**Alvin** est l'objet le plus lourd ramené d'une telle profondeur. Cette récupération de l'**Alvin** a été l'occasion d'une découverte inattendue. Lorsque les trois passagers échappèrent, de justesse, au naufrage du petit sous-marin, ils abandonnèrent leur pique-nique. Après dix mois et demi de séjour par 1 450 m de fond (donc à une pression de 146 bars) dans l'eau à 3 °C, les sandwiches, les pommes et le bouillon contenu dans une bouteille thermos étaient dans un état de fraîcheur étonnant. Aucun produit, échappé des batteries par exemple, n'avait fait office d'agent de protection. Des fragments de ce pique-nique replacés dans des conditions normales moisissaient ou pourrissaient très rapidement, tandis que d'autres, soumis seulement à une température de 3 °C, se gâtaient plus lentement. Quatre chercheurs effectuèrent une série d'essais systématiques, avec échantillons séjournant à 5 000 m de profondeur (pression de 501 bars) pendant des périodes variées et témoins à 3 °C sous pression normale. Tous les résultats furent concordants : le séjour sous hautes pressions ralentit fermentation et décomposition et ceci dans des proportions considérables.

La période des bathyscaphes n'était pas terminée. Les possibilités de travail et d'équipement du F.N.R.S. III étaient très limitées, ce qui est normal dans un engin d'un type aussi nouveau. Dès juin 1958, la Marine nationale, le C.N.R.S. et le F.N.R.S. signaient une convention pour la construction d'un quatrième bathyscaphe capable de descendre dans les fosses océaniques les plus profondes (c'est-à-dire à 11 000 m), de supporter un remorquage plus rapide que le F.N.R.S. III, d'emporter (à l'intérieur ou à l'extérieur de la sphère) un important matériel scientifique, disposant, enfin, de beaucoup d'énergie et doté d'une bonne manœuvrabilité. Ainsi naquit l'**Archimède**, le seul engin existant actuellement auquel tous les fonds océaniques sont accessibles. La mise à l'eau eut lieu en juillet 1961. Aujourd'hui, deux bathyscaphes sont donc en état de service, le **Trieste II**, aux Etats-Unis, et l'**Archimède**, en France (le F.N.R.S. III a été retiré du service en 1960). Les bathyscapthes ont des qualités exceptionnelles : ils sont à la fois les seuls à pouvoir atteindre les grandes profondeurs et à emporter une charge utile vraiment importante (qui décroît cependant lorsque la profondeur de plongée augmente, un bathyscaphe devant lâcher, pour remonter, une quantité de lest qui varie en fonction de la profondeur). Mais ces capacités mêmes en font des engins lourds et chers qui doivent être accompagnés de navires de surface assez importants, et dont on doit refaire le plein d'essence, de gaz comprimé, d'oxygène, et recharger les batteries avant chaque plongée.

La période des petits sous-marins moins lourds et moins chers, destinés à l'étude des tranches

marins d'intervention disponibles. Sa coque a été, à titre de démonstration, entièrement construite

en aluminium. L'équipage est de trois hommes et la vitesse en plongée de moins de 4 nœuds.



supérieures des océans n'a commencé que onze ans après celle des bathyscaphes. C'est en 1959 seulement qu'est devenu opérationnel le premier véhicule de ce type, la soucoupe plongeante S.P. 300 construite par l'Office français de recherches sous-marines (une société privée du groupe Cousteau dont le nom a été changé depuis en Centre d'études marines avancées). Encore cette première soucoupe est-elle restée exemple unique de mini-sous-marin pendant assez longtemps. Elle avait pourtant fait preuve de qualités : sa maniabilité est remarquable et son poids de 2,25 t permet, par beau temps, à une grue de puissance moyenne de la mettre à l'eau et de la récupérer. Au cours d'un séjour qu'elle fit aux Etats-Unis en 1964 et 1965, louée par Westinghouse, elle permit à des chercheurs américains d'effectuer des travaux *in situ* dans des disciplines très variées (acoustique, biologie, géologie, océanographie physique), de prélever de petits échantillons ou de prendre des photos du monde sous-marin.

En 1960, les Japonais construisaient le *Kuroshio*, auquel l'énergie est apportée depuis la surface par un « ombilical ».

A partir de 1963, le mouvement s'amplifiait rapidement : toutes les grandes sociétés américaines, notamment celles spécialisées dans l'électronique ou l'espace, voulaient construire leur sous-marin. L'océan, en effet, semblait à l'époque devoir être le successeur de l'espace en tant que bénéficiaire de crédits largement dispensés par le gouvernement américain. Malheureusement, personne ne se soucia de faire précéder les études et les réalisations (d'autant plus coûteuses que, dans la plupart des cas, chaque engin est un exemple unique) d'une sérieuse étude de marché. Si bien que la soixantaine de sous-marins expérimentaux existant actuellement est, dans sa grande majorité, « dans la

naphtaline », ou tout au moins très sous-employée.

En dépit de leur extrême diversité, les sous-marins existants ont, presque tous des défauts et des qualités communes.

DES ENGINS COUTEUX ET DIFFICILES A METTRE EN ŒUVRE

Leur prix est souvent élevé. Le coût de construction est rarement connu avec précision : il est en effet difficile de savoir ce qu'il faut faire entrer dans les frais de réalisation d'un prototype. Un record du genre est sans doute détenu par le NR-1 de la Marine américaine, le seul sous-marin expérimental recevant son énergie d'un réacteur nucléaire. Son prix est passé — d'après les informations qui ont pu filtrer malgré le secret militaire — de 30 millions de dollars (156 millions de francs¹⁾) à 100 millions de dollars (520 millions de francs). Les DSRV (Deep Submergence Rescue Vehicle) ont coûté encore plus cher. Il s'agit des sous-marins de sauvetage dont l'étude et la construction furent décidées après la perte du sous-marin atomique Thresher, en 1963. La Marine américaine voulait disposer d'engins permettant de sauver l'équipage d'un sous-marin bloqué sur le fond, étant bien entendu que la profondeur de ce fond ne serait pas supérieure à la profondeur d'écrasement du submersible (probablement 600 à 800 m pour les sous-marins nucléaires). Amené au plus près par avion, le DSRV est arrimé sur le dos d'un sous-marin porteur qui l'amène vers le submersible en détresse. Il va alors se poser

¹⁾ Au cours actuel de 5,20 F pour 1 dollar. Toutes les conversions de dollars en francs seront faites selon ce taux.

de façon que son sas ventral s'adapte sur le panneau d'accès du sous-marin accidenté. Une fois la communication étanche établie, l'équipage peut passer, par fournées de vingt-quatre hommes, dans l'engin de sauvetage qui le remonte vers le sous-marin porteur.

En 1964 le premier projet prévoyait la construction en trois ou quatre ans de douze DSRV, pour la somme globale de 36,5 millions de dollars (189,8 millions de francs). Quatre ans plus tard, on était arrivé à 463 millions de dollars (2 407 millions de francs) pour réaliser en dix ans... six DSRV. Deux engins sont actuellement en essais. Ils resteront probablement seuls de leur espèce.

Il s'agit là évidemment de cas-limites, mais un engin beaucoup plus simple, comme la **S.P. 3000** française dont les essais se poursuivent depuis deux ans, est tout de même estimé à 5 millions de francs.

Leur mise à l'eau et leur récupération sont des opérations délicates. Pratiquement elles sont impossibles dès que l'état de la mer dépasse la force 2 dans l'échelle Beaufort (« légère brise », de 6 à 11 km/h ; vaguelettes d'une trentaine de centimètres). En effet, la plupart de ces engins doivent être suspendus au câble d'une grue pour être mis à l'eau ou relevés. Pour la récupération, il faut d'ailleurs que des plongeurs aillent accrocher le câble à un anneau scellé sur la coque du sous-marin. Alors seulement, la grue peut hisser l'engin sur son navire de service (sauf bien

entendu les bathyscaphes et les engins comme l'**Aluminaut** ou le **Ben Franklin** qui sont remorqués). Si la mer est agitée, cette masse de plusieurs tonnes fait dangereusement pendule. C'est d'ailleurs une fausse manœuvre pendant l'amarrage de l'**Alvin** qui fit couler ce vétéran au fond de l'Atlantique. La nécessité d'opérer par beau temps restreint le temps de travail effectif des sous-marins.

Certains des navires de service ont été spécialement conçus pour faciliter la récupération. Ainsi le **Lulu**, navire-mère de l'**Alvin**, et le **Transquest**, accompagnateur du **Deep Quest**, sont-ils des semi-catamarans entre les coques desquels viennent se glisser le mini-sous-marin. Dans le cas du **Deep Quest**, le sous-marin repose sur une plate-forme qui descend entre les deux coques pour la mise à l'eau et la récupération. On a imaginé aussi, mais sans dépasser semble-t-il le stade du prototype, des plates-formes submersibles, appartenant aux docks flottants, dans lesquelles le sous-marin viendrait se caler sous l'eau et qui seraient ramenées en surface avec leur chargement.

La présence obligatoire de navires de surface relativement importants élève le prix d'utilisation des sous-marins expérimentaux. En 1967 la revue américaine **Science** estimait le coût mensuel d'un engin et de son bateau d'accompagnement à 100 000 dollars (520 000 F).

LE LION ET LE RAT

Le 7 octobre 1969, le **Deep Quest** restait coincé à 130 m de profondeur devant San Diego. Quatre hommes étaient à bord. Le **Deep Quest** avait plongé pour récupérer un objet de 720 kg sur le fond du Pacifique. Un câble de propylène, attaché à cet objet, était en cours d'enroulement lorsque l'hélice du **Deep Quest** se prit dedans. L'équipage aurait pu lâcher son lest de sécurité et remonter en tirant le poids de 720 kg. Mais le sous-marin aurait basculé en position verticale et, arrivé à la surface, le panneau d'accès se serait trouvé sous l'eau, ce qui aurait rendu dangereuse la sortie des hommes.

On fit appel au **Nekton**, un petit sous-marin présent dans les environs. Remorqué jusqu'au-dessus du **Deep Quest**, le **Nekton** plongea. Grâce à son bras mécanique, le câble fut coupé en 30 secondes et les deux sous-marins remontèrent ensemble.

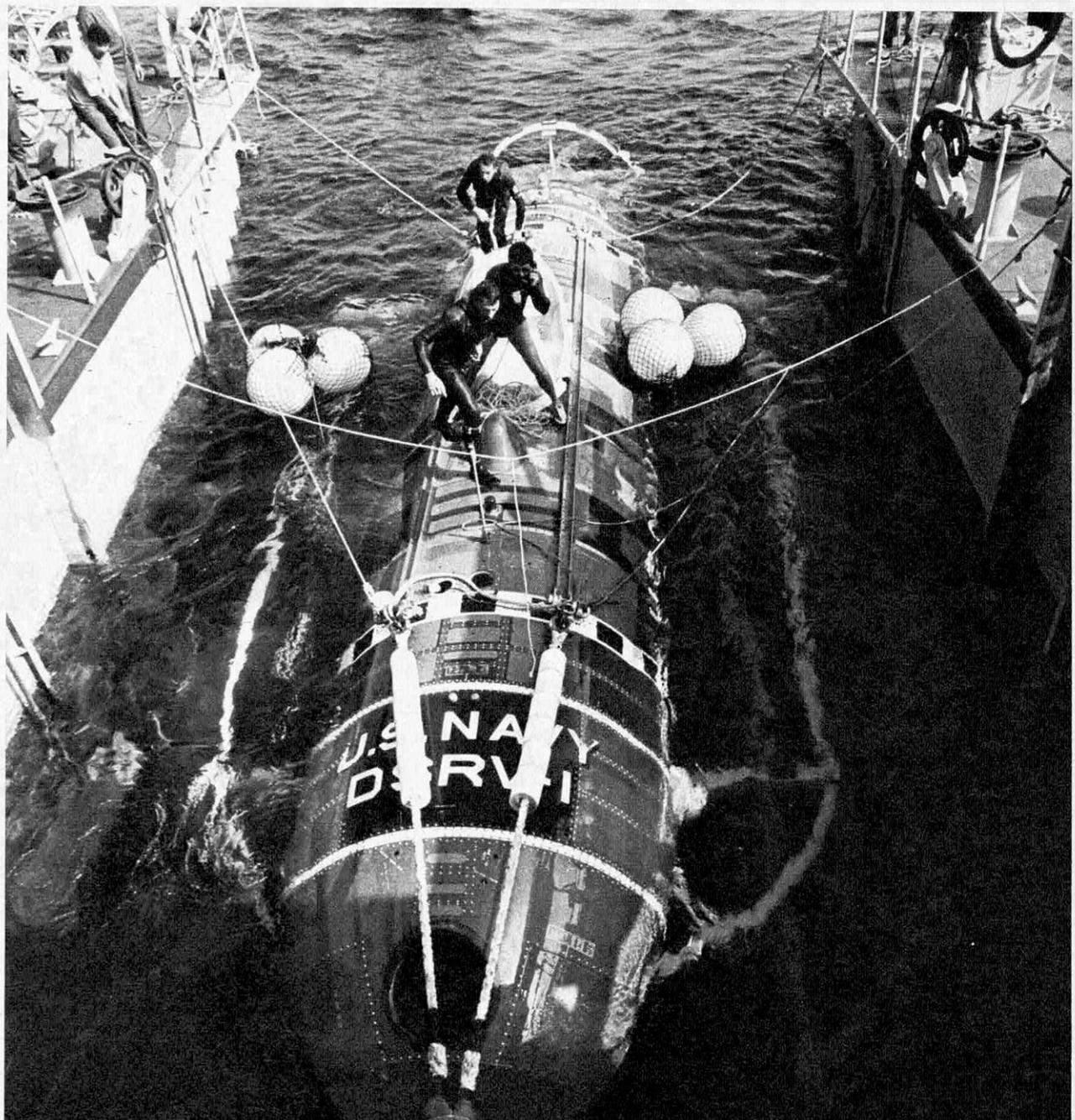
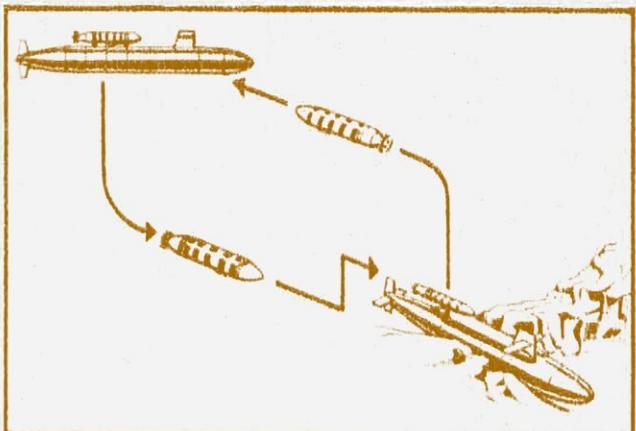
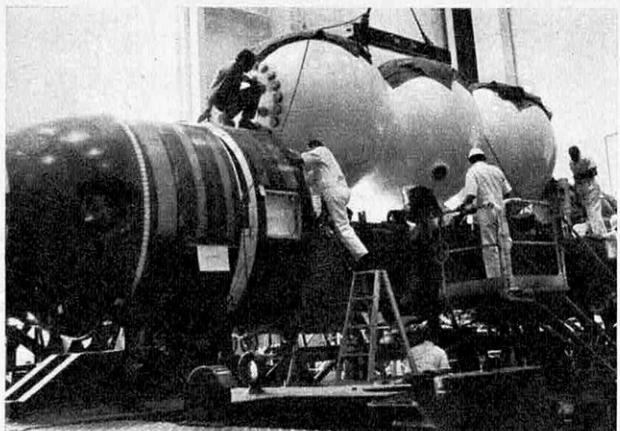
La Fontaine aurait pu prendre cette histoire comme thème d'une de ses fables. Le **Deep Quest** est un sous-marin de 50 t construit par Lockheed et muni d'un compartiment « crache-plongeurs ». Très sophistiqué avec ses 3,5 t d'équipements divers, il est très cher à utiliser (50 000 à 75 000 F par jour). Au contraire, le **Nekton**, un petit engin de moins de deux tonnes qui peut emporter deux personnes, a été presque bricolé dans un simple hangar par un ingénieur. Décidément, on a toujours besoin d'un plus petit que soi.

LES PERFORMANCES SONT SOUVENT MODESTES

L'énergie dont ces engins disposent est limitée par les capacités des batteries actuelles. Or, il faut de l'énergie pour alimenter les projecteurs, les moteurs de propulsion, les appareils de mesure ou les outils de travail.

Pour les engins qui ne plongent pas profond, on peut imaginer un ombilical apportant, de la surface, l'énergie nécessaire. Le **Kuroshio** japonais et le **Guppy** américain sont déjà dotés de ce système d'alimentation, lequel présente quelques inconvénients : il peut transmettre une partie des secousses dues aux vagues et il restreint la liberté de manœuvre du sous-marin.

En conséquence l'autonomie et la vitesse de déplacement sont réduites. Peu de sous-marins expérimentaux peuvent rester sous l'eau plus d'une dizaine d'heures. En cas d'accident, l'équipage dispose d'une réserve d'air d'une vingtaine d'heures — parfois même de deux jours — ce qui laisse aux secours le temps d'arriver, comme cela a été le cas pour le **Deep Quest** en octobre 1969 (voir encadré « Le Lion et le Rat »). L'exception principale est évidemment le **Ben Franklin**, dans lequel six hommes ont dérivé pen-



Le D.S.R.V., construit à deux exemplaires, est destiné au sauvetage des équipages de sous-marins en détresse. L'habitacle se compose de trois sphères en acier à haute résistance. Le dessin en

haut de page résume une mission type du D.S.R.V. L'engin mesure plus de 16 m de long et le propulseur principal (à l'arrière) développe 15 ch. Quatre propulseurs de manœuvre.

EUREKA OU LE PRINCIPE DES BATHYSCAPHES

Les trois bathyscaphes, F.N.R.S. III, Trieste et Archimède, fonctionnent tous selon le principe d'Archimète. La sphère-habitacle est faite d'acier spécial de façon à résister aux pressions qui règnent dans les grandes profondeurs marines (rappelons que, sous l'eau, la pression augmente d'environ une atmosphère — un bar — tous les dix mètres). La coque résistante est donc plus lourde que le volume d'eau qu'elle déplace : celle de l'Archimède pèse 19 t, alors qu'elle ne mesure que 2,25 m de diamètre extérieur.

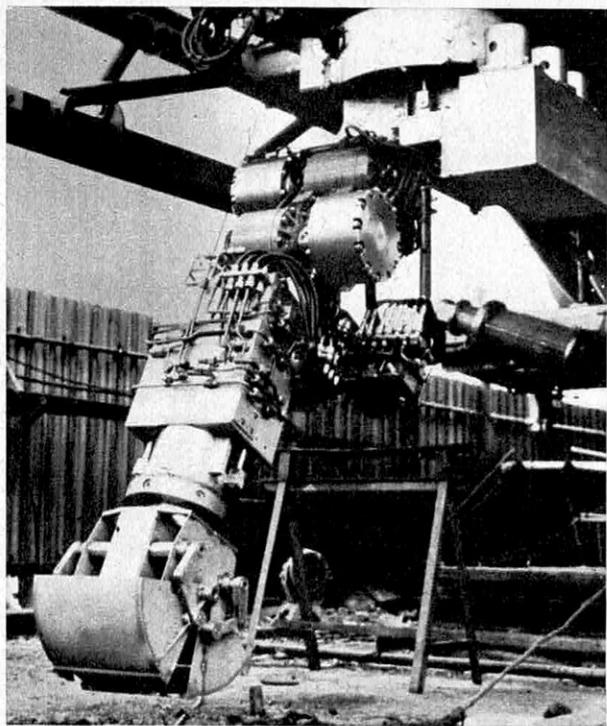
En conséquence, la sphère doit être soutenue par un flotteur léger, tout comme la nacelle d'un dirigeable atmosphérique est supportée par une enveloppe remplie d'un gaz plus léger que l'air.

Pour les bathyscapthes, le flotteur est plein d'essence ultra-légère (170 m^3 dans l'Archimède). Le flotteur lui-même est fait de tôles minces. Ce flotteur est, en effet, ouvert en bas, si bien que la pression interne y est toujours égale à la pression externe. Par souci de sécurité, l'essence du flotteur est répartie dans plusieurs réservoirs (seize réservoirs principaux et quatre d'équilibrage dans l'Archimède) communiquant par des canalisations telles que l'eau de mer pénétrant dans l'un d'eux ne pourrait les envahir tous. Pour amorcer la descente, on emplit d'eau les deux sas d'accès. L'engin s'alourdit et, sous l'effet de la pression, l'eau de mer comprime l'essence et pénètre par l'ouverture située à la base d'un des réservoirs d'équilibrage. Ce qui alourdit d'autant le bathyscaphe, dont le mouvement descendant s'accentue. La pression augmentant au fur et à mesure de la descente, l'eau de mer comprime de plus en plus l'essence et occupe un volume de plus en plus grand. Une fois amorcée, la descente ne peut donc que s'accélérer. Pour la freiner, il faut alléger l'engin en lâchant de la grenaille de fonte qui fait office de lest.

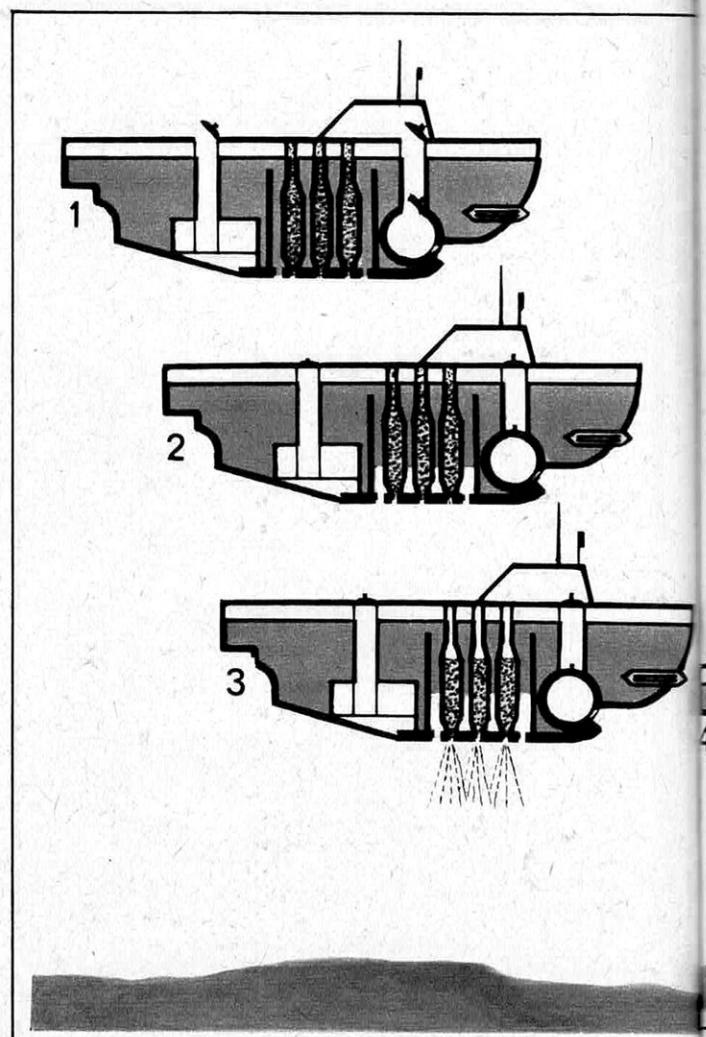
Pour remonter, on fait encore appel au lest. Le bathyscaphe, allégé, commence son mouvement ascendant ; la pression diminue, l'essence se décomprime et chasse l'eau de mer. L'engin ne peut donc que poursuivre sa remontée, provoquant par là-même l'expulsion progressive de l'eau hors du réservoir d'équilibrage...

Le lest contenu dans des silos (six pour l'Archimède) n'y est maintenu, en plongée, que par des électro-aimants situés à la base. En cas d'avarie des circuits électriques ou de panne des batteries, le lest tomberait et le bathyscaphe remonterait automatiquement. Pour plonger à 11 000 m, l'Archimède devra lâcher 20 t de lest.

Pour que le bathyscaphe reste à une profondeur donnée, il faut maintenir un équilibre délicat entre l'essence du flotteur et le milieu marin. A grande profondeur, en effet, la mer est froide, alors que la descente a commencé avec une essence à la température de la surface. En se refroidissant, l'essence augmente de densité. Le pilote peut compenser cet alourdissement en lâchant un peu de l'essence contenue dans un réservoir spécial ($3,5 \text{ m}^3$ dans l'Archimède) et en jouant sur le lest. Mais il emploie le plus souvent une hélice à axe vertical dont l'effet est plus facilement dosable.



Pour sa campagne d'été 1971 en Méditerranée, le bathyscaphe Archimède était équipé d'un nouveau bras manipulateur à outils interchangeables.



dant trente-et-un jours dans les eaux du Gulf Stream. Quant aux vitesses de déplacement sous l'eau, elles sont rarement supérieures à 2 ou 3 nœuds (3,6 à 5,4 km/h).

● **La multiplicité des appareils complique la tâche du constructeur et du pilote.** Les points de pénétration des câbles électriques dans la coque étanche ne peuvent être multipliés à l'infini sans risque de transformer celle-ci en passoire. Les plongées répétées fatiguent les installations électriques extérieures. Le voisinage de très nombreux appareils bourrés d'électronique peut créer des interférences gênant les mesures. Quant à la mise au point des bras-manipulateurs, des enregistreurs et de capteurs fiables sous de hautes pressions, elle est fort difficile.

De plus, il y a tant de cadrons, de manettes, de boutons, de signaux et de voyants que les tableaux de bord de certains sous-marins expérimentaux arrivent à ressembler à ceux d'avions de bonne taille.

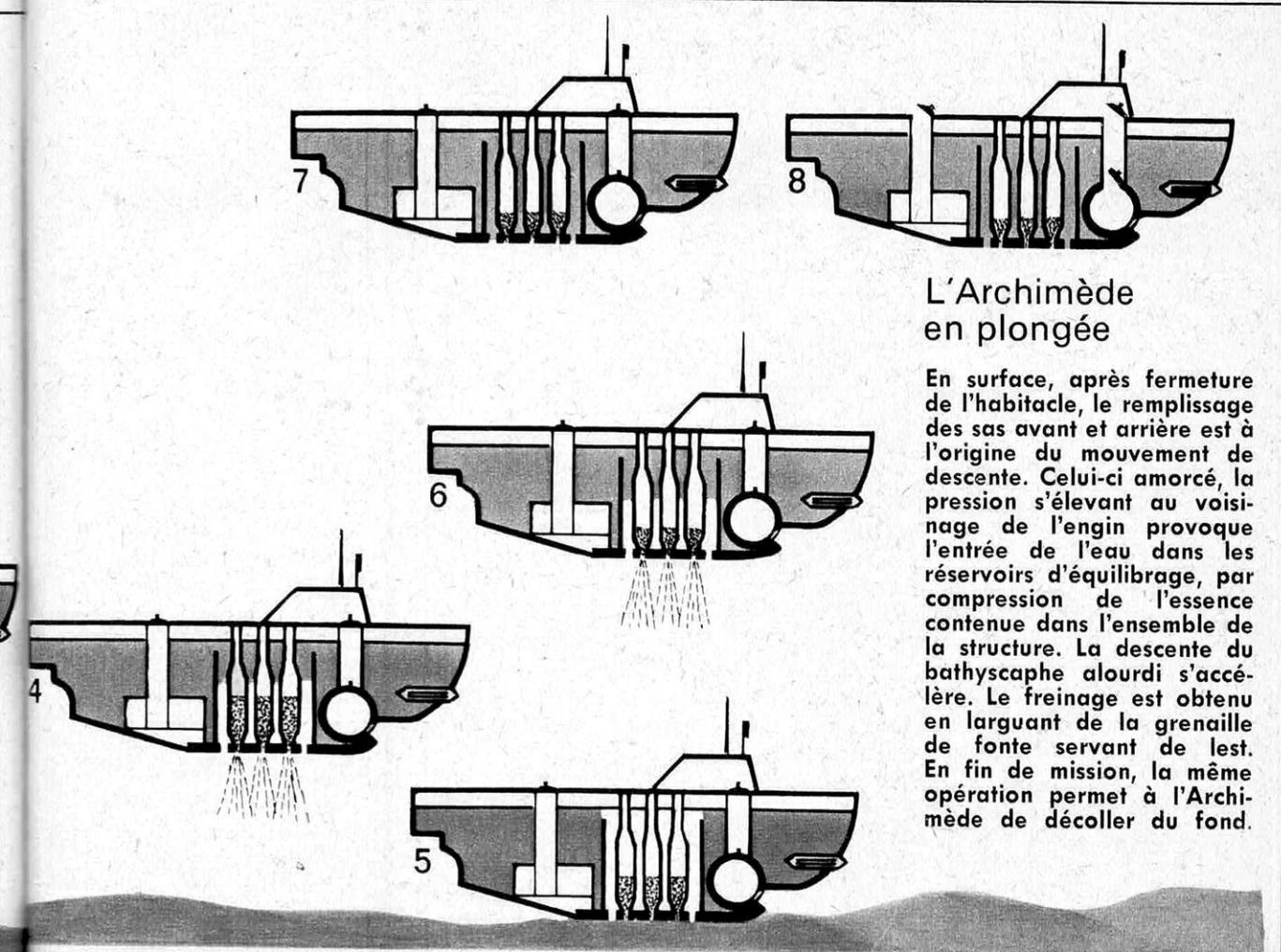
● **La charge utile de la plupart de ces sous-marins est réduite :** 70 kg pour les plus petits, 500 kg pour les moyens, ce qui limite, entre autres, les prélèvements d'échantillons ou l'emport d'appareils supplémentaires né-

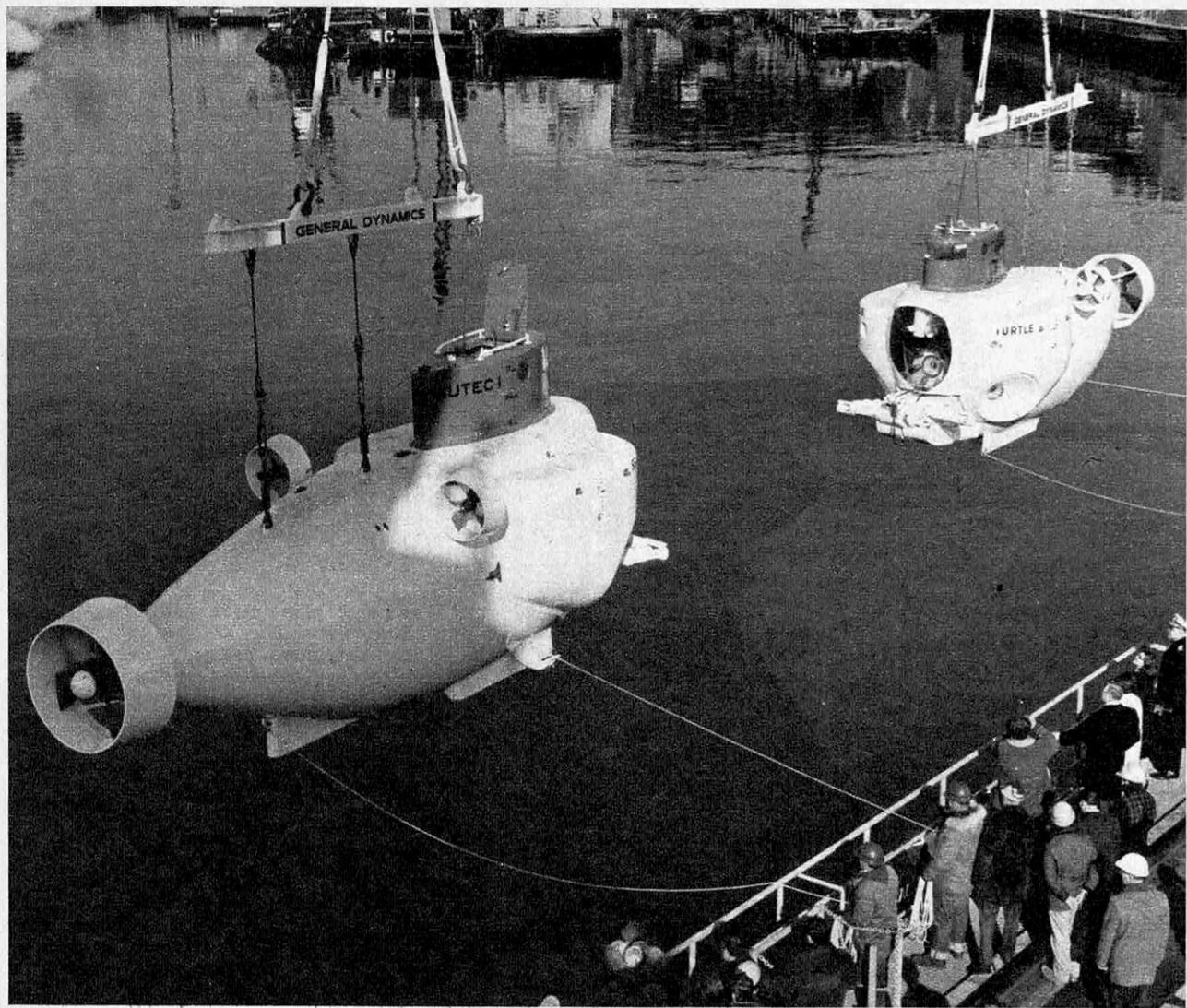
cessaires à un thème de recherche ou à un travail particulier. Cette restriction ne joue pas évidemment pour les bathyscapthes — tant que la profondeur de plongée n'est pas maximum — ni pour l'Aluminaut ou le Ben Franklin, qui ont des capacités de charge considérables (respectivement 2,7 t et 2,2 t).

● **Les hublots sont souvent petits,** bien que les plus récents sous-marins expérimentaux soient en général mieux lotis. Cet inconvénient pourrait être annulé, dans l'avenir, par l'emploi de sphères transparentes en plastique acrylique où les passagers seraient comme à l'intérieur d'une bulle.

DES AUXILIAIRES IRREMPLAÇABLES

Cette énumération des handicaps congénitaux dont souffrent les sous-marins expérimentaux, ne doit pas faire oublier les avantages incontestables qu'ils présentent. Leur intérêt principal est d'amener scientifiques et techniciens au cœur du monde marin. Seuls, les sous-marins permettent aux géologues de sélectionner les sites de prélèvements sur les fonds marins, même si ces pré-





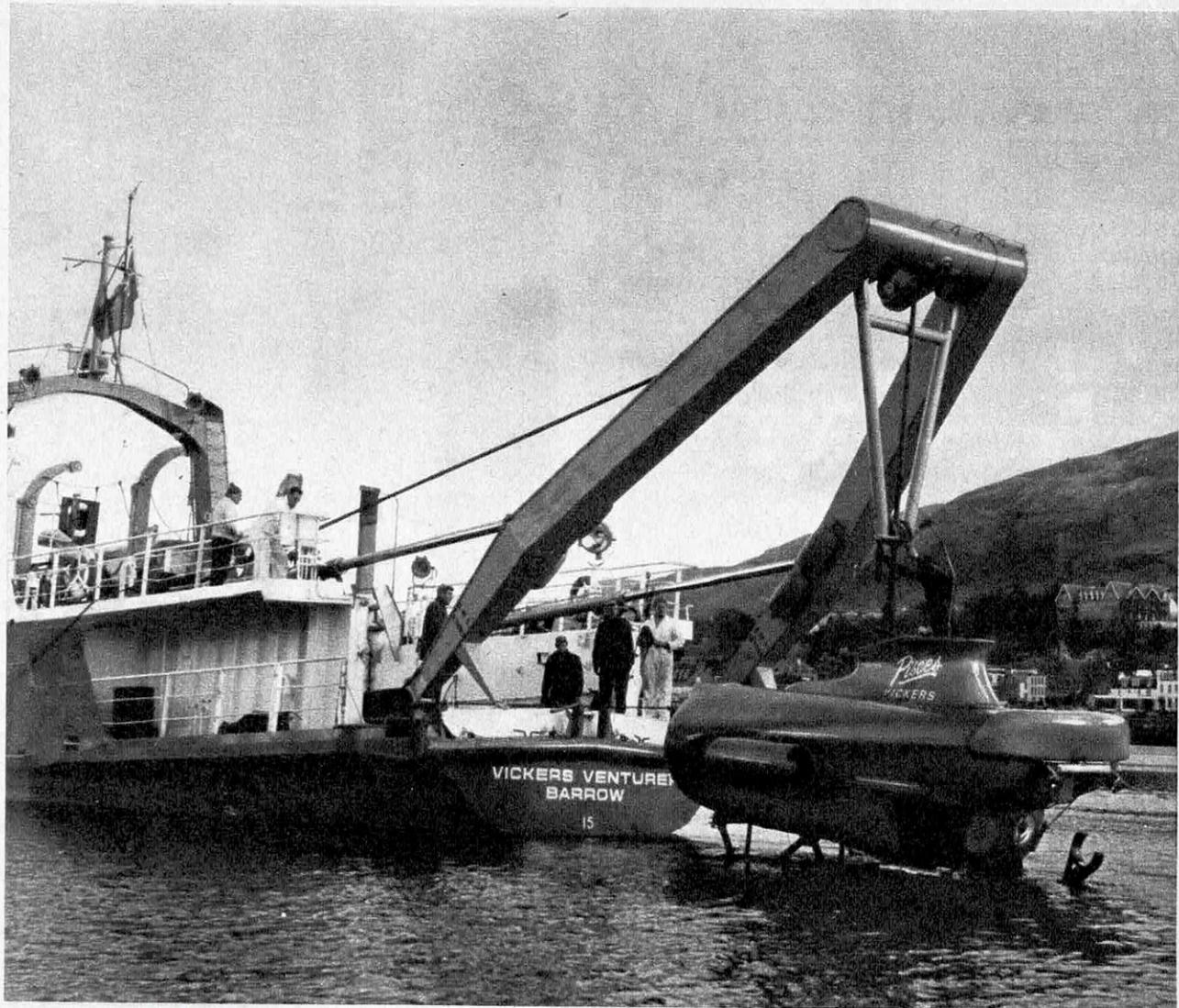
Héritiers directs de l'Alvin, le Sea Cliff et le Turtle peuvent plonger à près de 2 000 m. L'autonomie est de 8 h à la vitesse de 2,5 nœuds. Un système d'éjection de l'habitacle est prévu pour l'évacuation en cas d'urgence.

lèvements ne dépassent pas quelques kilos ou quelques dizaines de kilos. Seuls, ils permettent aux géophysiciens d'aller poser au meilleur emplacement leurs instruments de détection et de mesure. Seuls, ils permettent aux biologistes d'étudier le comportement et l'habitat de telle ou telle espèce. Seuls, ils permettent aux photographes de choisir le sujet et l'angle de leurs prises de vue. Seuls, ils permettent aux techniciens de récupérer un fragment d'épave dont l'étude pourra peut-être éviter une nouvelle catastrophe. Seuls, ils permettent une décision appropriée à la suite d'un incident, sur une installation pétrolière off-shore, par exemple. Un robot ou un outil télécommandé avec circuit de télévision, si perfectionnés soient-ils, n'en permettent pas tant.

C'est bien cette qualité unique des sous-marins qu'exploitera l'expédition FAMOUS

(French American Mid-Oceanic Underwater Survey) actuellement à l'étude. Si le projet arrive au stade de réalisation, trois engins plongeront, pendant l'été de 1973, sur la dorsale médo-atlantique à environ 350 km au sud-ouest des Açores. Depuis que les théories du renouvellement des fonds océaniques et de dérive des continents sont acceptées par la plupart des géophysiciens, on considère que la dorsale subocéanique (cette chaîne de montagnes longue de 50 000 km qui serpente sous les océans, fendue sur presque toute la longueur par un fossé, le **rift**) constitue un élément essentiel de l'évolution de la Terre. C'est là en effet que se met en place le matériau qui, venant des couches plus profondes, forme la croûte océanique.

A l'Archimède serait réservé le fond du rift, la S.P. 3 000 se consacrera à une faille transformante (les fractures transversales qui



Le sous-marin biplace Pisces déplace un peu moins de 11 tonnes et est propulsé en plongée par deux moteurs de 3 ch. Il est mis à l'eau à partir d'un navire-mère spécialement aménagé (un chalutier transformé). Il s'est déjà acquitté de nombreuses missions de géologie et de biologie.

hachent la dorsale), tandis que l'Alvin — à condition qu'il ait été équipé d'une nouvelle coque étanche au titane — examinerait les parois du rift.

Si imparfaits soient-ils, les bathyscaphe et sous-marins expérimentaux ont déjà quelques exploits à leur actif. Le Trieste a photographié les débris des sous-marins nucléaires Thresher et Scorpion. Le DOWB (Deep Ocean Work Boat) a retrouvé et le Star II récupéré en octobre 1968, sous 90 m d'eau, le générateur SNAP-19 du satellite Nimbus-B (quatre mois après son lancement raté) : ce générateur comportait deux capsules de plutonium 238 valant, chacune, 350 000 dollars (1,82 million de francs)... L'Alvin et l'Aluminaut ont permis de retrouver la bombe perdue au large de Palomares. Quant au Deep Quest, il a récupéré, l'une à 100 m, l'autre à 275 m de profondeur, les « boîtes noires » de

UNE RENCONTRE FACHEUSE

Lors d'une plongée effectuée dans l'Atlantique à 200 km au large des côtes de Géorgie, l'Alvin eut à subir l'assaut d'un espadon fort irascible. Le sous-marin évoluait à 550 m sous la surface, ses projecteurs allumés pour éclairer le fond. La lumière eut l'heure de déplaire à un espadon de 90 kg qui fonça, rostre pointé sur la source lumineuse. Par un hasard malencontreux, le rostre atteignit l'Alvin dans le joint qui réunit les deux parties de la coque extérieure et y resta coincé. En se débattant, le poisson mettait le sous-marin en danger. L'équipage fit remonter rapidement l'engin.

En surface, le rostre, long de 75 cm, se brisa et il fallut deux heures de travail pour dégager le tronçon coincé. On vit alors que l'espadon avait manqué un câble électrique d'à peine deux centimètres...

L'espadon fut mangé le soir par les équipages de l'Alvin et du navire de soutien.

deux avions tombés en mer devant Los Angeles.

PEU D'ENGINS EN SERVICE ACTIF

En dépit de ces qualités indéniables, rares sont les sous-marins expérimentaux qui sont effectivement utilisés, faute de contrats publics ou privés. Les engins construits aux Etats-Unis par Perry constituent de notables exceptions, que ce soit les **Series PC** ou le **Shelf Diver** (¹). Ce dernier sous-marin est depuis un an en France, loué par une société de travaux sous-marins. C'est lui qui a amené à pied d'œuvre, au large de Biscarrosse, les plongeurs chargés de démonter la plate-forme oscillante expérimentale. Il a également remonté sur 1 100 m une galerie (en eau) du canal de Provence. Les **Pisces** anglo-canadiens sont également parmi les engins qui « travaillent ». L'un d'eux devait même être acheté par l'U.R.S.S. pour la somme de 2 millions de dollars, mais le gouvernement canadien, peut-être à la demande des Etats-Unis, a mis opposition. En 1967, les Etats-Unis avaient interdit la vente du **Star III** aux Russes. Deux des plus anciens engins sont, eux aussi, couramment utilisés : la S.P. 300 filme les fonds marins, et l'**Alvin** plonge fréquemment avec, à bord, les chercheurs de la Woods Hole Oceanographic Institution. Notons que les deux jeunes « frères » de l'**Alvin**, le **Turtle** et le **Sea-Cliff** sont, eux aussi, au nombre des engins « actifs ».

L'avenir ne paraît pas entièrement noir pour les petits sous-marins. Les pétroliers qui sont, jusqu'à présent, les seuls ou à peu près à exploiter réellement les fonds marins, commencent, semble-t-il, à s'intéresser à ces engins. Avec la profondeur croissante des exploitations off-shore, il faut bien songer à

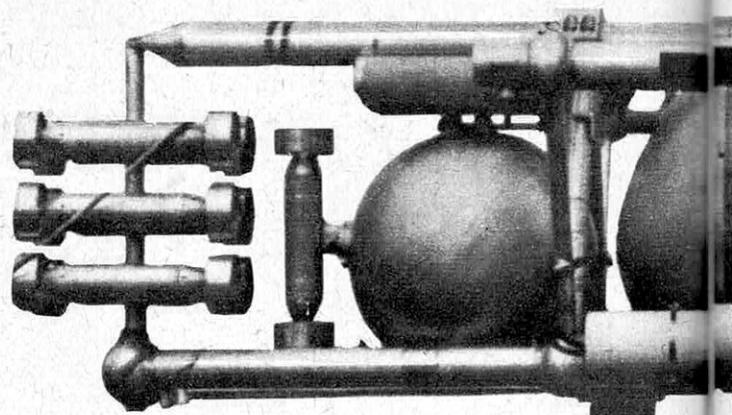
¹) Il s'agit d'un engin « crache-plongeurs », les plongeurs étant embarqués dans un compartiment spécial pouvant être mis en équipression avec l'extérieur.

ENTRE 0 ET 3 000 METRES 22 % DES FONDS MARINS

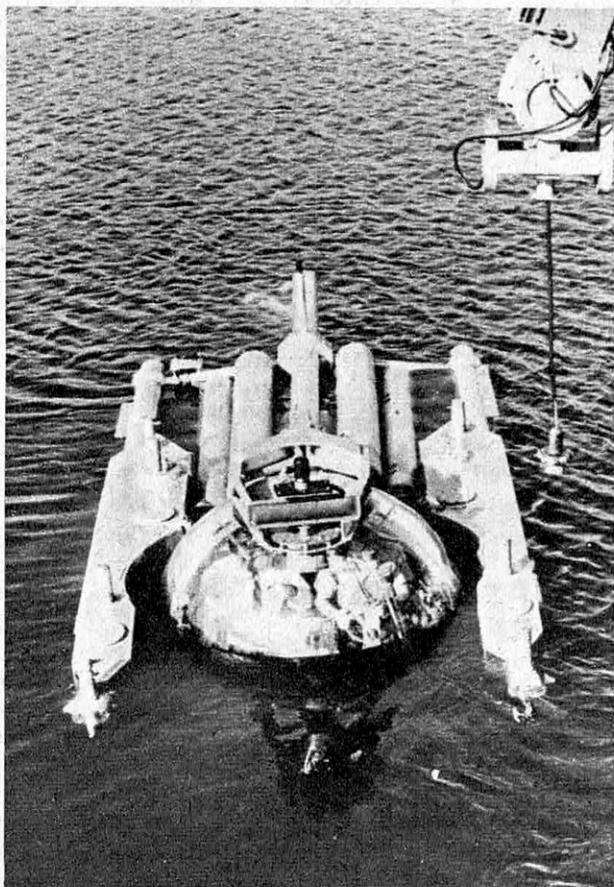
Les profondeurs des océans vont de 0 à près de 11 000 m. Mais elles se répartissent très inégalement sur les 71 % de la surface du globe qui sont recouverts par la mer.

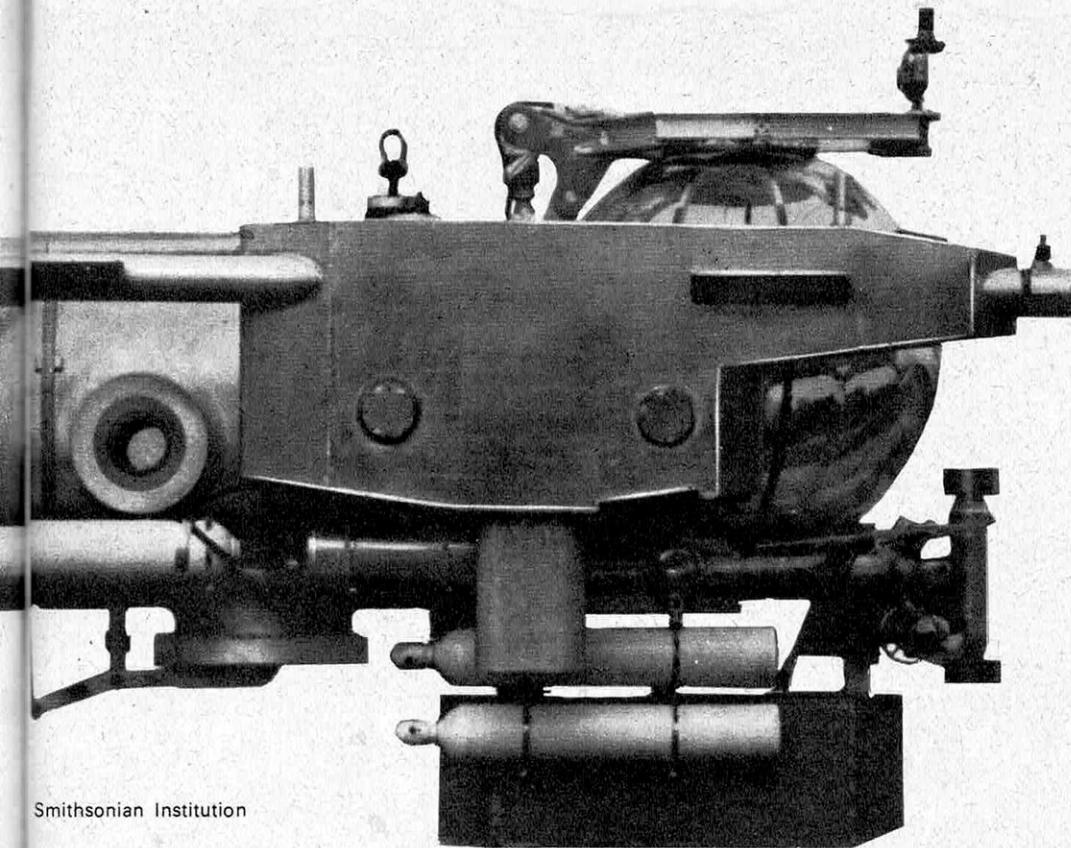
- de 0 à 200 m (le plateau continental) : 7 % ;
- de 200 à 3 000 m : (le talus continental) : 15 % ;
- de 3 000 à 4 000 m : 19,6 % ;
- de 4 000 à 5 000 m : 33 % ;
- de 5 000 à 6 000 m : 23,3 % ;
- de 6 000 à 7 000 m : 1,9 % ;
- plus de 7 000 m : 0,1 %.

Les profondeurs comprises entre 3 000 et 6 000 m sont donc les plus courantes, puisqu'elles s'étendent sous 75,9 % de la surface des océans. Mais il n'existe actuellement que cinq engins construits pour supporter les profondeurs supérieures à 3 000 m.



Le Johnson Sea-Link : un petit sous-marin crache-plongeurs capable de descendre à 1 000 m. Les composants sont logés dans un châssis tubulaire en aluminium. L'habitacle biplace autorise une vision panoramique du milieu marin.





Smithsonian Institution

des moyens d'intervention qui prendront la relève des plongeurs ou permettront de travailler dans les conditions les plus difficiles. Déjà, une firme américaine, Marine Resources Consultants, a racheté à la Suède trois sous-marins de 1 050 t et les a équipés pour la recherche pétrolière sous les glaces qui recouvrent l'océan Arctique. Autre signe favorable, la Société Hyco Maritime Exploitation vient d'acheter le Ben Franklin (pour 61 000 dollars, ce qui n'est pas cher) le mésoscaphie d'Auguste Piccard pour aider à la mise au point des engins de la prochaine génération rendus nécessaires par l'extension des activités off-shore.

Il semble que l'avenir soit surtout à des sous-marins spécialisés et pas trop chers. Le prix élevé de construction et d'utilisation a, par exemple, fait suspendre en septembre 1971 la construction du sous-marin français Argonète. Ce sous-marin « crache-plongeurs » aurait été de belle taille : 255 t ; six passagers dans le compartiment « sec » ; quatre plongeurs dans le compartiment « humide » ; il aurait pu descendre à 600 m. Mais le coût de la construction, qui devait être partagé pour moitié entre le CNEXO et l'Institut français du pétrole, était passé de 20 millions à 49 millions de francs (dont 10 millions de T.V.A.), auxquels le CNEXO seul devait ajouter 7 millions pour les essais, les recharges et la base terrestre. L'exploitation de ce sous-marin, vues ses dimensions, serait probablement revenue à 100 000 F par jour. Les « crache-plongeurs » semblent être cependant parmi les engins d'avenir.

Le Shelf-Diver, le Deep-Diver, un des engins Pisces, sont très utilisés. À noter qu'ils sont petits et relativement bon marché (environ 10 000 F par jour d'exploitation). Au contraire, le gros Deep Quest est à vendre avec son navire de service et le laboratoire spécial de San Diego (le tout pour 1,5 million de dollars alors que le « système » entier en a bien coûté 10).

La firme française Comex, une des cinq sociétés qui se partagent 99 % du marché mondial de la plongée profonde, est bien placée pour prévoir l'évolution future du travail sous-marin. Si elle poursuit ses recherches (avec l'aide du CNEXO et par des contrats passés avec divers groupes industriels) sur la physiologie de la plongée profonde et le matériel correspondant, elle commence à étudier des sous-marins. Ces engins devront répondre à plusieurs exigences : robustesse et formes simples (pour être remontés au besoin par traction le long d'un plan incliné à l'arrière du navire de surface) ; grande visibilité par larges hublots ; spécialisation et non plus engin universel. Elle travaille sur un sous-marin modulaire à éléments interchangeables qui pourrait donner à volonté un engin « crache-plongeurs », un véhicule d'inspection ou un atelier sous-marin. D'ailleurs, depuis 1970, l'Office of Naval Research de la Marine américaine fait lui aussi étudier un sous-marin modulaire.

Ainsi en dépit des erreurs et de l'enthousiasme aveugle du début, l'ère des petits sous-marins ne fait peut-être que commencer.

Yvonne Rebeyrol

Les hydroptères

Près de cent ans auront été nécessaires pour que les bateaux à plans porteurs parviennent à maturité. Les premiers essais d'engins de cette formule remontent à 1887. Dans deux ans, un prototype militaire, préfigurant une première série de trente unités, doit commencer ses essais



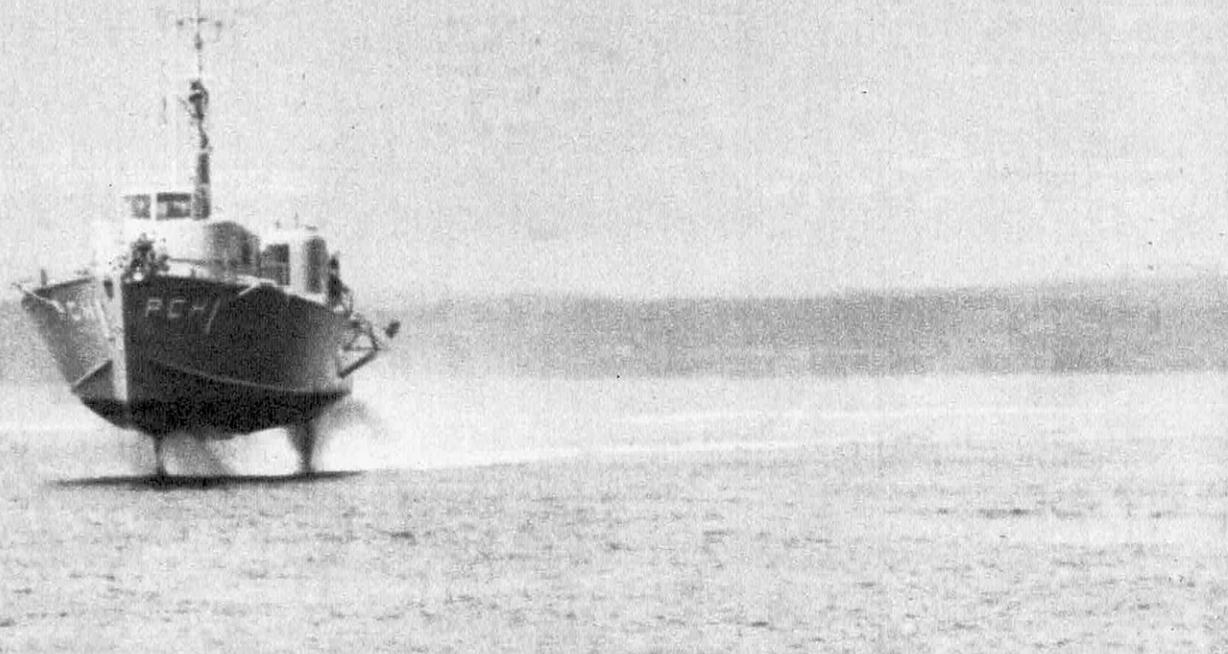
Deux hydroptères nouveau style, le PGH-1 High Point, au premier plan, et le PGH-2 Tucumcari, construits par Boeing.

La puissance nécessaire au déplacement d'un navire est étroitement liée aux caractéristiques hydrodynamiques de sa coque, les forces négatives de traînée et de sillage croissant avec la vitesse. Un seul moyen permet de diminuer radicalement la puissance nécessaire pour atteindre une vitesse donnée. Il consiste à diminuer la surface mouillée, c'est-à-dire celle se trouvant au-dessous de la ligne de flottaison.

Deux techniques aboutissent à ce résultat : les « hydroplanes », qui utilisent à grande vitesse la portance d'une petite partie de leur coque et les navires à plans porteurs (hydroptères ou hydrofoils) dont la coque est entièrement soulevée au-dessus de l'eau, les

res arrivent...

aux Etats-Unis. Si, depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, un certain nombre d'hydroptères civils de tonnage généralement modeste ont été mis en service en diverses régions du monde, leur utilisation demeurait jusqu'ici exceptionnelle, cantonnée aux plans d'eau calmes, estuaires, etc.



plans porteurs étant totalement ou partiellement immersés.

La première solution, aussi sportive qu'inconfortable et de stabilité précaire, n'a aucune vocation commerciale.

La seconde fut appliquée pour la première fois, pense-t-on, par le comte de Lambert en 1887. Ce précurseur effectua sur la Seine, cette année-là, les premiers essais d'un catamaran dont les coques portaient des ailettes immergées. Les résultats furent peu convaincants.

Les Italiens Forlanini et Crocco allaient, en 1905, être plus heureux. Ils dépassèrent 72 km/h sur le lac Majeur. Ce succès stimula les chercheurs en différents pays, tel l'Amé-

ricain Graham Bell dont l'**Hydrodrome** resta longtemps titulaire du record du monde de vitesse sur l'eau, avec 115 km/h.

Avec l'Allemand Hans von Schertel, les navires à plans porteurs entrent, en 1930, dans une voie plus pratique. En quinze ans, sur commande de la Kriegsmarine notamment, von Schertel mettra au point neuf navires dont le plus gros atteignait 80 tonnes. Depuis 1952, von Schertel est directeur technique de la société suisse Supramar, le plus prolifique « concepteur » d'hydroptères du monde. Au-delà des études et de la mise au point de prototypes, la production de série est assurée par divers chantiers, notamment le chantier Leopoldo Rodriquez en Italie.

Aujourd'hui, comme nous le verrons, le navire à plans porteurs est sans doute à l'aube de son réel démarrage. Il le devra à une technique difficile, travaillée depuis plus de dix ans déjà, celle des plans entièrement immergés.

UNE TECHNIQUE CHASSE L'AUTRE

Les hydroptères de la première génération utilisaient des plans en dièdre, dépassant la surface de l'eau et offrant l'avantage de conférer à l'engin une autostabilité.

La stabilité pose des problèmes d'une importance particulière pour ce genre de navires, extrêmement sensibles à la houle. La surface de l'eau, pratiquement toujours en mouvement, lui transmet des oscillations selon les trois axes (lacet, tangage et roulis). Ces oscillations sont amplifiées en virages et par la vitesse de déplacement, laquelle entraîne un accroissement de la fréquence relative des vagues.

A grande vitesse, la réserve de surface non immergée des plans assure la stabilité. Tout accroissement, d'un côté, de la profondeur apparente de l'eau augmente, de l'autre côté, la surface mouillée du plan porteur, ce qui tend à redresser le bateau.

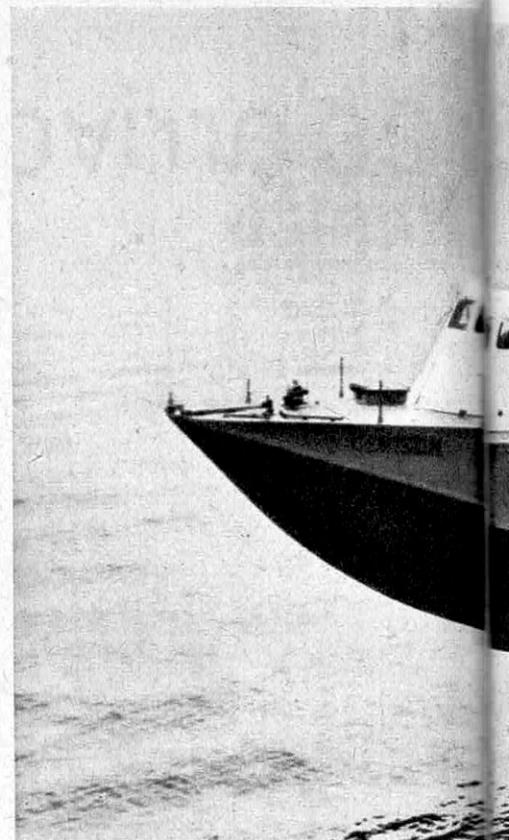
Le système, pourtant, a ses faiblesses. A l'endroit où le plan porteur émerge de l'eau, le jeu des pressions et dépressions d'intrados et d'extrados produit un phénomène d'aspiration d'air, l'aération, qui entraîne une instabilité de la portance. Les surfaces portantes sont si sensibles aux mouvements de la surface que, dans des conditions extrêmes, l'angle d'attaque effectif des plans et la vitesse relative dans l'eau peuvent être réduits au point que la portance disparaît.

La vitesse des navires à plans émergents paraît être limitée à 50-60 nœuds, ce qui, pour être un progrès sensible sur les navires classiques, n'est pas encore suffisant. Pour aller plus loin, il fallait utiliser des plans entièrement submersés. Aux vitesses importantes se posait toutefois le problème de la cavitation.

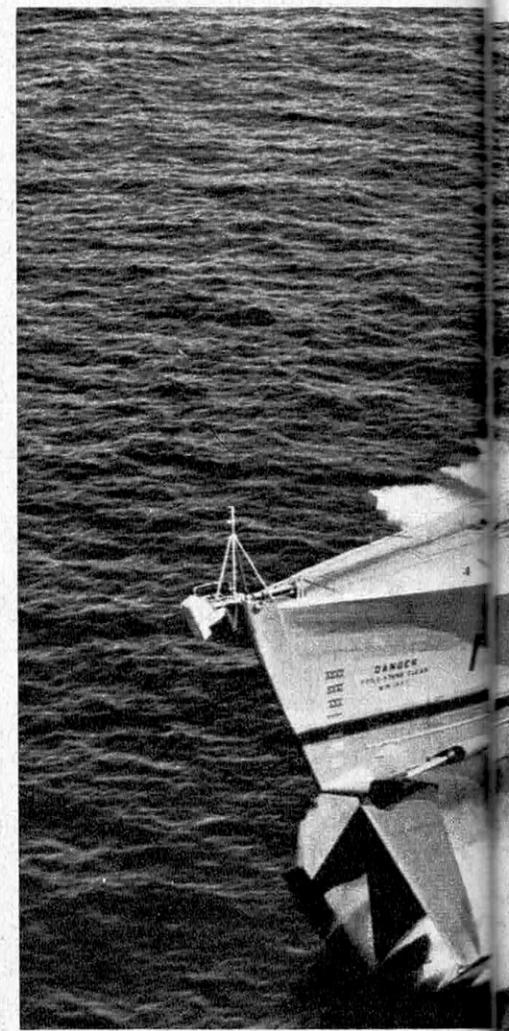
Dans l'eau, un plan porteur se comporte comme une aile d'avion, subissant une pression à son intrados, une dépression à son extrados. Aux fortes vitesses ou sous fortes charges, la pression à l'extrados peut s'abaisser jusqu'à devenir égale à la pression de vaporisation de l'eau. Il se forme alors des bulles de vapeur, aspirées vers les zones de hautes pressions du bord de fuite où elles se « dégonflent ». En résultent une augmentation de la traînée et l'application de fortes charges instantanées sur des surfaces réduites, d'où une érosion rapide des plans.

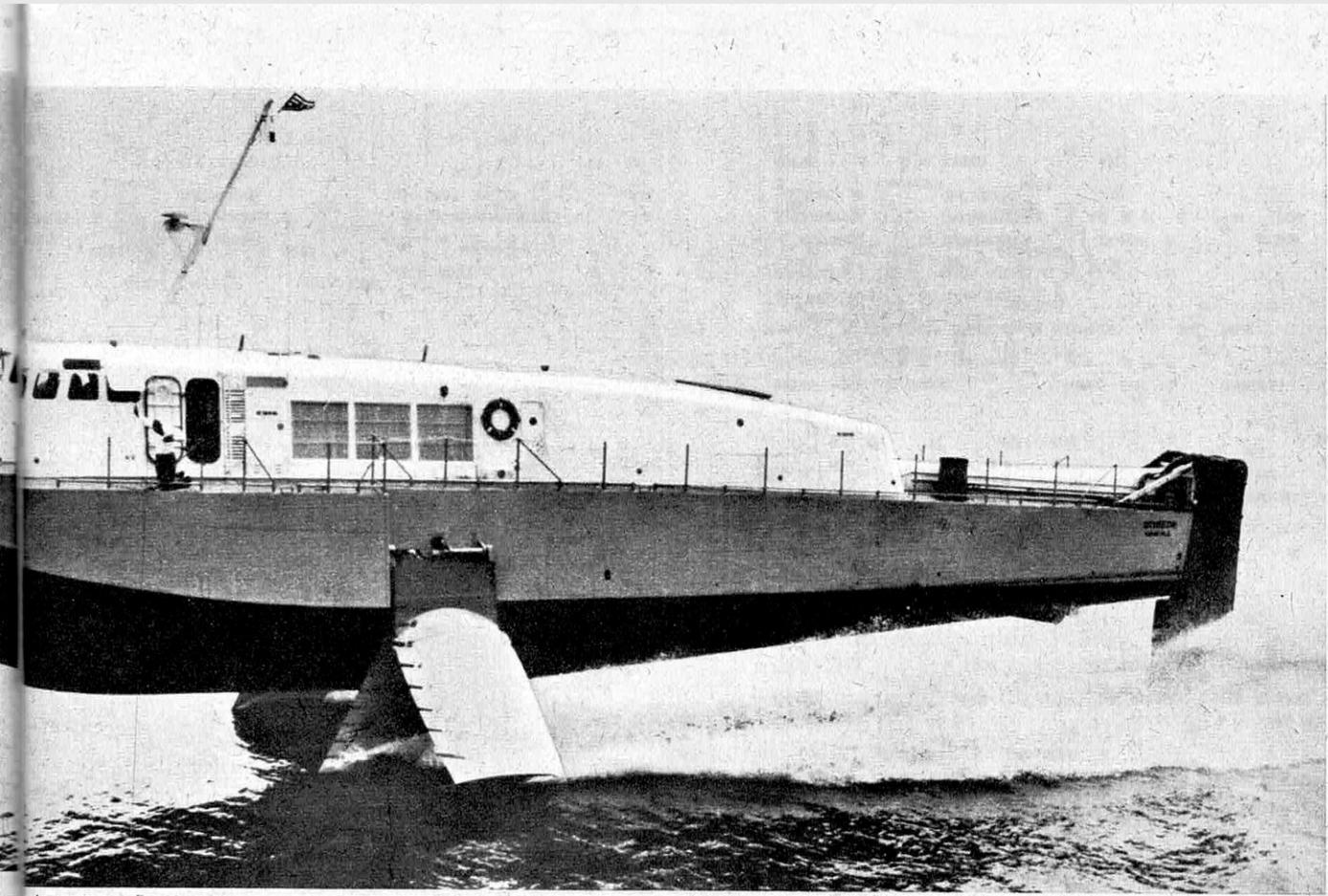
La « super-cavitation » tend moins à supprimer le phénomène qu'à l'augmenter en utilisant un profil spécial. A des coefficients de portance relativement élevés, ces profils

Le Denison, de Grumman, remonte à une dizaine d'années. Doté de plans porteurs émergents à l'avant et d'un plan entièrement submergé à l'arrière, il se caractérise par sa vitesse (60 nœuds) et par sa bonne tenue à la mer. La propulsion en croisière est assurée par une hélice à supercavitation associée au plan porteur arrière.



De conception récente, le FHE-400 Bras d'or, de de Havilland - Canada, fait figure d'attardé avec ses plans porteurs émergents. Cet engin expérimental de lutte anti-sous-marin est prévu pour des vitesses de 50 à 60 nœuds en eau calme. Une turbine à gaz de 22 000 ch est la source propulsive coque déjaugée.





Associated Press



maintiennent à leur extrados une pression inférieure à celle de vaporisation de l'eau. Une grande poche de vapeur se forme à l'extrados. Se fermant très en arrière du profil, elle est moins préjudiciable à la traînée et ne provoque pas d'érosion.

S'ils permettent d'atteindre de très hautes vitesses, les plans entièrement immergés n'ont pas de stabilité propre. L'hydroptère doit alors disposer de systèmes de stabilisation artificiels agissant sur l'incidence des plans.

A la base, les informations sont recueillies par des détecteurs de houle commandant les variations d'incidence par l'intermédiaire de servomécanismes. Ces systèmes ont atteint un degré de raffinement extrême sur les plus récents hydroptères expérimentaux construits aux Etats-Unis par Grumman, Lockheed et Boeing. Un calculateur analogique de bord traite les informations recueillies par les détecteurs de houle et par un gyromètre signalant les variations d'assiette. Des gyroscopes et accéléromètres recueillent des informations complémentaires, traduites par le calculateur en ordres plus « fins ».

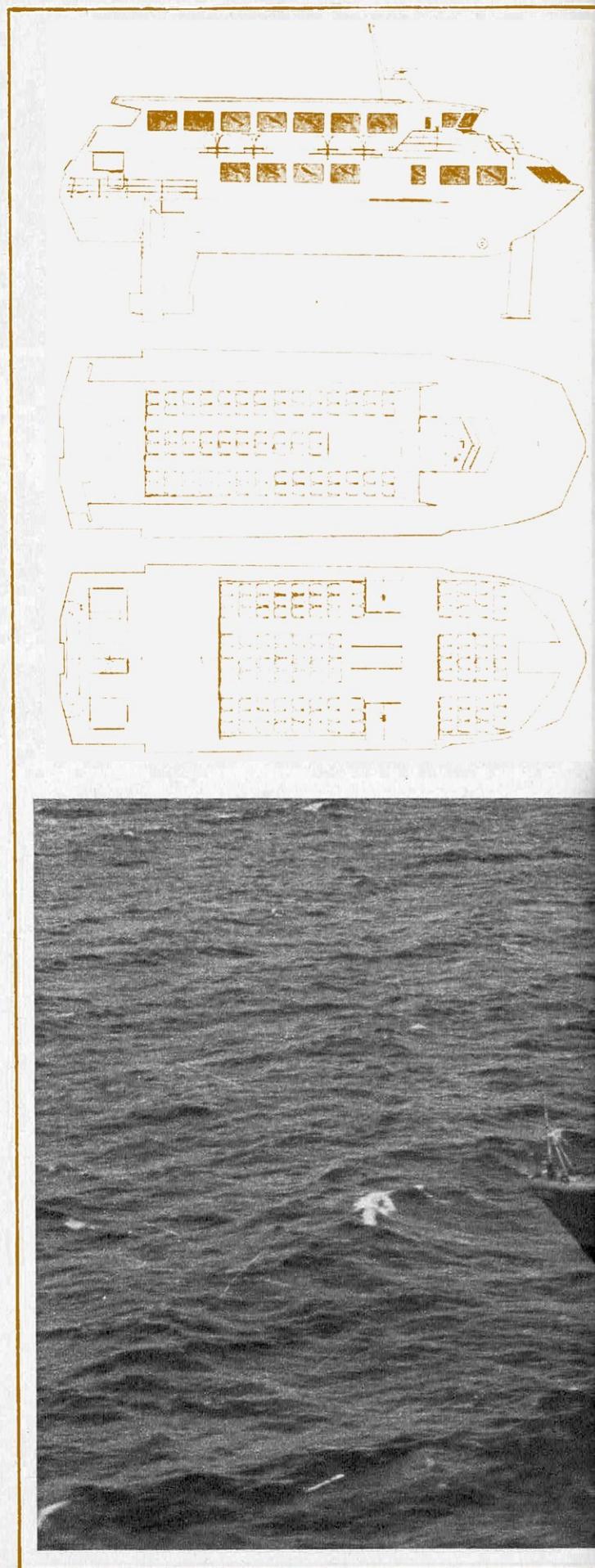
UN AVENIR AUX MAINS DES MILITAIRES ?

Près d'une centaine de navires à plans porteurs assurent un service quotidien en divers points du monde. Citons la Sicile, la Norvège, les Canaries, l'Egypte, les grands fleuves et lacs d'U.R.S.S. Mais les militaires ouvrent la voie vers des machines de beaucoup plus gros tonnage.

Les données du combat naval ont été bouleversées ces dernières années par la vitesse atteinte en plongée par les sous-marins nucléaires (plus de 32 nœuds) et par l'apparition de navires légers et rapides auxquels des missiles surface-surface donnent la puissance de feu d'unités traditionnelles d'un tonnage 100 fois plus élevé. Les hydroptères semblent pouvoir apporter une parade efficace à ces deux menaces.

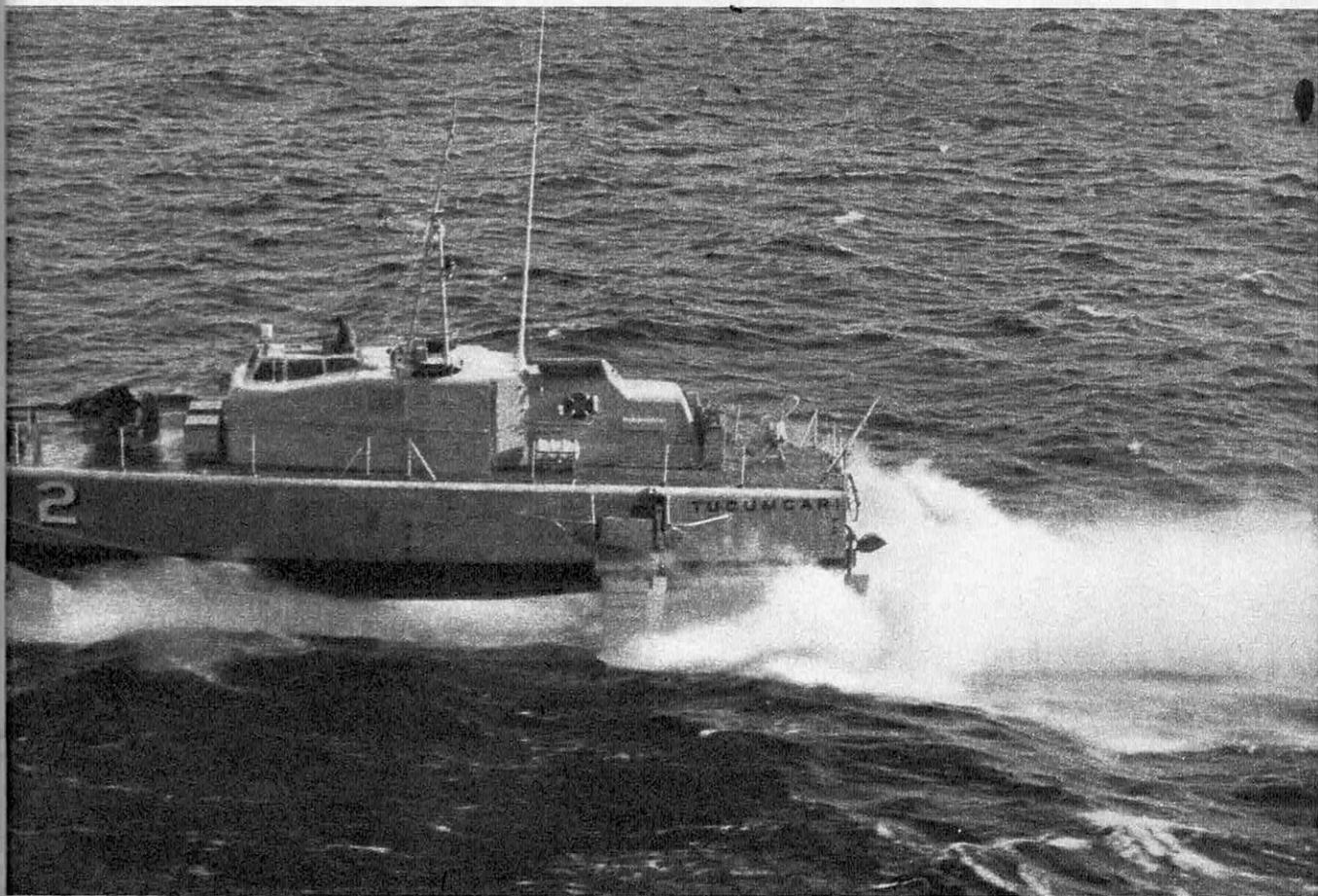
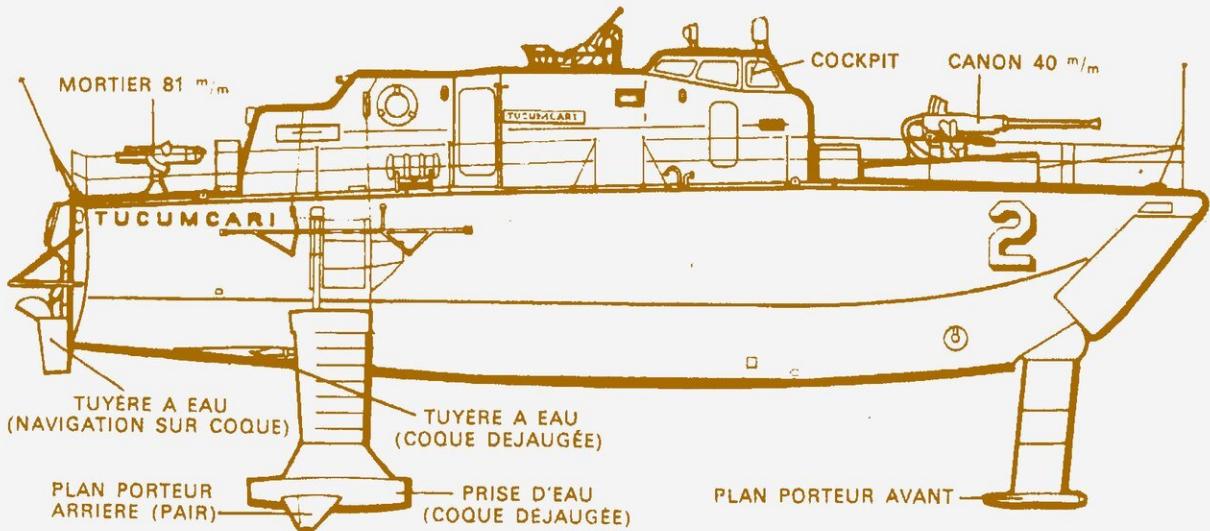
Les premiers navires de guerre à plans porteurs opérationnels seront vraisemblablement d'un tonnage encore modeste, entre 60 et 250 t. Mais on parle d'unités de 2000 t et plus dans dix à quinze ans. Déjà le **PGH-2 Tucumcari** de Boeing, armé par un équipage sans expérience particulière, a fait preuve au Vietnam d'une efficacité et d'une disponibilité remarquables. Au cours de l'été 1971, il a été présenté avec plein succès à de nombreuses marines européennes.

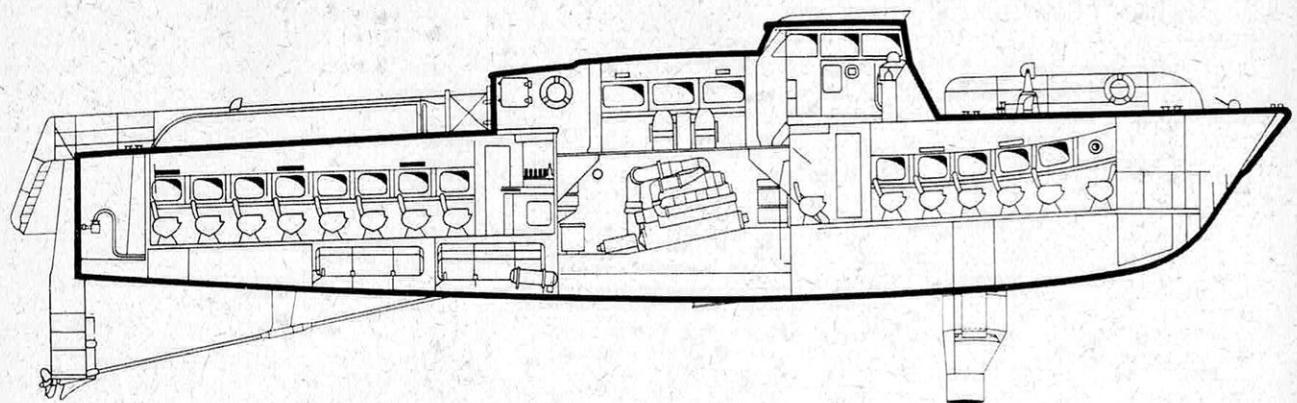
Si le prototype concurrent, le **PGH-1 Flagstaff** de Grumman a connu quelques ennuis d'arbre de transmission, le PGH-2 est propulsé par des réacteurs à eau entraînés par turbine à gaz que leur simplicité promet au plus bel avenir.



Conçu pour de hautes vitesses, même par mauvaise mer, le PGH-2 Tucumcari de Boeing est considéré comme le plus évolué des hydroptères actuels. La propulsion est le fait d'un système d'aquajets, grâce à une turbine à gaz de 3 200 ch

en croisière, à un diesel de 160 ch en navigation sur coque. L'équipage est de treize hommes. Le Tucumcari est à l'origine de divers projets civils et militaires. Le Jetfoil 929 (en page de gauche) est proposé pour des liaisons à courte distance.



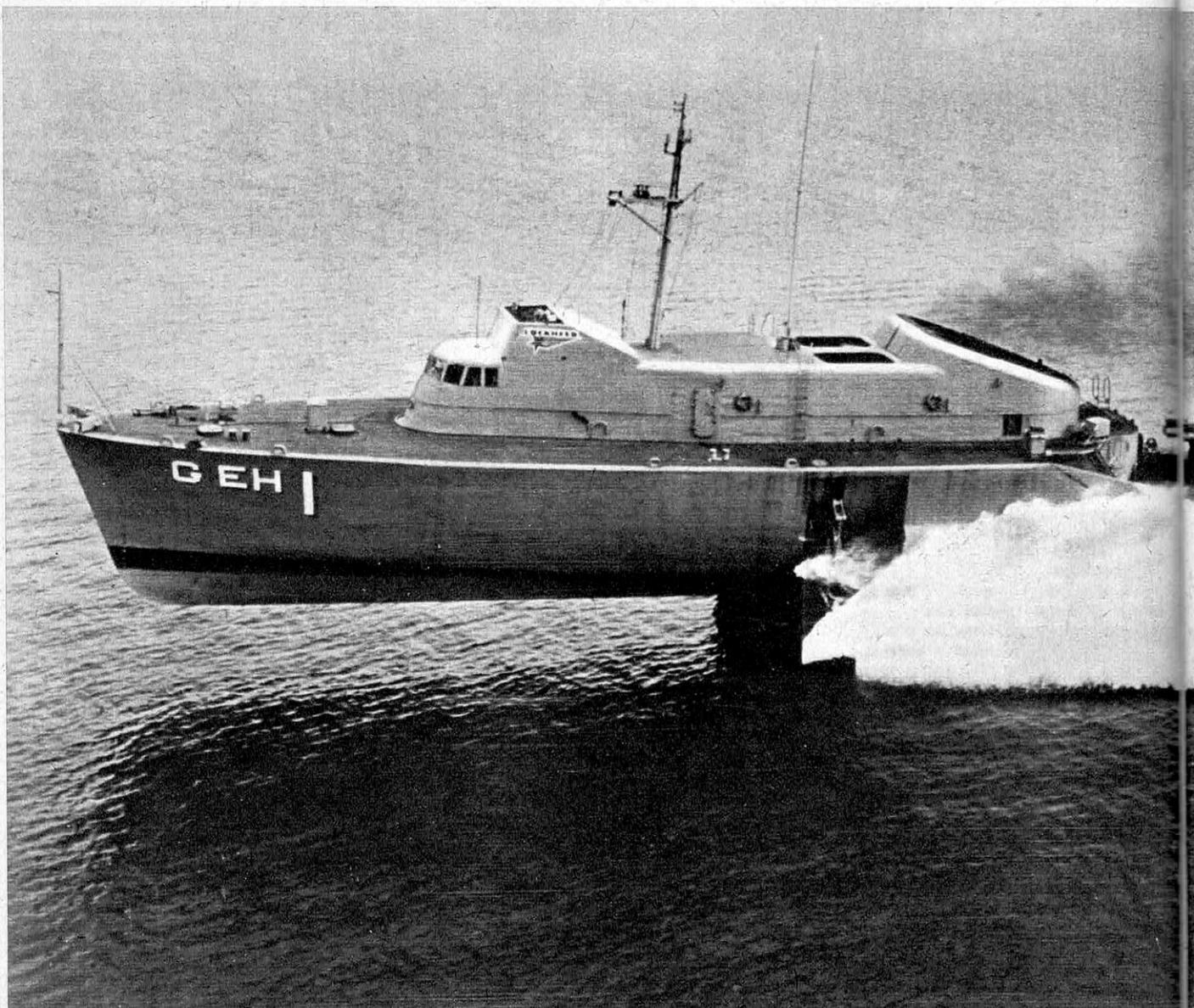


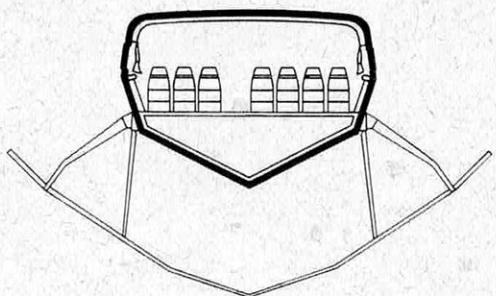
De conception traditionnelle von Schertel-Supramar, le PT 50 a été construit en série par le chan-

tier Rodriquez de Messine. Il est destiné aux eaux côtières et intérieures et peut transporter plus de

Le Plainview, de Lockheed, reste le plus grand hydroptère du monde. Livré en 1969, il poursuit

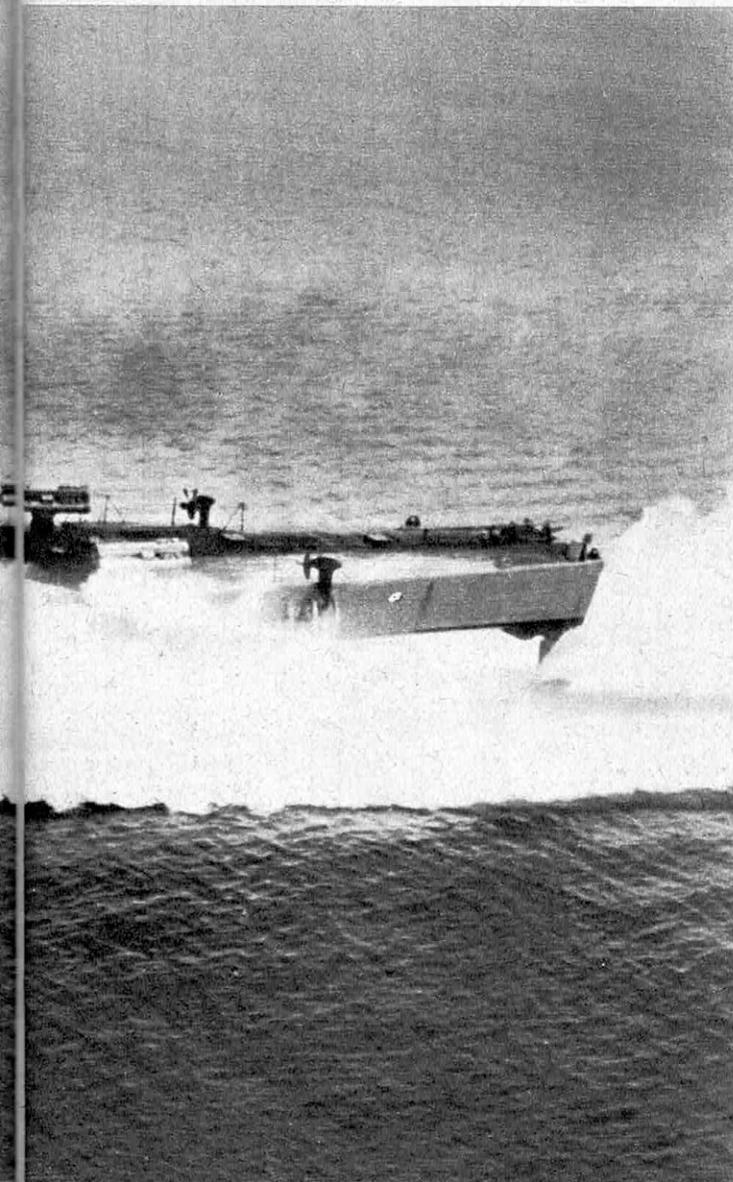
actuellement un programme d'évaluation militaire en haute mer. Propulsion par turbine à gaz et





100 passagers. La propulsion est assurée par deux diesels entraînant chacun une hélice marine.

hélices marines. La disposition des plans porteurs est classique (deux vers l'avant, un à l'arrière).



A la fin de novembre 71, l'U.S. Navy a confirmé à Boeing la commande de deux canonnières de 170 tonnes, dites PHM, armées de missiles **Harpoon**. Une série de 30 exemplaires devrait suivre, à partir de 1973, à la cadence de six unités par mois. Doté de deux turbines à gaz Rolls-Royce Proteus de 3 300 ch sur l'arbre, le PHM devrait croiser à 45 nœuds par mer calme et à 35 nœuds par mer force 5.

Dans le même temps, un autre engin poursuit ses essais, dans le domaine des systèmes anti-sous-marins. Il s'agit du Boeing **PGH-1 High Point** de 120 tonnes, qui fonctionne dans les meilleures conditions depuis plus de six ans. Il en est de même du plus gros hydroptère du monde, le **AGEH-1 Plainview**, construit par Lockheed Shipbuilding and Construction Co, qui explore en haute mer toutes les possibilités d'un engin de gros tonnage. Actuellement, le Plainview ne dispose que de deux turbines LM-1 500 de 14 000 ch sur l'arbre, ce qui limite sa vitesse de pointe à 60 nœuds. Tous les constructeurs américains concernés par le problème travaillent sur des projets évolués, civils et militaires. C'est le cas notamment de Boeing avec son avant-projet **Model 929** pour 300 passagers, envisagé pour des dessertes rapides ville-aéroport à Hawaï et San-Francisco. Quant aux projets militaires, **Model 923-12** serait un patrouilleur de 540 tonnes, porteur d'un hélicoptère de lutte anti-sous-marin et pouvant croiser à plus de 50 nœuds. Beaucoup plus ambitieux, le projet **929-16** concerne un escorteur rapide de 4 400 tonnes, puissamment armé (cinq hélicoptères ASM en particulier). Ce navire atteindrait 45 nœuds et pourrait franchir sans ravitaillement, à vitesse plus modeste, près de 3 600 km.

U.R.S.S., ITALIE, FRANCE...

En dehors des Etats-Unis, c'est en U.R.S.S. que l'on trouve les réalisations les plus spectaculaires en matière d'hydroptères, toutes les applications connues, ou presque, concernant le secteur civil.

Une première génération d'engins était, bien sûr, dotée de plans en V semi-submersés. Les unités les plus récentes sont toutes à plans entièrement immersés mais leur conception est assez différente de celle des modèles américains.

Autre terre d'élection des hydroptères, l'Italie. Le chantier naval **Leopoldo Rodriquez** a été un authentique pionnier et demeure à la pointe de l'actualité, encore que ses productions courantes demeurent basées sur la formule von Schertel de plans partiellement immersés. Des études sont cependant menées vers des solutions plus modernes.

Quelque 75 hydroptères ont été produits par le chantier Rodriquez depuis 1956. L'essentiel

LES PRINCIPAUX MODÈLES DE LA GAMME SOVIÉTIQUE

Meteor fut le premier hydroptère en service régulier, en 1960, sur la Volga. Il est propulsé par deux moteurs diesel refroidis par eau et emporte de 116 à 150 passagers à plus de 60 km/h.

Sputnik, de 100 tonnes, fut le premier des gros hydroptères soviétiques. Entré en service en novembre 1961, il croise à 75 km/h avec 300 personnes à bord.

Vikhr est une version de haute mer du Sputnik, caractérisé par ses plans porteurs plus longs. Il est en service sur la Mer Noire depuis 1962.

Kometa, dérivé de 56 tonnes du Meteor, a valu à l'U.R.S.S. ses premiers succès à l'exportation. Il peut affronter des vagues de 1,25 m. La version actuellement en production comporte cabine climatisée, diesels plus puissants et système de plans amélioré. La cabine est prévue pour 102 passagers.

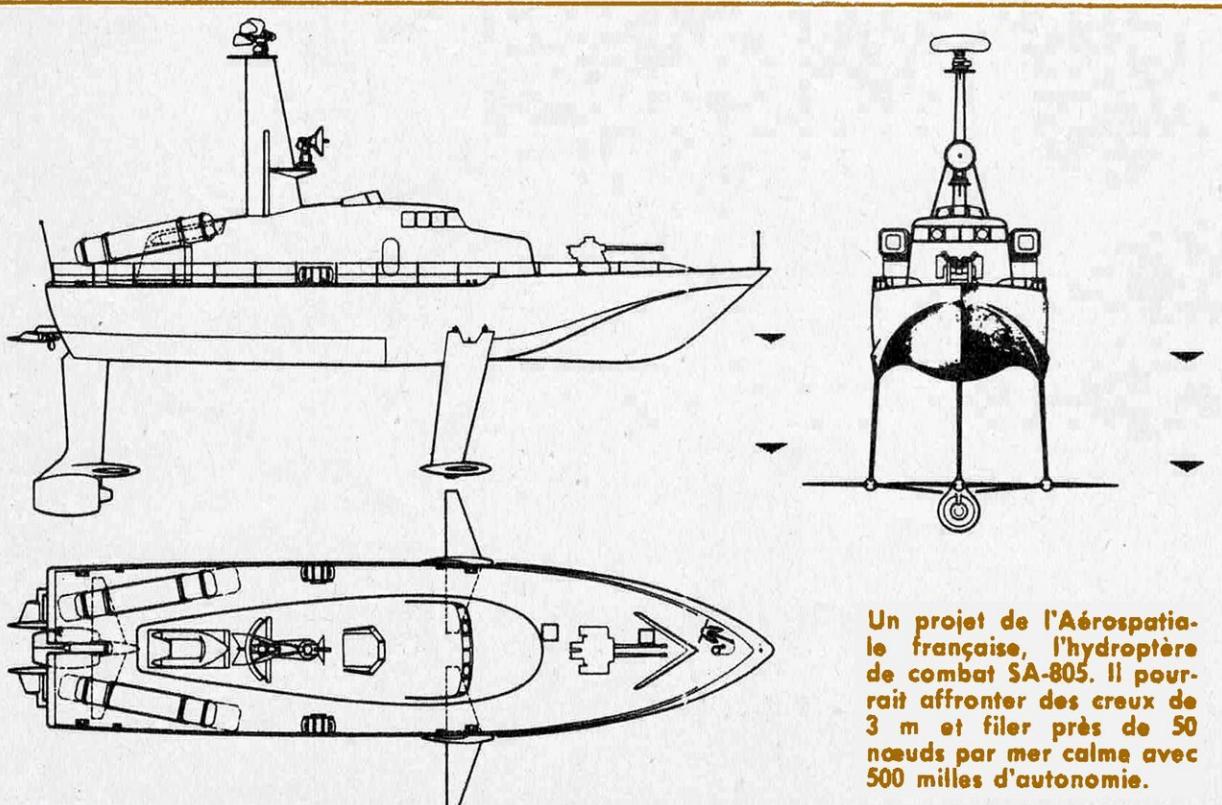
Strela, hydroptère de haute mer, de 46 tonnes, en service sur la Mer Noire, ressemble beaucoup aux créations Supramar. Propulsé par moteurs diesel, il présente une cabine pour 82-94 passagers. Existe aussi en version patrouilleur.

Raketa, navire de 25 tonnes pour une soixantaine de passagers, a été construit à plusieurs centaines d'exemplaires et est exporté dans plusieurs pays. La plus récente version, à tirant d'eau réduit (1,20 m), peut atteindre 70 km/h.

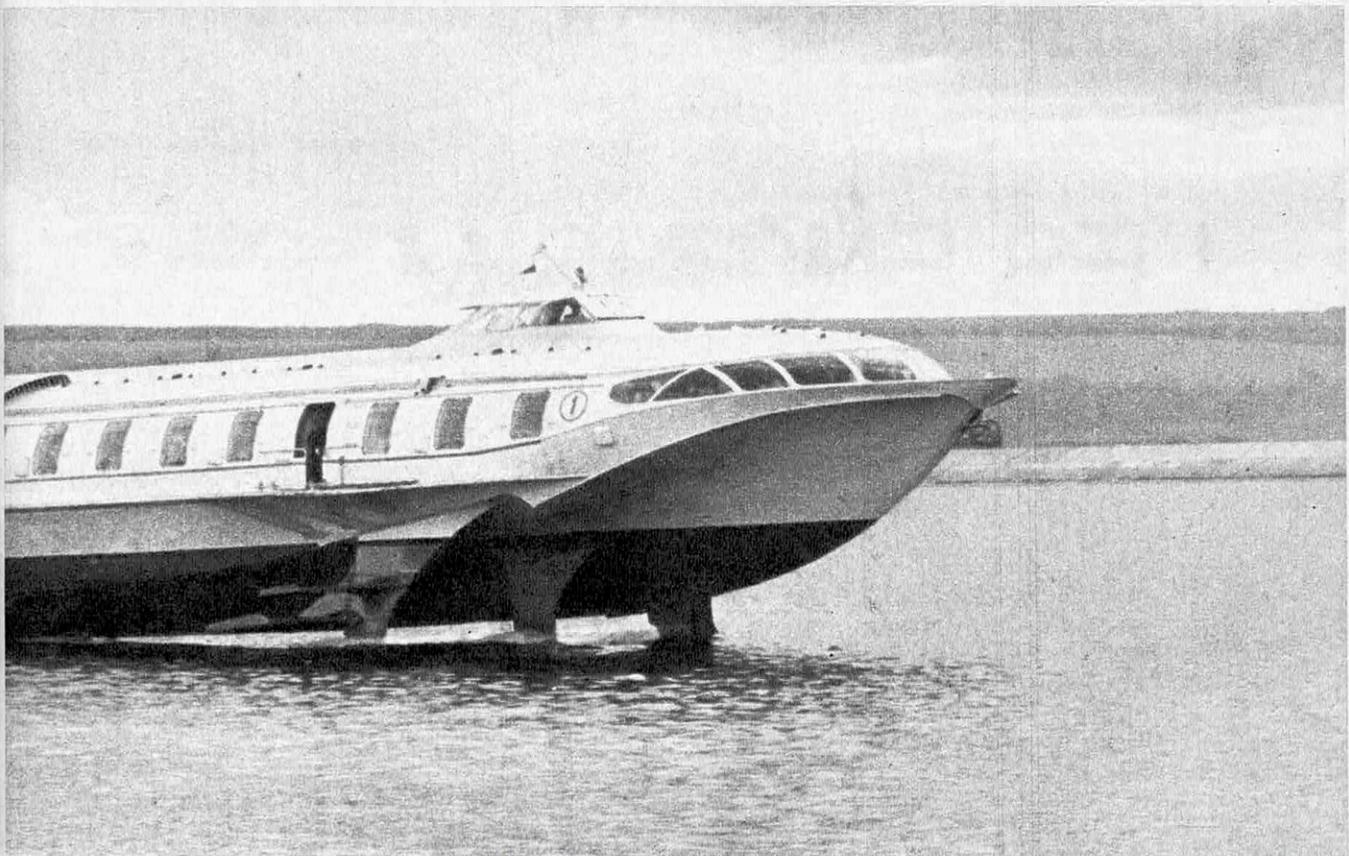


SPUTNIK

Burevestnik est le premier hydroptère soviétique à turbines et réacteur à eau destiné à la production en série. La capacité est de 130 à 150 passagers. Vitesse de croisière : 93 km/h.



Un projet de l'Aérospatiale française, l'hydroptère de combat SA-805. Il pourrait affronter des creux de 3 m et filer près de 50 nœuds par mer calme avec 500 milles d'autonomie.



Molnia, hydroptère de sport de six places, connaît un certain succès à l'exportation. **Typhoon** est le plus évolué des hydroptères soviétiques, le premier produit en série dont

les plans entièrement immersés sont pilotés automatiquement. Il devrait naviguer à 42 nœuds par mer calme et 38 nœuds par mer force 4.

de la production porte actuellement sur des engins civils de faible ou moyen tonnages. Notons les RHS-70 (32 tonnes, 71 passagers), RHS-110 (52 tonnes, 112 passagers), RHS-140 (65 tonnes, 125-140 passagers), RHS-200 (115 tonnes, 200 passagers). Plusieurs sont proposés en versions militaires ou en versions « utilitaires » pour la liaison avec les exploitations pétrolières off-shore.

Malgré son nom, **Seaflight** est une autre firme italienne dont les principales productions sont le P 46 de 12 tonnes pour 30 passagers (avec version militaire) et le H 57 pour 60 passagers, construit en petites séries et existant aussi en version militaire. Le L 90, enfin, de capacité de 125 passagers sera bientôt achevé.

Le premier projet militaire officiellement soutenu par le gouvernement italien n'a pas été confié à l'une de ces deux firmes, mais à l'**Advanced Naval Systems-Alinavi**. Crée par Boeing (60 % des parts), Finmeccanica (30 %) et Carlo Rodriguez (10 %), cette firme construit un prototype de près de 60 tonnes. Une turbine Rolls-Royce Proteus entraînant un réacteur à eau lui donnera une vitesse de pointe de 50 nœuds.

Etablie en Suisse, **Supramar** a cessé d'être

seulement un bureau d'études et vient de se lancer dans la construction, qu'elle sous-traite à divers chantiers.

En France, l'**Aérospatiale** termine dans son usine de Marignane la construction d'un hydroptère de recherche, le SA 890 (3,6 tonnes) qui devrait permettre, en douze mois d'essais sur l'étang de Berre, de dégager les problèmes hydrodynamiques, de pilotage automatique et de matériaux. Au-delà, deux applications sont envisagées : l'engin civil SA 800 de 55 tonnes, pour 300 passagers, et le SA 805, 115 tonnes, dont l'armement comporterait des missiles mer-mer Exocet. Dans les deux cas, la vitesse de croisière par mer force 5 serait voisine de 45 nœuds grâce à des réacteurs à eau.

S'il n'a pas encore atteint sa maturité, le phénomène hydroptère fait, on le voit, l'objet d'un intérêt soutenu de la part des chantiers navals et des marines militaires. On peut en conclure que cette technique n'est pas loin de trouver son épanouissement, qui devrait conduire à la réalisation d'engins de haute mer de plusieurs milliers de tonnes, à propulsion nucléaire. Mais ce n'est tout de même pas pour demain.

R. de NARBONNE

LES ENGINS MARINS

Des véhicules à coussin d'air, il y en a actuellement un peu partout dans le monde, mais rares sont ceux sortis du stade expérimental. Comme pour les navires à plans porteurs, l'idée directrice était d'affranchir le bateau de la traînée parasite de l'eau. Isoler la coque par une « bulle » d'air n'est pas une conception nouvelle, mais qui est restée théorique jusqu'aux travaux de l'Anglais Cockerell. Ce chercheur fut le premier qui parvint à isoler un engin de la terre, puis de l'eau, par un coussin d'air sous pression (injecté par des fentes judicieusement disposées, alimentées par de puissants ventilateurs).

UNE EFFICACITE MAL ETABLIE

Le développement des véhicules à coussin d'air n'a pas été très rapide, faute sans doute d'un intérêt militaire suffisamment prononcé. Car, sur le plan civil, l'aéroglisseur n'offre pas d'avantages économiques déterminants. En effet, d'un point de vue strictement aérodynamique, ce système n'est pas particulièrement efficace. Le rapport optimal portance/traînée, obtenu à une vitesse de croisière idéale (entre 125 et 180 km/h, 70 à 100 noeuds), n'est que de 4 à 7, contre 15 à 20 pour un avion. Quant aux navires classiques, ils atteignent dans les meilleures conditions des rapports de 40 à 80, ce qui constitue le secret de leur économie.

Certes, il faut faire intervenir le rapport charge utile/poids total. Dans le cas d'un paquebot, la charge utile dépasse à peine 5 % de la masse totale, valeur portée de 15 à 20 % pour un avion et à 40-50 % pour un engin à coussin d'air. L'intérêt d'un « hovercraft » peut donc résider dans la légèreté de sa structure. Seules les méthodes de la construction aéronautique ont permis pour le moment d'atteindre de tels résultats.

La difficulté consiste maintenant à construire économiquement, en matériaux légers et minces, des structures d'un volume comparable à celles d'un navire de charge de bonne

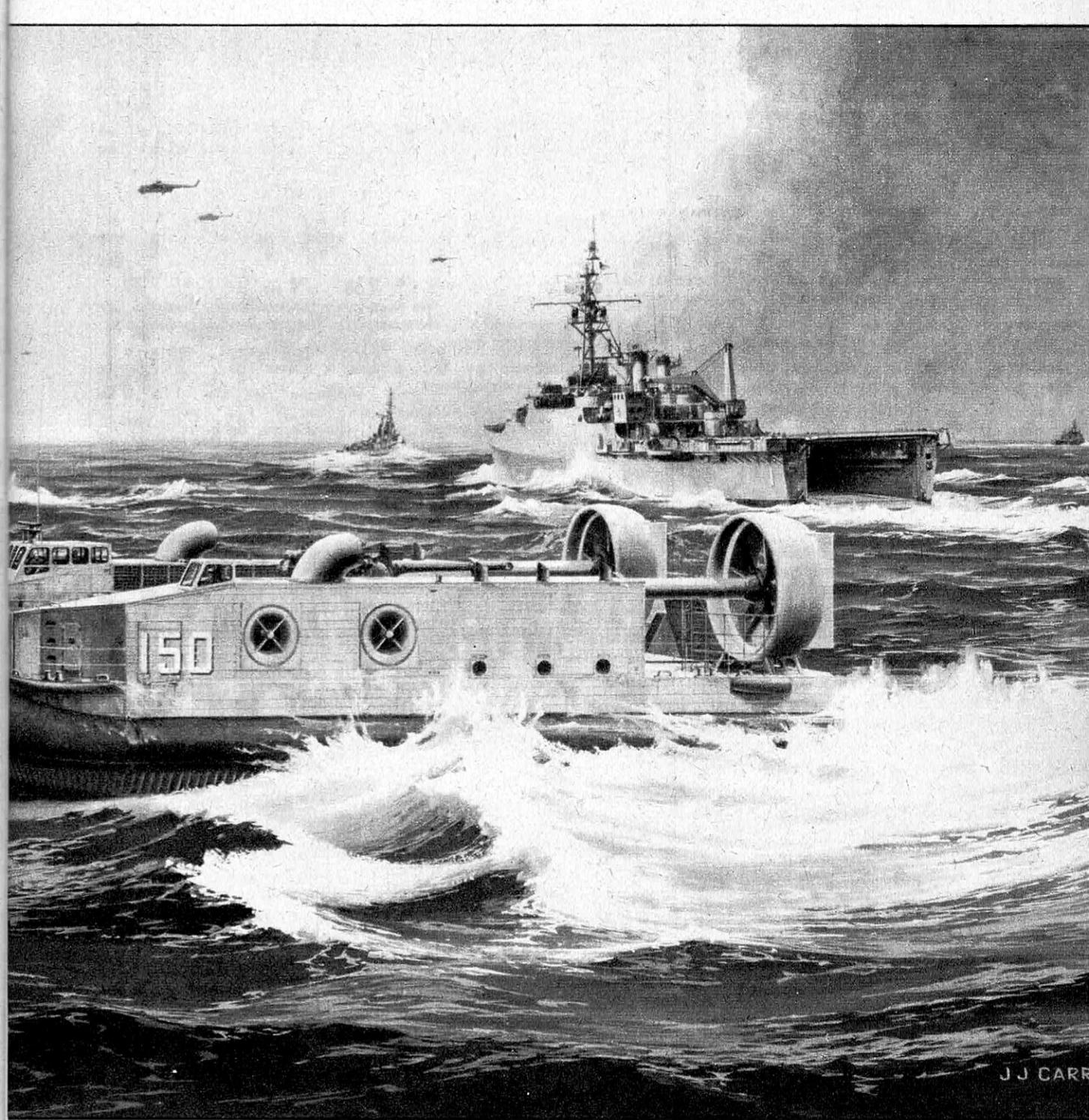


Un des « coussins d'air »
en projet
aux Etats-Unis
à l'initiative
des forces armées.
L'AALC C 150-50
de Bell Aerospace pourrait
transporter 75 t de fret

Avec son utilisation offensive par la Marine iranienne lors de l'investissement de quelques îlots du golfe Persique, le véhicule à coussin d'air est peut-être entré dans une ère nouvelle. Ceux qui virent à la télévision les images transmises à cette occasion se rappellent les évolutions de ces

véhicules étranges abordant les plages à grande vitesse, s'affalant sur le sable et débarquant leur contingent de fusiliers. On était loin de l'atmosphère encore un peu épique des services quotidiens de Hoverlloyd et de Seaspeed sur la Manche où elles se livrent une rude concurrence.

SUR COUSSIN D'AIR



J J CARR

taille et pouvant affronter la haute mer. Ce qui ne veut pas dire que des « hovercrafts » géants ne puissent être conçus pour des emplois militaires dans lesquels la rentabilité importe peu. Il reste que les calculs de rentabilité montrent que le tonnage optimal se situe au-dessous de 400 t. Au-delà, la réduction du rapport charge payante/poids total pénaliserait trop le prix direct d'exploitation. Certains spécialistes des « coussins d'air » croient tout de même fermement à l'échéance, à plus ou moins longue échéance, d'une génération d'engins géants, à propulsion classique ou nucléaire, capables d'effectuer des liaisons transatlantiques dans de bonnes conditions d'économie. Pourtant, des liaisons pour passagers U.S.A.-Europe en 48 heures impliqueraient des aménagements (couchettes, restaurants...) qui ne manqueraient de grever considérablement le devis de poids. L'application la plus logique serait la réalisation de porte-containers.

Dans le développement des engins actuels, l'idée de génie a été de faire intervenir des jupes souples qui améliorent très sensiblement le rendement global, limitent les projections d'embruns et accroissent le volume du coussin d'air, c'est-à-dire la garde entre le véhicule et la surface de l'eau. En utilisation marine, les jupes atténuent l'effet des vagues et améliorent la stabilité. Capables de s'effacer au franchissement d'un obstacle — même solide —, elles reviennent rapidement à leur position normale sous la pression de l'air du coussin. Les problèmes d'érosion des jupes ont été ramenés aujourd'hui à des proportions très acceptables.

De tous les systèmes en présence, deux surtout semblent avoir de l'avenir : les **jets périphériques** de la British Hovercraft Corporation et les **coussins multiples** mis au point en France par Bertin. Encore qu'il faille tenir compte de l'offensive américaine dans la formule des « cushioncrafts » à flancs rigides. Bien que l'adaptation de jupes ait considérablement amélioré le rendement et la stabilité des engins à jet périphérique, la solution Bertin conserve l'avantage d'une stabilité remarquable même par mer agitée. En effet, la dépression résultant d'un creux de vague ne s'applique jamais qu'à une partie seulement des « cellules » pressurisées. Les Anglais ont adopté une solution de même genre avec le compartimentage du dessous de leurs « hovercraft ».

La plus grande densité de l'eau pouvait rendre un voile hydraulique plus efficace qu'une mince pellicule d'air, et des essais ont été menés visant à remplacer le jet périphérique par un voile d'eau sous pression. A résultat égal, la puissance à mettre en œuvre est bien inférieure dans le cas de l'eau, mais, en pratique, le poids de l'eau transitant dans les canalisations vient grever la charge utile.

LES U.S.A. VONT DE L'AVANT

Les milieux officiels américains ont pendant très longtemps négligé les « air cushion vehicles », la seule marque d'intérêt étant la commande à Bell Aerosystems, licencié de British Hovercraft, de quelques unités expérimentales. Au cours des années toutes récentes, les choses ont bien changé. En 1968, Aerojet General et Bell Aerospace recevaient commande d'engins d'essais de 100 t, dans le cadre d'un programme conjoint de la Navy et de la Maritime Administration. En 1971, les mêmes sociétés démarraient l'étude, puis la construction, pour le compte de l'US Naval Ship Systems Command, de deux navires de débarquement de 150 t croisant à 60 nœuds. Dans le même temps était engagée, à la demande de l'US Army et du Marine Corps, l'étude de deux « coussins d'air » d'assaut de 60 t.

Cet impressionnant programme ne donne pourtant qu'un avant-goût de ce qui devrait suivre. On attend sous peu le choix, par l'Advanced Research Projects Agency du ministère de la Défense, des constructeurs chargés de développer un véhicule à effet de sol de 1 000 t destiné à l'Arctique. Quant à l'US Navy, elle doit sélectionner la firme qui étudiera un SES (Surface Effect Ship) de haute mer (2 000 t) qui pourrait voir le jour d'ici quatre ans.

Ce récent intérêt de l'US Navy s'explique très simplement, dans la mesure où son état-major voit dans les véhicules à coussin d'air possibilité de retrouver une suprématie des mers qu'elle est en train de perdre.

Commandé, comme nous l'avons vu, en 1968, le Bell SES 100 B, de 105 t en charge, a commencé ses essais en juillet 1971 sur le lac Ponchartrain et doit les poursuivre dans le golfe du Mexique. Sa coque en alliage léger résistant à la corrosion marine se prolonge de deux parois en catamaran qui, en croisière, frôlent la surface et assurent la stabilité du navire. Le coussin d'air est clos à l'avant et à l'arrière par deux jupes en nylon imprégné. La puissance de sustentation est fournie par trois turbines marines United Aircraft ST6J-70 de 620 ch. Deux hélices marines à supercavitation entraînées par trois turbines à gaz Pratt & Whitney FT 12 A-6 de 4 180 ch assurent la propulsion à des vitesses dépassant 80 nœuds sur mer calme.

L'engin concurrent d'Aerojet General vient de commencer ses essais. Comme le précédent, il possède des quilles latérales, mais sa propulsion est assurée par des réacteurs à eau. Les pompes sont entraînées par quatre turbines à gaz de 4 500 ch sur l'arbre qui assurent par ailleurs l'entraînement des trois soufflantes.

Les engins d'assaut de 60 t sont destinés principalement aux Marines. Le projet JEFF (A) d'Aerojet General devra pouvoir tenir sa vi-



LE PROJET VOYAGEUR

La plus récente création en matière d'ACV (air cushion vehicle) encore qu'il doive être plus souvent utilisé au-dessus de la banquise et des marécages qu'au-dessus de l'eau, est le « Voyageur », développé par Bell Aerospace Canada avec l'aide du gouvernement canadien et l'apport technique de la British Hovercraft Corp. Cet engin, qui a commencé ses essais en décembre dernier, est conçu pour transporter 25 tonnes à 80 km/h. Il devrait permettre, pour le moins, de « ventiler » le chargement des avions-cargos ravitaillant le grand Nord canadien.

Le Bell 7380 « Voyageur » a été conçu selon un principe modulaire afin de pouvoir être aisément transporté (par air, mer, route ou rail) jusqu'à sa base de départ, où il est réassemblé. Dans un premier stade, est prévue une version fret, avec cabine démontable pouvant abriter 200 passagers. Des versions militaires sont également envisagées. Les systèmes de propulsion et de sustentation sont ceux des SR-N5 et SR-N6, ce qui réduira les frais de développement en garantissant une excellente fiabilité en opération. La puissance installée est de 2 600 ch. On pense que le prix de revient en exploitation devrait être la moitié de celui d'un hélicoptère de gros tonnage.

tesse nominale de 75 nœuds par mer force 2. Destiné à prendre contact avec le sable des plages, il ne comportera pas de flancs rigides, mais une jupe périphérique. Le coussin d'air sera alimenté par deux turbines Lycoming TF40 de 2 800 ch entraînant deux séries de quatre soufflantes de 1,20 m de diamètre. Quatre autres turbines assureront la propulsion par l'intermédiaire de quatre hélices aériennes carénées, orientables sur 360° afin d'assurer le pilotage. Le JEFF (A) pèsera près de 79 t à vide. Il emportera 54 à 68 t de charge et environ 18 t de carburant. Il franchira des obstacles de 1,20 m.

Correspondant aux mêmes spécifications, le JEFF (B) de Bell est de formule très proche mais un peu plus simple. Le pilotage, en particulier, se fera par des gouvernes noyées dans le souffle des deux hélices carénées de propulsion.

En dehors de ces programmes à soutien officiel, les réalisations américaines ne concernent que des véhicules légers et sont le plus souvent le fait d'amateurs ou de minuscules entreprises. Quelques mots cependant à propos de l'ACV arctique de l'ARPA. Il s'agit de démontrer, avant le lancement de tout programme industriel, la possibilité de réaliser un véhicule à effet de surface (Surface Effect Vehicle, SEV) de gros tonnage, ce type d'engin étant surtout appelé à se déplacer sur des surfaces solides, banquises ou toundra. Pesaient 1 000 t en charge (300 t de charge utile), le SEV aurait une autonomie de 60 jours et pourrait croiser par tous les temps à quelque 100 nœuds (150 nœuds en pointe) sur plus de 5 000 km. Il ne faut pas s'attendre à des réalisations matérielles avant quelques années.

L'EXPERIENCE BRITANNIQUE

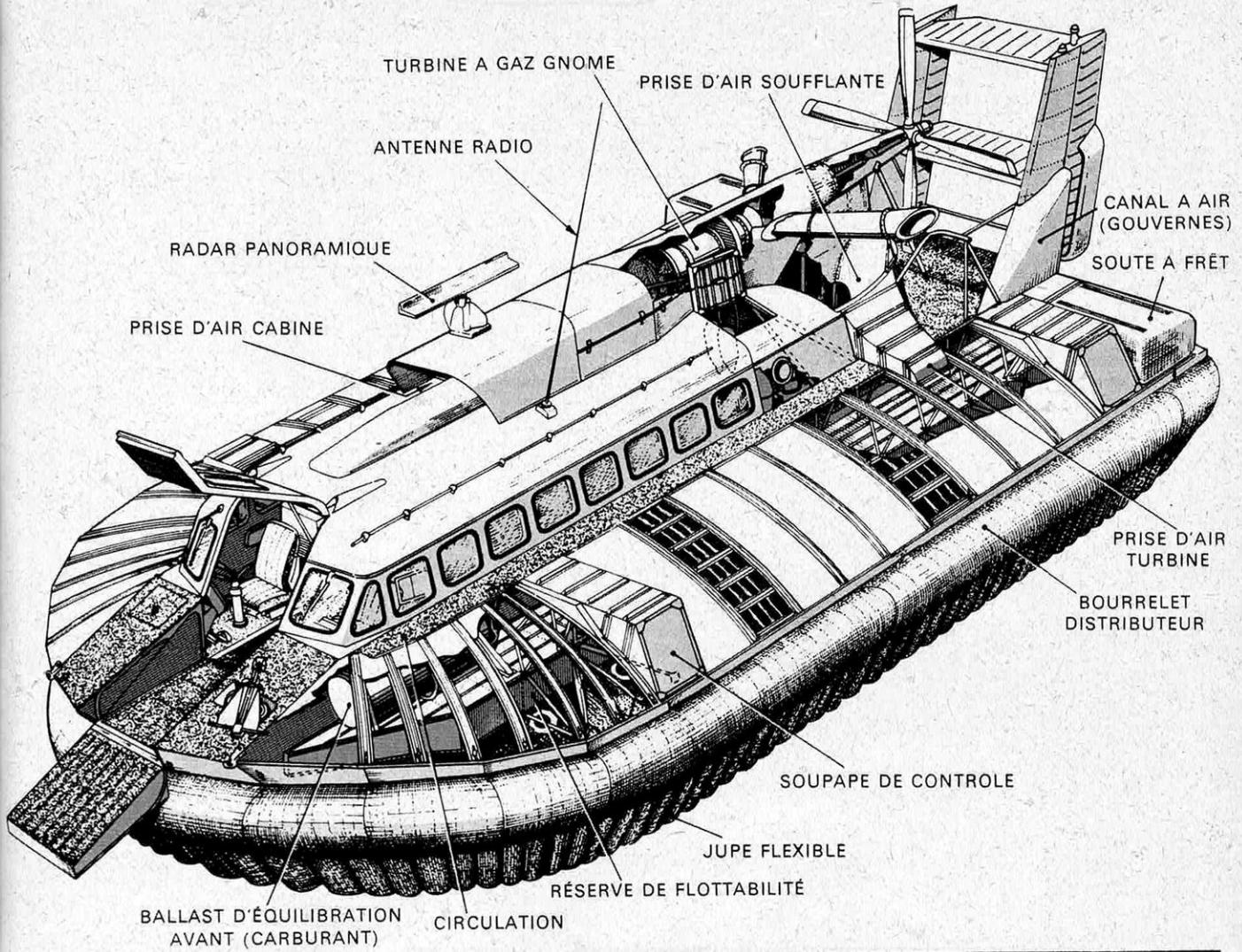
Dans son effort puissamment soutenu par les militaires, l'industrie américaine risque de dépasser l'industrie britannique qui, pourtant, fait encore figure de pionnier. Il est vrai qu'outre-Manche, peu d'études nouvelles sont lancées, faute de clients civils ou militaires. Seule, à un rythme lent, se poursuit la production de modèles déjà anciens mais bien éprouvés.

La British Hovercraft Corporation, dont le capital est détenu à 90 % par Westland, demeure le plus important constructeur d'engins à coussin d'air du monde. Trois types sont fabriqués en série, à des cadences diverses : le SR-N6 **Winchester** de 10 t, le SR-N4 **Mountbatten** de 180 t et le BH-7 **Wellington**. Le SR-N4 reste le plus gros « hovercraft » construit. Il est en service à quatre exemplaires sur la Manche depuis avril 1969. Le succès, en nombre de passagers et de voitures transportées, est indéniable, mais on peut se demander si la curiosité ne l'explique pas en partie. Les lignes desservies, par deux groupes concurrents, sont Ramsgate-Calais et Douvres-Boulogne avec, au plus fort de la saison, un départ toutes les heures de chaque côté du « Channel ».

Pouvant accueillir 250 passagers et une trentaine de voitures, le SR-N4 est conçu pour un trafic côtier sur des distances inférieures à 200 km. Il peut cependant soutenir une vitesse de 40-50 nœuds par creux de 3 m et de 20 nœuds par creux de 3,5 m. La puissance est fournie par quatre turbines marine Rolls-Royce Proteus de 4 250 ch sur l'arbre, logées par paires à l'arrière. En croisière normale, la puissance utilisée est de quelque 3 400 ch par groupe. Chaque turbine entraîne une hélice aérienne de 5,80 m de diamètre et une soufflante à 12 pales de 3,50 m.

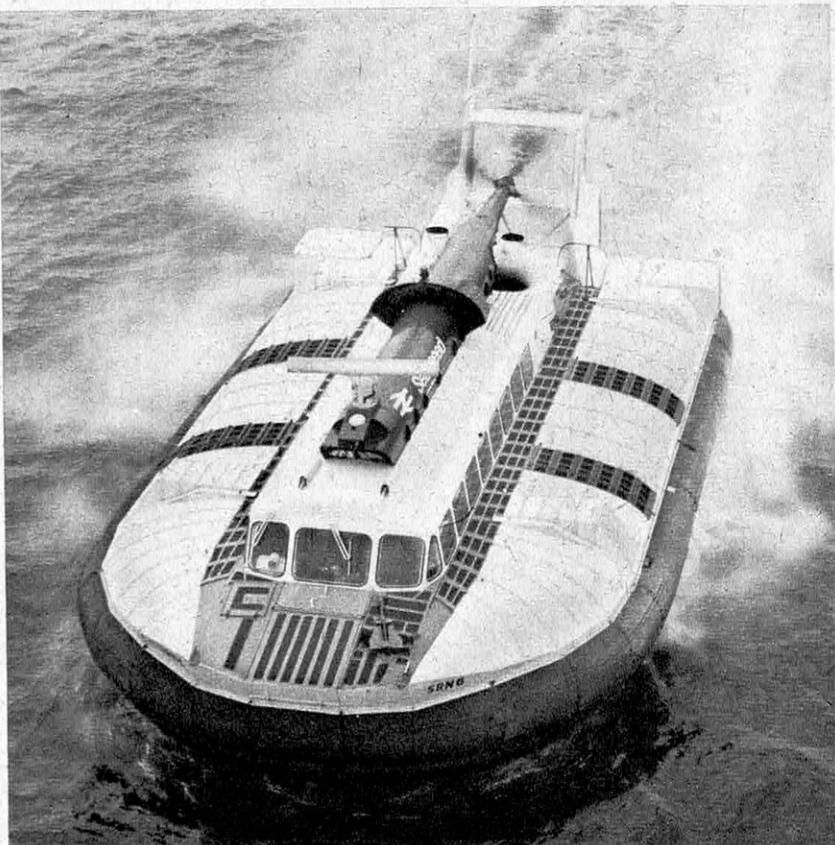
Successeur du SR-N5 **Warden**, qui fut le premier construit en série, le SR-N6 existe en versions civiles et militaires. Caractérisé par





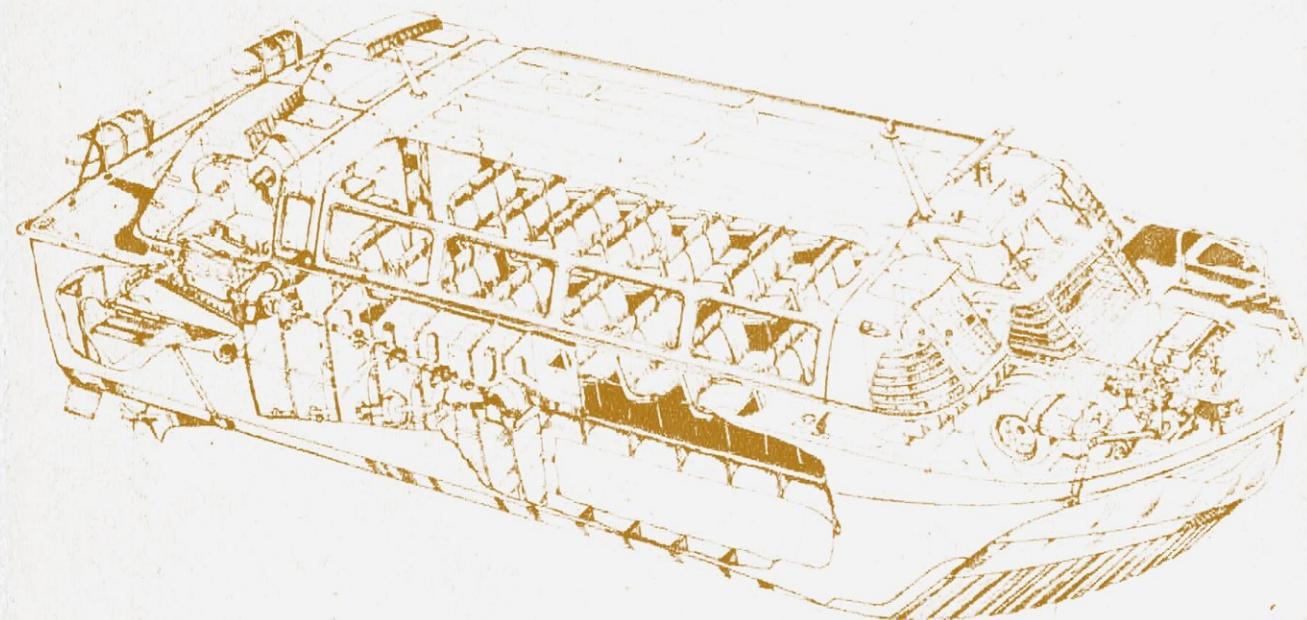
UNE FAMILLE BRITANNIQUE

Le BH-7, en page de gauche, en haut, est la plus récente des créations de la British Hovercraft Corporation. Il s'agit ici de la version Mk IV de transport logistique livrée à la Marine iranienne. Au poids de 45 t, le BH-7 croise à 60 nœuds par mer calme. En bas de page, deux des célèbres SRN-4, en service sur la traversée du Pas de Calais depuis 1969. Chacun des quatre SRN-4 en service sur cette traversée peut transporter 254 passagers et 30 voitures. Quant au SRN-6 (photo à droite et dessin en haut de page), c'est actuellement, du point de vue commercial, la plus brillante réussite de l'industrie britannique. Le SRN-6 est proposé en différentes versions civiles et militaires.



La Hovermarine Transport a retenu une technique « hybride » de propulsion par hélice marine pour ses HM-2 à flancs rigides. Le coussin d'air est emprisonné sous forme d'une « bulle » entre les flancs rigides et les jupes avant et arrière. L'exis-

tence d'une hélice classique limite les capacités amphibies de l'engin, les flancs rigides assurant par contre une meilleure stabilité à la mer. En page de droite, une flottille d'engins HM-2, déjà expérimentés en service commercial.



Autre navire à coussin d'air à propulsion marine, le VT-1 des Chantiers Vosper-Thornycroft conserve

un système de jupes classiques. Cet engin, déjà mis à l'épreuve de l'exploitation commerciale, est

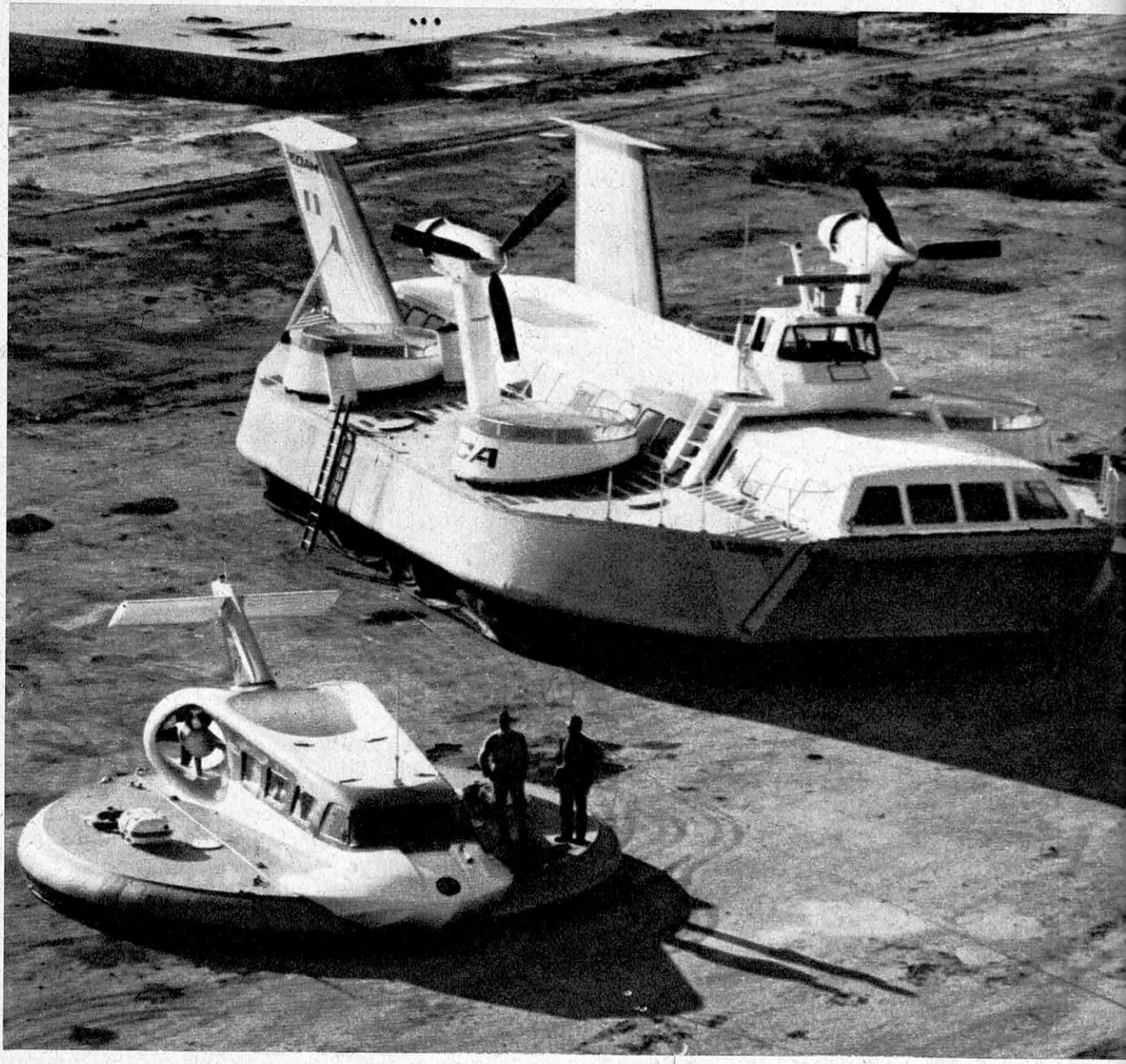


proposé en version militaire, comme patrouilleur équipé de missiles surface-surface Exocet.

sa grande robustesse, il est utilisé, à titre civil ou militaire, dans le monde entier. Il équipe, par exemple, le 200 Hovercraft Trials Squadron de l'armée britannique — première unité militaire ainsi dotée — et la marine iranienne. Conçu pour 38 passagers ou 3 t de fret, le SR-N6 est équipé d'une turbine Gnome de 900 ch sur l'arbre.

Le BH-7 est la plus récente production de la BHC. Il s'agit d'un véhicule typiquement militaire dont le premier exemplaire construit sert, dans le Solent, de banc d'essais à des systèmes navals, anti-sous-marins notamment. Les deux suivants ont été livrés à la marine iranienne. Une version à pont plat, armée de missiles mer-mer, a été dessinée mais n'a pas jusqu'ici été commandée. Dans la version livrée à l'Iran, le Wellington comporte une porte de proue pour l'embarquement ou le débarquement de 170 hommes (ou de trois véhicules tous-terrains avec remorques et 60 hommes de troupe). Une seule turbine Rolls-Royce Proteus assure les fonctions de sustentation et de propulsion. Par mer calme, la vitesse peut dépasser 120 km/h, mais elle est ramenée à 65-90 km/h par creux de 1,40 m. L'autonomie moyenne est de 8 heures.

Le chantier naval Vosper-Thornycroft ne pouvait rester insensible à la technique des coussins d'air. En 1968 fut lancée une première étude. Peu après, était passée une commande pour le VT-1 de 87 t, conçu pour transporter à 40 noeuds 150 passagers et dix voitures. Cet engin a fait l'objet, sous contrat du gouver-



nement britannique, d'essais intensifs dans la Manche. Contrairement aux modèles de la BHC, il est propulsé par hélices marines, ce qui entraîne des limitations d'accostage non négligeables. Une version militaire de 100 t et 46 nœuds, armée de quatre missiles **Exocet** et d'une tourelle automatique double de 35 mm, est proposée, mais encore sans succès. Notons que le VT-1 va, sous peu, être mis en service entre la Norvège et le Danemark.

Aujourd'hui filiale d'une firme américaine, **Hovermarine Transport** s'est attachée à la mise au point de véhicules à coussin d'air à flancs rigides. Deux modèles sont construits en série : le HM-2 de 60 places et le Hovercat MkII de 5 places. Les bureaux d'études de la société travaillent actuellement sur divers projets de même formule pour 100 ou même 350 passagers.

LA S.E.D.A.M. ET SES PROBLÈMES

Travaillant à partir des procédés Bertin, la S.E.D.A.M. (Société d'études et de développement des aéroglisseurs marins) s'efforce depuis six ans de promouvoir en France ses propres conceptions de véhicules à coussin d'air. Sa technique particulière consiste à fragmenter le flux d'air des soufflantes à l'intérieur de jupes multiples enfermées dans une jupe périphérique.

Fait exception à la formule le N-102, engin de 14 places conçu pour les liaisons sur courtes distances par mer calme. Une douzaine de N-102 ont été construits et certains utilisés par la Marine nationale. L'engin croise à 40-45 nœuds et peut négocier des vagues d'un mètre de haut.

Conçu d'emblée pour une utilisation com-

Deux réalisations de la SEDAM française : le Naviplane N-300, de 27 t, et le petit N-102. Propulsé par deux turbines Turbomeca Turmo III entraînant aussi les soufflantes, le N-300 est à jupe fractionnée façon Bertin. Le N-102, à vocation militaire et civile, est à jupe insegmentée. Sa turbine Turbomeca Astazou entraîne les soufflantes et deux hélices carénées de propulsion.

merciale, le N-300 (27 t) existe à deux exemplaires qui, depuis trois ans, ont été soumis à des essais intensifs prenant souvent l'aspect d'une exploitation commerciale. Après la desserte d'une liaison sur la Côte d'Azur au cours de l'été 1970, un des deux N-300 a été mis en service en 1971, comme bac, sur la Gironde. En trois mois, entre Blaye et Lamarque, 5 000 voitures et 15 000 passagers ont été transportés sans aucun incident. Une nouvelle génération de N-300 est envisagée, avec une pré-série de deux ou trois unités suivie d'une production de série si une clientèle suffisante se manifeste. Différentes versions civiles et militaires sont prévues.

La source de puissance du N-300 est constituée de deux turbines Turboméca Turmo III N3 couplées chacune à une hélice aérienne de 3,60 m de diamètre et à deux soufflantes de 1,90 m. Chaque soufflante alimente deux jupes de 3,10 m de diamètre. Avec 100-120 passagers ou 13 t de charge, le N-300 peut croiser pendant trois heures à 80 km/h. Il est complètement amphibie et se contente, comme « terminal », d'un plan incliné, de préférence bitumé.

Forte de l'expérience acquise avec le N-300, la S.E.D.A.M. a lancé voici quelques années l'avant-projet d'un véhicule beaucoup plus important qui a suscité un certain intérêt. La S.N.C.F. par exemple, envisage de mettre en ligne ce N-500 sur la Manche, tandis qu'une liaison entre Royan et Le Verdon est prévue. Le temps de traversée de la Gironde serait ainsi ramené de 45 à 5 minutes... En version bac, le N-500 pourra transporter 246 passagers et 36 voitures.

Capable d'affronter des vagues de 4 m, le N-500 croisera à 80 noeuds sous la traction de trois hélices de 5,50 m de diamètre entraînées par des turbines Lycoming TF35 de 2 500 ch. Deux autres groupes entraîneront les deux soufflantes axiales de 3,55 m de diamètre. La construction du prototype devait commencer en 1971, les essais étant prévus pour 1973 et l'entrée en service pour 1974. Faute de financement, ce calendrier subira un décalage d'au moins un an.

Malgré ses succès techniques, la S.E.D.A.M. traverse une crise. Les pouvoirs publics paraissent réticents quant à continuer seuls à financer le développement des modèles nouveaux. Le peu d'empressement des utilisateurs potentiels est, il est vrai, inquiétant. Le groupe Fiat a cependant acquis une option sur la licence de certains modèles SEDAM.

COUSSINS D'AIR SOVIETIQUES

En U.R.S.S., les engins à coussin d'air connaissent un certain développement. Suivent quelques détails sur les modèles connus :

— **Breeze** : un véhicule léger pour onze personnes ;

— **Gorkovchanin** : construit en série pour naviguer sur les rivières peu profondes et au cours tourmenté, ce navire à flancs rigides et faible tirant d'eau est propulsé par hélice marine. Sa vitesse de croisière, assez réduite (35 km/h), lui permet de négocier les méandres. La propulsion est assurée par un diesel de 265 ch. Capacité : 48 passagers ;

— **Skate** : engin amphibie de 50 places, pesant 27 tonnes et croisant à plus de 90 km/h. Il existe en versions militaires ;

— **Orion** : projet de 80 places extrapolé du Gorkovchanin.

— **Sormovich** : appareil de 50 places propulsé par turbine de 2 500 ch entraînant deux hélices aériennes et une soufflante. Vitesse de croisière de l'ordre de 120 km/h par creux de 1,20 m.

— **Zarya** : c'est à proprement parler un aéroglisseur, la proue étant déjaugée par un flux d'air dynamique. Capacité 86 passagers.

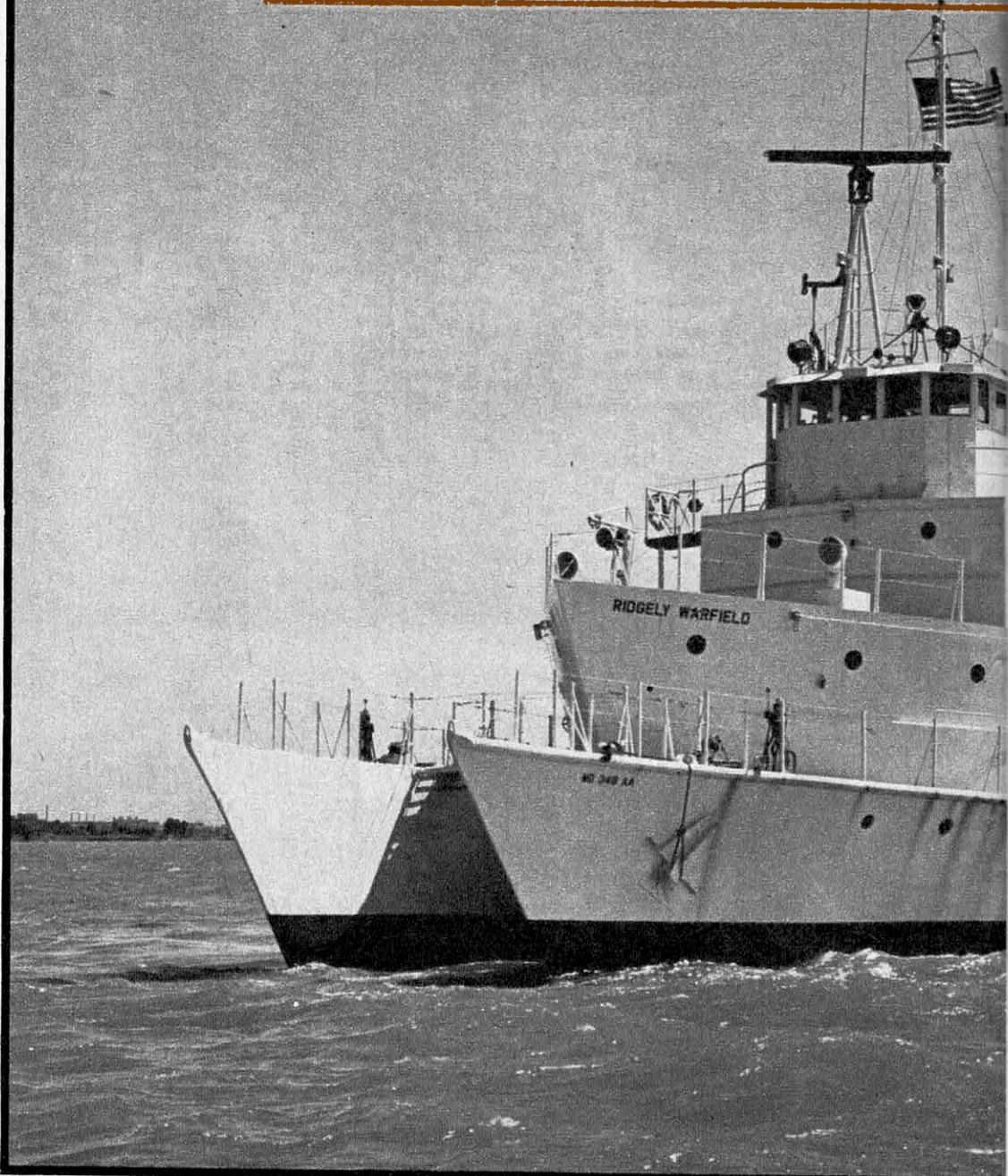
Dans le même temps, s'est d'ailleurs développée une campagne tendancieuse qui n'est pas pour simplifier les problèmes.

**

Bien que l'intérêt suscité de par le monde par les véhicules à coussin d'air soit, on le voit, soutenu, on ne peut pourtant entrevoir la mise à la retraite des navires traditionnels. Si l'on parle très sérieusement de « navires volants » de plusieurs milliers de tonnes, les navires classiques ont encore de beaux jours devant eux. Même si rien ne permet d'espérer un bouleversement de leurs performances, ils garderont longtemps l'avantage de l'économie. Plus onéreux à exploiter, le navire à coussin d'air trouvera sa place là où les performances priment le coût, par exemple chez les militaires.

René MOTAI

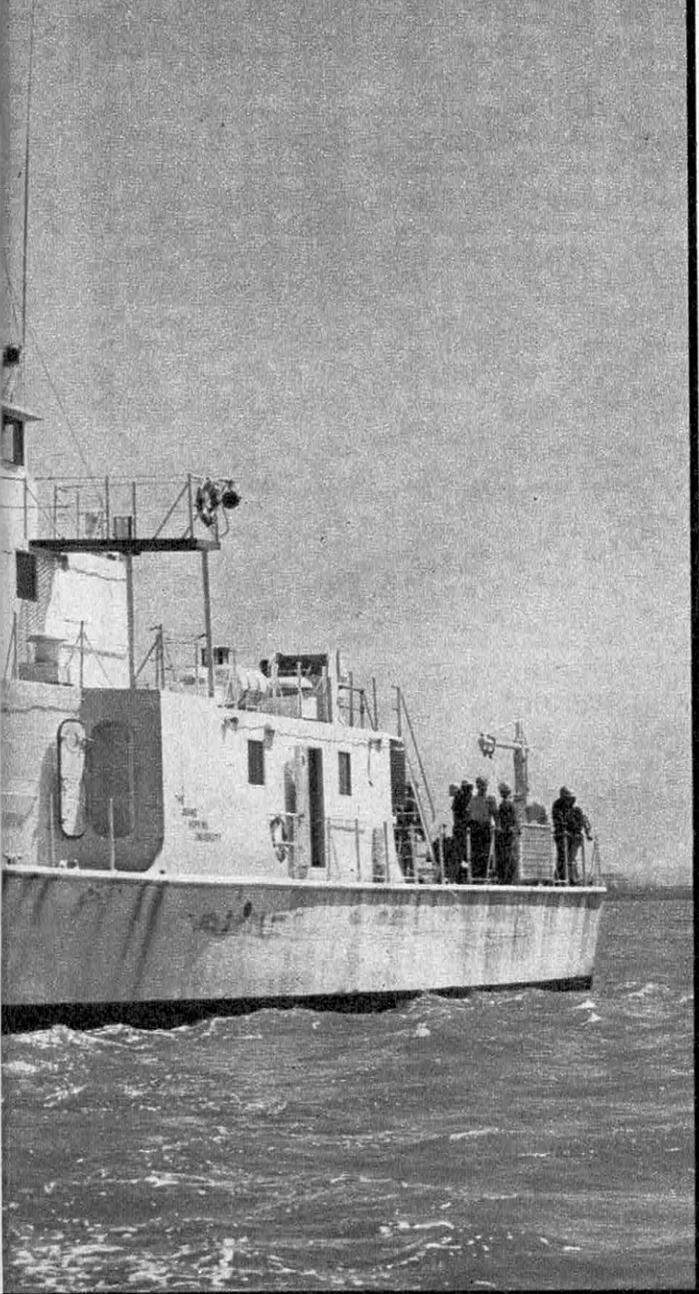
LES CATAMARANS LOURDS



Johns Hopkins University

Entré en service pour le compte de la John Hopkins University en 1966, le navire océanographique Ridgely Warfield est de type catamaran et construit en aluminium. Ses caractéristiques

Mise au point de façon très empirique par les Polynésiens, la solution du navire à deux coques, ou catamaran, n'a connu jusqu'ici (hors la navigation de plaisance) qu'une fortune assez modeste. Il pourrait bientôt n'en être plus de même, des projets de catamarans lourds sortant peu à peu des cartons. Vitesse, stabilité, capacité marchande accrue, ces conceptions nouvelles ont largement de quoi séduire.



propres lui ont permis de s'acquitter déjà de diverses missions scientifiques dans de très bonnes conditions.

Pour affronter les longues houles du Pacifique Sud, les Polynésiens eurent l'idée d'accoupler par des entretoises les coques de deux canoës creusés dans des troncs de cocotiers. Ce dispositif, auquel on donnera le nom de « catamaran » avait l'avantage d'une meilleure stabilité transversale et permettait l'usage d'un mât plus haut et d'une voile plus grande.

Les navigateurs de la fin du XVIII^e siècle ayant rapporté en Grande-Bretagne quelques spécimens de catamarans, l'Amirauté en fit étudier les qualités nautiques. A cette époque où les brûlots étaient à la mode, la partie avant des embarcations n'était jamais suffisante pour y accumuler les barils de poudre et la formule à double coque parut fournir une élégante solution. Les essais entrepris jugés satisfaisants, lord Melville, devenu Premier Lord en 1802, fit construire une flottille de catamarans dont les coques devaient être bourrées d'explosifs et la pontée chargée de matières inflammables. Dans la nuit du 2 au 3 octobre 1804, la flottille prit la mer en direction de Boulogne où était rassemblé le corps d'invasion de Napoléon. Arrivés à portée des batteries de côte, les équipages abandonnèrent les embarcations après avoir allumé les mèches et actionné les mouvements d'horlogerie. Heureusement pour les Français, le vent tomba quelques minutes plus tard et l'opération se solda par un échec complet. Cette **expédition des catamarans** jeta un tel discrédit sur ce type de matériel qu'aucune marine de guerre ne voulut plus en entendre parler.

L'entrée en scène de la machine à vapeur remit en honneur la formule de la double coque, qui fut utilisée pour des bacs et des ferry-boats. Revenues de leurs préventions, certaines marines de guerre construisirent des pontons à double coque reliée par des portiques pour le relevage des sous-marins. La Marine

française, en particulier, émue par la fin tragique du **Farfadet** et du **Pluviôse**, mit en chantier un engin qui encombra une trentaine d'années le port de Toulon mais n'eut jamais l'occasion de servir.

La marine de plaisance allait tirer un meilleur parti du catamaran. Séduits par sa vitesse et sa maniabilité, les constructeurs de monotypes se sont ingénierés à améliorer les formes de carène et le gréement, puis ils ont étendu la formule à des yachts à moteur de grandes dimensions.

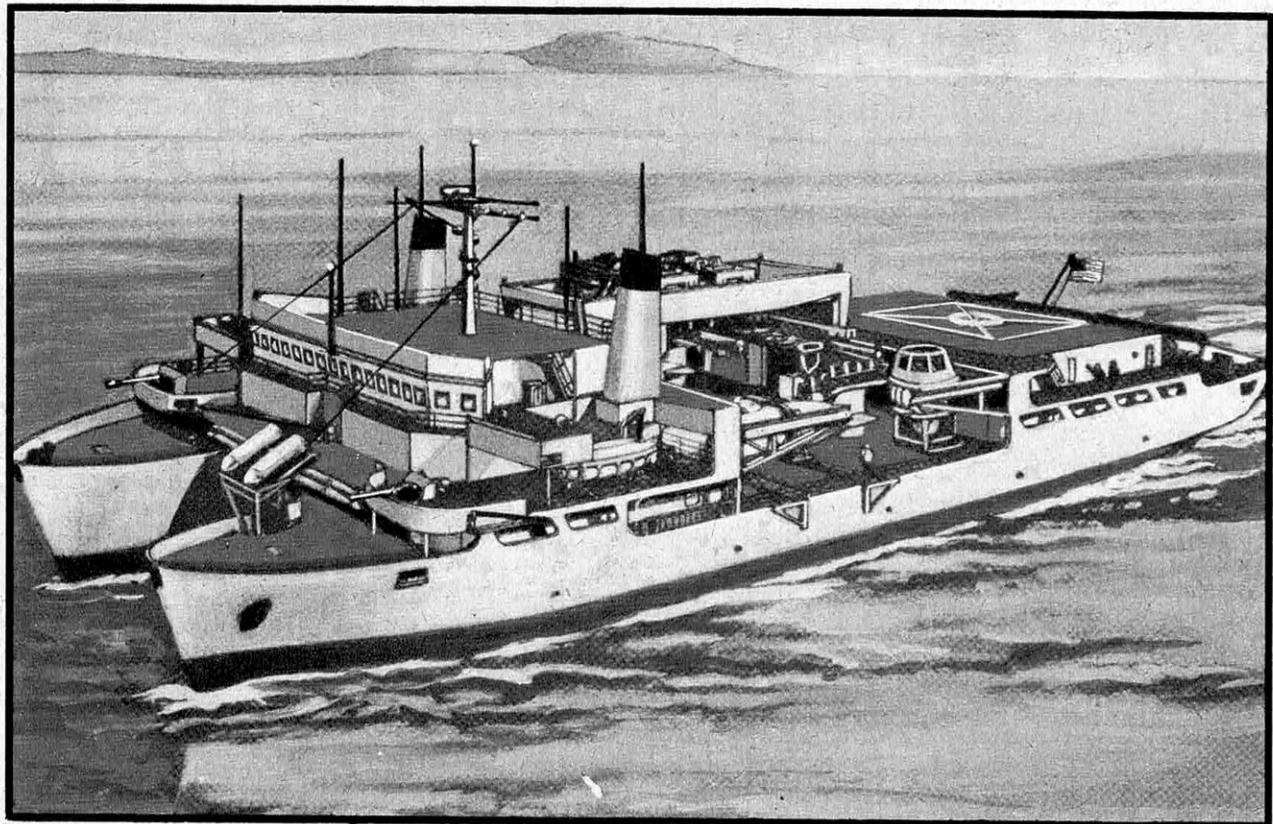
La réussite commerciale aidant, le monde maritime s'est de nouveau intéressé aux navires à double coque. Les qualités intrinsèques du catamaran (stabilité transversale accrue, capacité de charge de 20 à 40 % supérieure à celle d'un navire monocoque de même tonnage et disponibilité d'un plan d'eau entre les coques) ont intéressé divers armateurs. Ainsi fut étendue la formule à des ferry-boats et à des cargos de mille à deux mille tonnes. Ce renouveau ayant coïncidé avec l'essor de la recherche océanographique, les instituts spécialisés, les compagnies pétrolières et le **Naval Research and Development Center** de la marine de guerre des Etats-Unis ont entrepris l'étude hydrodynamique des navires à double coque en vue de nouvelles applications.

LES PROBLEMES HYDRODYNAMIQUES

L'étude de carène d'un catamaran est très complexe. Le calcul de la résistance de frottement, le tracé optimum des appendices, l'étude du moment inclinant exercé par la houle, l'évaluation du changement d'assiette et de l'enfoncement dus à la vitesse, tous ces facteurs sont complètement perturbés par la présence d'un attelage rigide entre deux coques voisines, même si elles sont identiques et placées symétriquement par rapport à l'axe de propulsion.

Un exemple simple permet de saisir le problème. Il suffit d'observer un couple de canards qui démarre en ligne de front à une demi-longueur l'un de l'autre. Dans l'espace qui les sépare, se produisent des interférences entre les deux houles de sillage que les poitrails soulèvent et les filets d'eau qui glissent le long des plumages y sont perturbés, alors qu'ils ne le sont pas du côté libre. Aussi voit-on les deux canards s'écartez l'un de l'autre pour éviter la gêne que leur causent les turbulences.

Avec un catamaran, la solution consistant à augmenter l'écartement des coques oblige à un renforcement des entretoises, d'où une



Les ASR 21 et 22 de l'US Navy sont probablement les plus lourds catamarans construits à ce jour. Mesurant plus de 75 m de long et offrant un plan

d'eau calme de 10 m entre les coques, ces unités pourraient être utilisées pour la mise en œuvre de sous-marins de sauvetage DSRV.

augmentation du tonnage. Comme cette augmentation accroît la résistance de frottement propre à chacune des coques, l'intérêt de la solution est faible. Aussi les constructeurs ont-ils surtout cherché à dessiner des formes de carènes optimales pour les applications envisagées.

LES CATAMARANS CLASSIQUES

Des trois principaux avantages du catamaran, la disponibilité d'un plan d'eau calme entre les coques, lorsque le navire est stoppé, est à l'origine de la vocation océanologique de ce type de navire.

Dès 1965, l'université John-Hopkins de Baltimore dressait les plans d'un navire de recherches océanographiques à deux coques en aluminium, à grand allongement, convenablement profilées. Ce bâtiment de 162 t, le **Ridgely Warfield**, mis sur cale en 1966, est entré en service en 1968.

Les deux coques ont 32 m de long et 3 m de large au maître-couple ; leur tirant d'eau est de 3 m. Elles sont reliées par une plate-forme de 10 m de large sur environ la moitié de leur longueur. Sur cette plate-forme sont installés les laboratoires et les logements (huit hommes d'équipage et dix océanographes). Au droit du point d'amplitude d'oscillations minimales, un puits de 3 m de diamètre est aménagé entre les coques pour l'immersion en eau calme des instruments de mesure. Sur les plages arrière des coques, des grues de levage et divers bossoirs sont installés pour la mise à l'eau des carottiers et des bennes de prélèvements d'échantillons.

La propulsion du navire est assurée par quatre diesel de 600 ch, couplés dans chacune des coques sur un arbre porte-hélice. La vitesse maximale est de 23 nœuds et la vitesse de croisière 18 nœuds.

Grâce à sa bonne stabilité transversale, à la rapidité de ses déplacements et à la superficie de sa plate-forme (de 30 % supérieure à celle d'un navire monocoque de même tonnage), ce bâtiment a pu mener à bien dans la Chesapeake, la grande baie de la côte Est des U.S.A., des études sur la pollution, sur les modifications des courants dues aux dragages et sur la dispersion des déchets radioactifs. Ces travaux auraient demandé deux fois plus de temps à des bâtiments monocoques.

A peu près à la même époque, la Marine de guerre des Etats-Unis mettait sur cale deux catamarans de haute mer pour le sauvetage des sous-marins. Ces bâtiments, destinés à naviguer par tous les temps et à manier des

charges très pesantes, sont encore aujourd'hui d'un tonnage très supérieur à tous les autres catamarans existants. L'ASR 21 **Pigeon** et l'ASR 22 **Ortolan** ont les caractéristiques suivantes : 4 200 t de déplacement, réparties sur deux coques de plus de 76 m de long sur 8 m de large au maître-couple, séparées par un plan d'eau de 10,36 m. La propulsion est assurée par quatre diesel de 1 500 ch couplés dans chaque coque et actionnant des hélices à pas variable. La vitesse maximale n'est que de 15 nœuds, mais le rayon d'action atteint 6 000 milles nautiques.

Les coques sont reliées entre elles par deux plates-formes disposées l'une à l'avant, l'autre à l'arrière. L'espace ménagé entre les deux plate-formes permet de mettre à l'eau, grâce à un portique sur glissière, cloches de plongée et engins de sauvetage. Ce bâtiment peut éventuellement embarquer deux petits sous-marins DSRV (voir p. 125).

La plate-forme avant supporte deux étages de ponts où sont groupés tous les logements, les services médicaux et les centraux d'opérations. La passerelle de manœuvre est au-dessus du deuxième pont et occupe toute la largeur du bateau. La plate-forme arrière n'a qu'un seul étage, réservé aux ateliers et au stockage du matériel.

En 1969, était mis sur cale à Seattle, le navire de recherches océanographiques **Hayes** (A-GOR 16). C'est une version très agrandie (3 100 t) du Ridgely Warfield. Les superstructures, qui comportent trois ponts, reposent sur une plate-forme continue ménageant des passe-avant latéraux reliant l'extrême avant à l'extrême arrière. Deux importants complexes de treuils sont disposés à l'avant et à l'arrière. Celui de l'avant sert à l'ancre du navire par des profondeurs pouvant atteindre 7 000 m. A l'arrière, sur le deuxième pont, un treuil auxiliaire permet de mettre à l'eau de lourds ensembles d'écoute sous-marine. Trois puits, pour la mise à l'eau d'appareils sensibles, sont installés, l'un dans la partie avant de la coque tribord, les deux autres dans chacune des coques, au milieu de la longueur.

La propulsion principale est assurée par deux groupes diesel de 2 700 ch installés dans chaque coque et actionnant une hélice à pas variable. Chacun de ces groupes est doublé par un moteur auxiliaire de 165 ch assurant des vitesses de 2 à 4 nœuds : à ces vitesses, le navire peut tourner pratiquement sur place par action différentielle des hélices. La marche des machines est entièrement automatique et toutes les commandes réunies dans une « central operation room ». Quant au

chef du service océanographique du bord, il dispose d'un centre où se trouvent les ordinateurs et les répéteurs donnant toutes les indications nécessaires à la mise en œuvre des appareils scientifiques : cap, tension des chaînes et des câbles d'ancrage, position des engins sous-marins...

LES CATAMARANS A COQUES IMMERGÉES

Les catamarans classiques de fort tonnage ne peuvent guère dépasser 15 nœuds. Plus accusée pour ces navires à double coque, la limitation en question ne leur est pas vraiment particulière et résulte du champ de vagues d'accompagnement. Celui-ci, même sur un navire monocoque, entraîne une résistance notable qui s'ajoute aux résistances de frottement. Pour un navire d'une longueur donnée, il existe toujours, de ce fait, un **mur de vitesse**. Si l'on veut le franchir, il faut soulever la coque au-delà de la surface ou, au contraire, la faire passer au-dessous. En dehors du submersible, deux solutions peuvent être envisagées : la solution hydroptère et la solution catamaran à coques immergées.

Dans cette technique, la plate-forme est maintenue au-dessous de la surface par des supports profilés de grandes dimensions.

La rentabilité d'un navire de charge étant conditionnée non seulement par sa vitesse propre mais aussi par le nombre de « rotations » qu'il peut effectuer dans un temps donné, la capacité et les facilités de manutention entrent largement en ligne. Sur tous ces points, la solution catamaran à coques immergées présente de tels avantages qu'elle est actuellement envisagée pour des navires de très fort tonnage.

La résistance à l'avancement étant réduite au frottement sur la surface mouillée, on espère, en adoptant un profil en forme de torpille, obtenir un gain de vitesse (à puissance égale) de l'ordre de 75 %. La flottabilité de l'ensemble coques-supports sera calculée telle que la plate-forme soit maintenue à une hauteur suffisante pour éviter le choc des vagues. Roulis, tangage et déplacements verticaux seront pratiquement annulés. Le seul problème qui se pose est celui de la stabilité longitudinale.

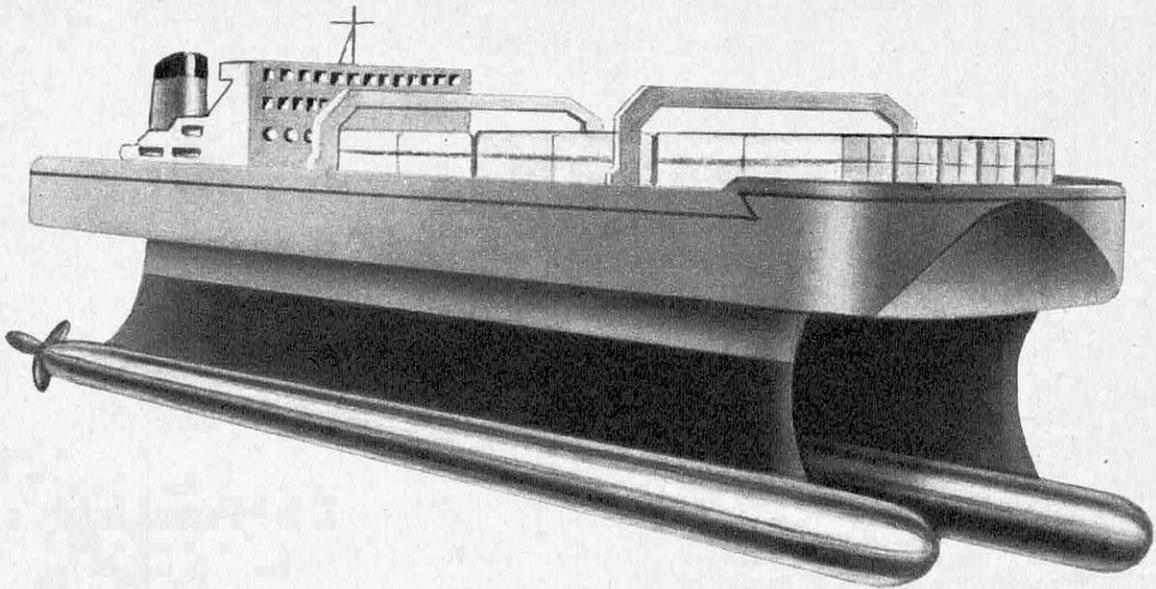
La flottabilité des coques à l'arrêt étant légèrement positive, l'immersion de croisière (largement au-dessous du creux des vagues), sera atteinte au moyen d'un nez inclinable analogue à celui de Concorde. Des gouvernes de profondeur semblables à celles des barres de plongée des sous-marins et actionnées automatiquement par des pistons hydrostatiques permettront de maintenir l'immersion désirée. Il s'agit là d'une technique éprouvée depuis des années sur les torpilles automobiles et

leur extrapolation récente au pilotage automatique des sous-marins de fort tonnage n'a donné lieu à aucune difficulté. Le seul problème, pour le catamaran, sera d'assurer l'assiette de la plate-forme, et non celles des coques immergées prises individuellement. Des études sont en cours en Suède pour faire reposer la superstructure non plus sur des supports rigides, mais sur des bras articulés. Baptisé **Sea-Sulky**, ce projet permettrait d'atteindre, avec des bâtiments de très fort tonnage, des vitesses par temps moyen de 30 à 45 nœuds. Un autre projet, le **Trisec** américain étudié par **Litton Industries**, prévoit de relier la plate-forme aux fuseaux immergés par une structure verticale continue, mais nous n'avons aucun détail sur la solution adoptée pour assurer la synchronisation des gouvernes.

D'AUTRES UTILISATIONS

Les projets précédents ont pour objectif le franchissement du mur de vitesse pour donner un nouvel essor au transport maritime. Mais l'éventail des applications possibles du catamaran est plus large. Des réalisations très diverses et moins ambitieuses ont déjà vu le jour. La première fut celle des plates-formes de forage sous-marin. La **Standco Industries** a mis sur cale une série de catamarans de moyen tonnage inspirés d'une plate-forme établie sur deux coques de tenders reliés par un réseau d'entretoises. Ce **C.P. Baker**, doté d'une bonne stabilité latérale par mauvais temps, s'était rendu par ses propres moyens dans le golfe du Mexique et mis en station au-dessus d'un forage. Mais, de grandes quantités de gaz s'étant accidentellement échappées vers la surface, la densité de l'eau superficielle diminua au point que l'une des coques s'enfonça très rapidement, entraînant la plate-forme sur le fond. Difficilement prévisible, cet accident n'infirme en rien les espoirs placés dans ce type de navire.

Autre application originale, mais qui n'est encore qu'à l'état de projet, celle imaginée par la filiale française d'**Ocean Structures**. Il s'agit d'un navire dépollueur dont la partie avant est celle d'un tanker ordinaire et la partie arrière constituée par deux coques légèrement divergentes. Au raccord des coques catamaran, la cloison médiane du navire est percée d'une ouverture verticale obturée par une vanne mobile, télécommandée par un détecteur de houle. Une fois arrivé sur la nappe de pétrole à éliminer, le bâtiment est orienté debout à la houle, puis propulsé en marche arrière par deux moteurs fixés extérieurement sur les coques des catamarans. Sous l'effet de la houle, la nappe superficielle se déverse à travers la vanne dans un réservoir de décantation. Une maquette de ce



Des coques immergées en forme de torpille, maintenues par des profilés verticaux, conféreraient au Trisec une vitesse de 75 % supérieure, à puissance égale, à celle d'un navire classique. Ce catamaran lourd de type particulier est étudié aux Etats-Unis par Litton.

navire, mise à l'épreuve au bassin des carènes, a donné des résultats très encourageants, mais la réalisation en vraie grandeur d'une unité qui devait déplacer 10 à 15 000 tonnes n'est pas encore envisagée. En attendant, les ingénieurs français ont poursuivi leurs études sur des catamarans pneumatiques **Zodiac** modifiés avec lesquels ils ont dépolué de petits plans d'eau saturés d'hydrocarbures. Les résultats obtenus sont si convaincants que, dans l'impasse où se trouve actuellement le problème de la pollution, le demi-catamaran d'**Ocean Structures** mériterait certainement d'être réalisé.

Un mot pour terminer d'une récente tendance consistant à « catamariser » de vieux navires dont le rendement commercial était devenu insuffisant. C'est au Canada que cette expérience a débuté, sur un ferry-boat. Le ferry **M.V. Island Princess**, qui assurait le service de l'île de Vancouver depuis 1958, n'avait plus la capacité nécessaire pour le transport des voitures et la compagnie exploitante pensa à allonger la coque. Les ingénieurs estimèrent que cet allongement poserait des problèmes de structure et de stabilité et proposèrent de couper plutôt le navire en deux dans le sens de la longueur, en intercalant entre les deux coques une plate-forme de 6,80 m de large. Cette innovation eut un plein succès et le ferry a aujourd'hui, avec un déplacement de 731 t au lieu de 422, une capacité de transport de 49 voitures au lieu de 20. A puissance égale (700 ch), la vitesse n'a été diminuée que d'un nœud (10,5 au lieu de 11,5), la stabilité et la manœuvrabilité se trouvant très améliorées.

DES PERSPECTIVES...

Ces exemples montrent que la formule catamaran est en plein essor et que l'on peut bien augurer de son avenir. L'application la plus immédiate semble devoir être le porte-conteneurs **Trisec**, si cette formule tient ses promesses dans le domaine des forts tonnages (20 000 t et plus). Pour ce type de bâtiment, on envisage des môle à trois quais parallèles entre lesquels s'engageraient les deux coques. La propulsion pourrait être assurée par turbine à gaz pour les moyens tonnages, et l'on pense déjà au réacteur nucléaire pour les déplacements supérieurs à 50 000 t.

Dans le domaine militaire, le **Naval Ship Research and Development Center** de Maryland se montre, il est vrai, très réservé vis-à-vis du catamaran de fort tonnage, la seule utilisation intéressante lui paraissant le porte-avions, pour la mise en œuvre des intercepteurs modernes exigeant des longueurs de piste dépassant 300 m. Les spécialistes estiment toutefois que le coût de pareils mastodontes et les modifications qu'il faudrait apporter aux bassins des arsenaux entraîneraient des charges financières inacceptables. La presse spécialisée a parlé d'un porte-avions d'escorte et de patrouille d'environ 10 000 t, mais il ne semble pas que le projet ait été retenu. Sur le plan militaire, il est probable que la formule « catamaran » restera longtemps cantonnée au domaine des recherches et du sauvetage sous-marin, tant aux Etats-Unis que dans les autres pays maritimes.

Albert VULLIEZ
de l'Académie de Marine

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9^e - Tél. 824 72 86
C.C.P. 4192 - 26 Paris

LES MEILLEURS LIVRES 1971

Cette bibliographie, établie d'après le stock d'ouvrages de notre librairie, ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général (1970). Prix F 7,50.

ASTRONOMIE

LA NOUVELLE ASTRONOMIE, SCIENCE DE L'UNIVERS. Pecker J.-C. et divers auteurs. — Inventaire et jauge de l'Univers: L'astronomie à l'œil nu. Le système du monde. Développement de l'astronomie optique et des observatoires traditionnels. L'extension des techniques. Le soleil. Les planètes et le système solaire. Le milieu interplanétaire. Le monde des étoiles et le milieu interstellaire. Les galaxies et la métagalaxie. Objets nouveaux: l'inventaire continué. **L'univers évolue:** Activité solaire. Structure et évolution des étoiles. Les étoiles variables, instables, anormales. L'âge des familles stellaires. Les objets jeunes. Cosmogonie du système solaire. Les objets vieux. Notre galaxie: ses populations, son évolution. Évolution de l'Univers et des galaxies. L'expansion de l'Univers: les faits. Cosmologie. **Exploration directe de l'Univers:** Techniques de l'exploration spatiale et de l'expérimentation astronomique. L'environnement terrestre. Poussières interplanétaires. Exploration de la Lune. Exploration des planètes. Communications avec la vie extra-terrestre. 432 p. 18,5 × 28. 201 fig. et photos. 11 photos hors-texte couleurs. 3 tabl. Relié toile. 1971 F 98,00

ATLAS DU CIEL DE L'ASTRONOME AMATEUR. Godillon D. — Notions élémentaires: Coordonnées célestes. Pointage d'une monture équatoriale. Les astres. **Cartes célestes:** Les constellations. **Sociétés, associations, cercles, groupes astronomiques:** liste alphabétique de quelques adresses. **Tables numériques:** Ascension d'une droite sur le méridien de Greenwich. Conversion du temps moyen en temps sidéral. Conversion du temps sidéral en temps moyen. Table de correction de précession. — Liste alphabétique des constellations. — 416 p. 18 × 25. 18 fig. 18 cartes d'ensemble et 144 cartes détaillées contenant plus de 22 000 étoiles ou objets dont plus de 2 000 catalogués. Une planche en dépliant. Relié. 1971 F 78,00

Rappel (du même auteur):

GUIDE DE L'ASTRONOME AMATEUR. 608 p. 18 × 25. 330 fig. relié. 1967 F 68,00

GUIDE DES ÉTOILES ET PLANÈTES. Menzel D.-H. et Egger F. — Traduit de l'américain. — Introduction. Les cartes du ciel. Les clefs du ciel. Les constellations, leur ordonnance. La nature des étoiles et des nébuleuses. L'atlas photographique. La Lune Le Soleil. Les planètes et leurs positions. Les autres membres du système solaire. Lunettes et télescopes: leur utilisation. L'astrophotographie. Le temps. Appendices. 408 p. 17,5 × 19,5. 62 fig. et photos. 48 cartes du ciel. Un atlas photographique, 13 cartes de la Lune. Relié toile. 1971 F 49,00

BÂTIMENT

CHAUFFAGE ET CONDITIONNEMENT ÉLECTRIQUES DES LOCAUX. Wolf R. — Thermique du bâtiment. Chaleur et confort. Paramètres climatiques. Isolation thermique. Inertie thermique des bâtiments. **Principaux modes de chauffage.** Climatisation: Chauffage direct. Chauffage à accumulation. Planchers chauffants. Chauffage et climatisation. **Principaux modes de régulation:** Régulation des systèmes de chauffage direct, thermostats: ordinaires, accélérés avec ou sans dérive, choix et position du thermostat dans le local. **Perspectives et projets:** Aspects économiques et perspectives. Exemples de calcul: Pavillon sur vide sanitaire, sur terre-plein, pavillon de un étage sur terre-plein. Chauffage collectif en base + appoint. 238 p. 16 × 25. 86 fig. 21 tabl. 1971 F 38,00

LA CLIMATISATION. Principes de base. Technologie des matériaux. **Méthodes de calcul.** Installation. Dépannage. Guénau Y. — Les unités. Caractéristiques de l'air, température, degré hygrométrique. Conditions de confort. Les conditions de base. Les bruits. Principe de fonctionnement des circuits frigorifiques appliqués au climatisateur. Le chauffage. Des différents types de climatisation. Humidification et déshumidification. Traitement des eaux. Les tours de refroidissement d'eau. Le filtrage de l'air. Les ventilateurs. Les bouches de soufflage et de reprise d'air. La distribution de l'air par gaines. Régulation de température, d'hygrométrie. Équipements spéciaux. Bilan thermique. Installations des climatiseurs. Principaux incidents frigorifiques, électriques, mécaniques; causes et remèdes. 232 p. 18 × 24,5. 168 fig. 7 tabl. 1972 F 39,00

TOUTE LA PEINTURE DE LA MAISON. Utilitaire et décorative en 500 photos commentées. (Coll. « Techniques artisanales modernes »). Lantoine M. — Les peintures modernes. Peintures, vernis, produits teignants. Conditions d'emploi. Préparation des fonds. Application des peintures. Ordre des opérations. Détail de l'exécution des peintures. Peinture et vernissage des bois. Peintures décoratives. Décor plastiques. Produits, matériel, accessoires. 80 p. 19 × 25. Relié toile. 1970 F 28,00

TOUS LES REVÊTEMENTS A LA MAISON. Leur pose en 500 photos commentées. (Coll. « Techniques artisanales modernes »). Villiers P. — Les matériaux modernes pour revêtements, dalles, carrelages. Mise en œuvre des matériaux. Dallages pour le sol. Habillage des murs. Revêtements pour meubles. Matériel, outillage, accessoires. 80 p. 19 × 25. Relié toile. 1970 F 28,00

TOUTE LA MENUISERIE A LA MAISON, en 500 photos commentées. (Coll. « Techniques artisanales modernes ») Bertrand-Richard J. — Le bois, matériau « noble ». Dressage des plats et des chants. Tracage. Percage. Coupes. Assemblages. Matériel et outillage. 80 p. 19 × 25. Relié toile. 1971 F 28,00

TOUTE L'ÉLECTRICITÉ A LA MAISON. Montages et travaux et 500 photos commentées. (Coll. « Techniques artisanales modernes »). Rivière F. — Sécurité d'abord. Fils et câbles. Les douilles. Les coupe-circuit. Jonctions et dérivations. Les prises de courant. Les interrupteurs. Travaux préliminaires. Petit matériel. Commande alternative à distance (va-et-vient). Commande à distance de plusieurs points (télérupteur). Travaux d'installation. Miniaturisation des équipements. Circuits extérieurs. Matériel, outillage, accessoires. 80 p. 19 × 25. Relié toile. 1970 F 28,00

INFORMATIQUE

STRUCTURE ET FonCTIONNEMENT DES ORDINATEURS. Meinadier J.-P. — Introduction aux ordinateurs. Structure de l'information. Les circuits logiques. Les mémoires. Les opérateurs arithmétiques et logiques. Le chemin des données. Les séquences des instructions. Les échanges d'information avec l'extérieur. Machines à piles. Les dispositifs liés à la gestion de la multiprogrammation. Les gros monoprocesseurs. La hiérarchisation des mémoires. Multiprocesseurs et machines parallèles. Bibliographie, glossaire et index. Lexique anglais-français. 384 p. 15 × 21. 349 fig. 1971 F 45,00

INITIATION PRATIQUE A L'INFORMATIQUE. Parlez-vous binaire? Stern J., Lepetit P. et Chabanais J.M. — Principes de fonctionnement et composition d'un ensemble de calcul. Représentation des grandeurs. Algèbre de Boole. Organes fonctionnels d'un calculateur. Organe de calcul. Structure de l'unité centrale. Échanges avec l'extérieur et interruptions. Méthodes d'adressage. Programmation. Systèmes d'exploitation. Calculateurs en temps réel. Modes d'utilisation. Circuits logiques. Mémoires. Péphériques classiques. Domaines d'application; facilités d'exploitation; exemples d'ensembles de calcul; exemples détaillés de systèmes: système de gestion 360-25 IBM; système scientifique 370-155 IBM; installation de la salle de l'ordinateur. 240 p. 16 × 25. 220 fig. 1971 F 39,00

INITIATION A L'INFORMATIQUE. Quineton R. — L'informatique et sa mesure. Classement. Traitement d'informations. Moyens matériels de traitement de l'information. Opérations et circuits opérateurs. Acheminement des informations. Maintien de l'information: les registres. Les mémoires. Organisation d'un ordinateur. La programmation. Entrées-sorties. 272 p. 16 × 24. 171 fig. 1971 F 39,00

ORDINOGRAMMES LOGIQUES DE PROGRAMMATION. Sultan J. — Les opérations ordinateurs: lecture, calcul, comparaison, ordre de mouvement. Le raisonnement logique ordinateur: problème de contrôles, de totalisations, de fusion, de mise à jour, d'aiguillages. Problèmes de consultation de tables: définitions, exemples, trois problèmes. La carte perforée. La bande magnétique. Les solutions proposées. 204 p. 16 × 25. 115 fig. 1971 F 44,00

LE SYSTÈME INFORMATIQUE DE L'ENTREPRISE. Comment le concevoir, le développer et le diriger avec succès. **Orlicky J. A.** — Traduit de l'anglais. — Le problème. Une machine qui amplifie l'intelligence humaine. Approches et méthodes pour l'informatique. La mission. Conception du système. Phases de développement du système. Le fonctionnement du système. Considérations sur les groupes décentralisés. Ordinateur et management. Principes fondamentaux de conception de l'ordinateur et de sa technologie. 208 p. 16 × 24. 33 fig. 1971 F 53,00

Rappel (dans la même collection) :

LA GESTION PAR LES SYSTÈMES. Melesse J. . F 51,00
L'INFORMATIQUE DE GESTION. Bauvin G. . F 63,50

DICTIONNAIRE ANGLAIS-FRANÇAIS - FRANÇAIS-ANGLAIS DE L'INFORMATIQUE. Dubuc R. et Gratton M. — Le présent dictionnaire offre un inventaire des termes fondamentaux utilisés en informatique. Il groupe près de six mille expressions américaines et françaises, qui couvrent les principaux aspects de l'exploitation courante. 228 p. 14 × 22. 1971 F 24,00

RADIO

LES TUNERS MODERNES A MODULATION DE FRÉQUENCE HI FI STÉRÉO. Juster F. — Généralités sur la FM. — Principes de la FM. Antennes pour FM. Les récepteurs FM. Blocs VHF et préamplificateurs d'antennes : Blocs VHF (ou HF). Blocs VHF : à circuits intégrés, à transistors séparés, à transistors à effet de champ, à diodes à capacité variable. Pré-amplificateurs d'antennes. Amplificateurs MF et détecteurs : Amplificateurs MF. Amplificateurs : à circuits intégrés, avec divers détecteurs, à circuits intégrés technique française. Amplificateurs MF et détecteur en quadrature. Circuits MF et détecteur à impulsions. Décodeurs stéréo multiplex : Montage à transistors bipolaires. Décodeurs de technique allemande. Décodeurs à circuits intégrés, à un seul circuit intégré. Exemple de tuner FM : à transistor à effet de champ diodes, à capacité variable. Circuits CAG et CAF et circuits intégrés. 240 p. 15 × 21,5. Tr. nbr. fig., schémas et tableaux. 1970 .. F 34,00

AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS BF HI-FI STÉRÉO A CIRCUITS INTÉGRÉS. Juster F. — Préamplificateurs : Montages de la radiotéchnique. Montages RCH. Montages Motorola. Montages Fairchild. Montages Siemens. Montages National et Signetic. Montages de la SGS. Montages GE. Amplificateurs : Amplificateurs SGS. Amplificateurs Motorola. Amplificateurs GE. Amplificateurs RCA. Amplificateurs Bendix. Amplificateurs RCA à modules. Amplificateurs Telefunken. Amplificateurs de la Radiotéchnique. Amplificateurs Plessey. 232 p. 15 × 21. 209 fig. 19 tabl. 1971 F 34,00

ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS DE TYPE « WALKIES-TALKIES ». Duranton P. — Précédentes : Réglementations et autorisations. Généralités sur les semi-conducteurs utilisés dans le livre. Réalisation d'un testeur de transistors. — Récepteurs portatifs. Émetteurs portatifs. Émetteurs-récepteurs portatifs. Antennes, réglage, taux d'ondes stationnaires. Conseils et tours de main. Codes internationaux et principales applications utilisées. 208 p. 15 × 21. 142 fig. 1971 F 25,00

GUIDE PRATIQUE POUR LE DÉPANNAGE DES TÉLÉVISEURS. Klinger F. — 1^{re} section : Il manque : le son, l'image, le son et l'image, le balayage, le balayage et le son, un seul balayage (vertical). 2^{re} section : L'image n'est pas « fine » et peu « fouillée », n'a pas des dimensions suffisantes, déborde le cadre de l'écran, n'a ni des proportions ni une forme correctes, le son n'est pas pur. 3^{re} section : L'image varie de dimensions, varie d'intensité, est recouverte... brouillée, est instable. Si le fonctionnement est bruyant. Répertoire des 47 principales pannes. 82 p. 12 × 27,5. 23 fig. Reliure spirale. 1971. F 20,00

SCIENCES NATURELLES

LES PLANTES MÉDICINALES. Perrot E. et Paris R. — S'adressant à tous ceux qui s'intéressent à la botanique et à la médecine, donnant à chacun le goût et la possibilité de reconnaître jusque dans son jardin les espèces rares ou communes, toxiques ou comestibles, cet ouvrage n'a pas son équivalent. Il comprend une introduction décrivant le rôle que tiennent les plantes médicinales dans la pharmacie moderne et répondent aux questions qu'on se pose à leur sujet. 245 planches en couleurs, accompagnées d'un texte de présentation pour chacune des espèces, indiquant ses caractères, ses propriétés, son habitat; un index, des noms savants et une table des dénominations francaises correspondantes. — Deux volumes comprenant au total 588 p. 14,5 × 19,5 sur papier vergé teinté, avec 245 planches en couleurs. Reliés pleine toile, couvertures illustrées sous jaquettes rhodoid, présentés ensemble sous étui cartonné. 1971 F 200,00

GUIDE DES PAPILLONS D'EUROPE. Higgins L.-G. et Riley N.-D. — Traduit de l'anglais. — Ce guide présente toutes les espèces et sous-espèces de papillons diurnes d'Europe occidentale reproduites en couleurs. Pour permettre une détermination rapide, chaque spécimen est représenté grandeur nature. — Comment utiliser le Guide. Introduction. Liste des espèces. Lexique. Abréviations. — Papilionidae. Pieridae. Danaidae. Libytheidae. Nymphalidae. Satyridae. Nemeobiidae. Lycaenidae. Hesperiidae. Cartes de répartition géographique pour chaque espèce. Index des noms latins et français. 422 p. 12,5 × 19. 60 planches en couleurs représentant 380 espèces. 372 cartes. Relié. 1971 F 49,00

GUIDE DE L'AQUARIUM. Poissons et plantes. Schiötz A. et Dahlström P. Traduit du danois. — Poissons : Morphologie et classification. Pigmentation. Différentes espèces. Espèces et sous-espèces ou classes et sous-classes. Noms. Distribution. Poissons d'eau douce, d'eau saumâtre, d'eau de mer. Invertébrés. Plantes : Algues. Indésirables. Maladies. Aquarium d'eau douce : Matériel. L'eau. Décoration. Nourriture. Reproduction. Aquarium marin : Bac. Eau. Nourriture. Maladies. Répartition des poissons. Décoration. 224 p. 12,5 × 19. 176 reproductions en couleurs; nbr. dessins, fig. et cartes en deux couleurs. Relié. 1971 F 45,00

SPORTS

ALPINISME MODERNE. — 14 alpinistes, français, italiens, allemands, autrichiens, de réputation internationale, ont contribué à la rédaction de cet ouvrage. — Évolution historique et technique de l'alpinisme. La psychologie de l'alpinisme. Physiologie et alimentation. Matériel et équipement. L'orientation en montagne. L'utilisation de la corde. L'escalade libre sur rocher calcaire et dolomitique. La progression sur le granite. La progression avec les moyens artificiels. La progression sur la neige et la glace. Alpinisme hivernal. Alpinisme solitaire. Les accidents; notions de premier secours. La photographie en montagne. 66 photos. Hors-texte. 100 fig. 1971 F 40,00

AVIRON. Technique, apprentissage, entraînement. Guillet G. — Analyse du matériel. Analyse mécanique : Propulsion (attaque, passée, synthèse). Glissement (dégagé, retour, synthèse). Geste global. Adaptations : défaut, style. Analyse physiologique : musculaire et fonctionnelle. Directives pédagogiques : mise en condition physique, préparation technique, entraînement spécifique, aspects psychologiques de l'enseignement. 152 p. 16 × 24. 97 fig. et photos. 1970 F 21,00

BOXE. Technique et entraînement. Petit M. — Définition de la boxe. Où frapper ? Les déplacements. La garde : position des jambes, garde de face, de profil, enseignement et corrections. Les différents coups : directs, crochets, uppercuts, swings. Les esquives. Les parades. Définition des termes techniques. La tactique : boxer à distance, le corps à corps, comment boxer en fausse garde, défauts à éviter, les remises. L'entraînement : le dosage, l'alternance, la formation physique, la formation technique, progression technique, exemple de séries progressives, exemple de plan d'entraînement, alimentation, soins, hygiène. Extrait des règlements. Le boxeur : son équipement, ses seconds. Jugement des matches. Fautes et coups défendus. 108 p. 16 × 24. 44 fig. 1971 F 21,00

SKI. Pour apprendre soi-même à skier. Joubert G. — Débutants, initiez-vous. Débutants, corrigez vos défauts. Skieurs moyens, perfectionnez-vous. Corrigez vos défauts. Bons skieurs, perfectionnez-vous, corrigez vos défauts. Très bons skieurs, perfectionnez-vous. Très bons skieurs, faites de la compétition : le slalom, le slalom géant, la descente. Préparation physique au ski de compétition : l'organisation des compétitions. Skieurs de tout niveau, calez vos chaussures. Analyses techniques et pédagogiques. 240 p. 15 × 20. 180 fig. 32 photos hors-texte. 1970 F 20,00

Rappel (du même auteur) :

COMMENT SE PERFECTIONNER À SKI F 16,00

LE TIR À BALLE DU GRAND GIBIER. Ballistique, armes et munitions. Toussaint H. — Généralités : Législation. Aperçu historique. — Ballistique : Ballistique intérieure, intermédiaire, extérieure. Stabilité des projectiles. Ballistique de but. Tables de tir. Cartouches à balle pour armes rayées : Identification et désignation des cartouches. La cartouche (la douille, l'amorçage, la charge de poudre, les balles, effets biologiques des balles). Les différents calibres. — Les différents modèles d'armes rayées : Armes monocanon. Armes mixtes. Le tir à balle en canon lisse : La cartouche à balle. Armes pour le tir à balle en canon lisse. Appareils de visée : Appareils mécaniques. Appareils optiques, lunettes de visée. Les jumelles. Précision et réglage des armes rayées. — Les armes sur le terrain. — Problèmes particuliers du tir à balle. — Tables de tir. 220 p. 21 × 27. 115 fig. et photos. 33 tabl. Cart. 1971 F 67,30

APPRENEZ VOUS-MÊME LA SELF-DÉFENSE (Coll. « Faites-le vous-même » n° 11). Habersetzer R. — Nécessité de la self-défense. Comment s'entraîner, le partenaire, les précautions de base. Self-défense et combat de rue. Savoir se placer par rapport à l'attaque. Les principaux moyens de riposte. Savoir utiliser des armes improvisées. 36 défenses fondamentales : sur des attaques à main nue, sur des attaques à main armée. Comment se sortir de situations spéciales : devant un adversaire expérimenté, contre plusieurs adversaires. La self-défense féminine. 64 p. 13,5 × 18. 121 photos. Cart. 1971 . F 7,70

Rappel (dans la même collection) :

APPRENEZ VOUS-MÊME LE JUDO (n° 6) F 7,70

APPRENEZ VOUS-MÊME LE KARATÉ (n° 8) ... F 7,70

LA CHASSE PHOTOGRAPHIQUE. Baufle J.-M. et Varin J.-P. — Ce livre constitue une initiation pratique et technique à la chasse photographique. Les principes et les méthodes de travail en sont exposés de façon claire et précise. — Essai de définition. Une science et un sport. Le naturaliste. Le matériel et les techniques. Techniques sur le terrain et à l'intérieur. La nature et l'action. Conclusion. Lexique. Parcs et réserves. Conseils techniques. Bibliographie. 160 p. 20,5 × 28. 138 photos en noir et 92 en couleurs. Cart. 1971 F 27,00

TRANSPORTS

L'ÉVOLUTION DU MATERIEL MOTEUR ET ROULANT DE LA CIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE (PLM) DES ORIGINES (1857) À LA S.N.C.F. (1938). Vilain L. — Formation du PLM, trafic. Évolution générale du parc locomoteur à vapeur. Locomotives à grande vitesse, mixtes, à marchandises, tenders, étrangères, à voie étroite. Traction électrique. Essais de 1898-1910. Le Fayet - Vallorcine, Culoz - Modane. Voitures des anciennes compagnies, du PLM, à couloir, à bogies, métalliques, métallisées, de banlieue, allemandes, à voie étroite. Renseignements divers. 510 p. 15,5 × 23,5. 60 fig. et schémas. 320 photos. 1971 F 84,00

Rappel (du même auteur) :

— EVOLUTION DU MATERIEL ET DE LA TRACTION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT, des origines (1867-1878) au rachat de la Cie de l'Ouest (1909) et à la S.N.C.F. 1967 F 46,00

— UN SIÈCLE DE MATERIEL ET TRACTION SUR LE RÉSEAU D'ORLÉANS (1840-1938). — Locomotives à vapeur. Traction électrique 600 et 1 500 volts. Voitures à voyageurs (voie normale et voie étroite). 1970 . F 63,00

CONNAISSANCE DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE. Principes. Réalisations. Perspectives. Gory G. — Les principes de la traction électrique : La première traction électrique. La première transmission électrique. — Les générateurs électro-chimiques : Généralités. Les accumulateurs. Les piles rechargeables. Les piles à combustible. Les générateurs hybrides. — Les moteurs électriques de traction pour automobiles. — La commande électronique du véhicule à traction électrique. — Réalisation de véhicules à traction électrique Réalisations avec piles ou accumulateurs. Exemple de transmission électrique. Réalisations de voitures hybrides. Annexes. — 268 p. 15,5 × 24. 228 fig. et photos. 1971 F 32,00

LE VOL AUX INSTRUMENTS. Charot G. — Connaissance et utilisation de l'avion : L'avion et ses équipements. Les instruments de bord. Utilisation de l'avion. Météorologie : Les principaux éléments météorologiques. Les masses d'air et leurs météores. Cartes et diagrammes ; prévisions du temps. Navigation : Notions générales de cartographie. La navigation à l'estime. Contrôle de la navigation par les aides-radio. Préparation

et exécution du vol. Les aides électroniques à la navigation aérienne : Le rôle et l'utilisation des aides à la navigation aérienne. Notions sur la programmation des ondes électromagnétiques. Principes de fonctionnement des aides électroniques. Utilisation, performances et limitation d'emploi des aides électroniques. Réglementation aérienne : Définition et principes fondamentaux. Les différents contrôles. Les règles de transmission. Exemples de procédure. 360 p. 18 × 22. 236 fig. et cartes. Tr. nbr. tabl. 1970 F 47,50

Rappel (dans la même collection) :

LA RADIONAVIGATION. Séramian B. F 15,00

RADIOTÉLÉPHONIE. Séramian B. F 10,00

NAVIGATION AÉRIENNE DU PILOTE PRIVÉ. Péri E. — Connaissance de base : La terre. Les cartes. Les compasses. ABC de la navigation : Vitesses, routes et cap. Triangle des vitesses, dérive, cap vrai. Résolution pratique du triangle des vitesses. Le calculateur d'estime ou computeur. Le cap magnétique. Le cap compas. En route ! A tous vents ! Compléments de navigation : La dérive. Le déroutement. Mesure du vent et de la vitesse propre. Relèvement et gisement. Éléments de radiogoniométrie : Radioélectricité et électronique. La radiogoniométrie. Le radio-compas ou ADF. Le V.O.R. La radiogoniométrie VHF ou VDF. Annexes. 288 p. 16 × 24. 163 fig. et photos. 7 p. hors texte cartes couleurs. 1970 F 38,30

Rappel (dans la même collection) :

INTRODUCTION AU PILOTAGE. Péri E. F 27,75

LE VOL A VOILE. Jacquet G. F 26,70

NAVIGATION ASTRONOMIQUE SIMPLIFIÉE à l'usage des plaisanciers (sans connaissances théoriques). Amiral Sacaze. — Préliminaires : Le sextant. L'heure à bord. La navigation astronomique élémentaire : vérification du compas. Calcul de la latitude. Calcul de la longitude méridienne. Le point astronomique à un instant quelconque : notions élémentaires d'astronomie. La droite de hauteur. Calcul des angles horaires et des déclinaisons. Calcul de la hauteur estimée he et de l'azimut Z par les tables de navigation. Le point astronomique. — Annexes : table simplifiée de correction des hauteurs observées du soleil et des étoiles. Quadrant Cornet. Extraits des Ephémérides nautiques. Cahier d'exercices types de calculs préparés. 140 p. 13,5 × 21,5. 45 fig. 1970 F 18,00

VOTRE BATEAU A MOTEUR. De Accostage à Z-drive. Rondeau A. — L'auteur a, en 10 ans, essayé la plupart des bateaux à moteurs, du pneumatique à la vedette de grande croisière et suivi de près l'évolution des techniques, dans le dessin de la coque comme dans la fabrication des moteurs hors-bord et in-bord. D'Accostage à Z-drive en passant par Inverseur et Occasion, il a réuni, sous forme alphabétique pour en faciliter la lecture, une documentation aussi complète que possible sur le motonautisme, que ce soit sur le plan des tout derniers perfectionnements, la simple information ou celui des problèmes pratiques que peuvent poser l'entretien, le réglage d'un bateau à moteur. 312 p. 13,5 × 21,5. 110 fig. et tabl. 3 dépliants hors-texte. 1971. F 28,00

MODÈLES RÉDUITS. Encyclopédie du Modélisme Naval. Curti O. — Traduit de l'italien. — Histoire du modélisme naval. Brève histoire du navire. — Le navire. Classification des navires. Structure des coques. Principes généraux du dessin des navires. Outils et instruments de travail. Choix des matériaux. Construction des coques des modèles réduits. Finissage des coques des modèles réduits. La mâtresse. Les voiles. Câbles, pouilles, systèmes de câbles et chaumards. Manœuvres. Ancres, embarcation et gouvernails. Armes navales. Appareils, machines et accessoires des navires. Modèles réduits navigants. Propulsion des modèles réduits. Modèles réduits à voile. Modèles réduits à moteur. Modèles réduits téléguidés. 528 p. 15,5 × 23. 645 fig. et schémas. Cart. 1971 F 95,00

COMMANDES PAR CORRESPONDANCE

Les commandes doivent être adressées à la LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de chèque bancaire ou de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie : Paris 4192 - 26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition et d'emballage : Taxe fixe forfaitaire F 2,00 plus 5% du montant total de la commande — Frais de recommandation : France: F 1,50, Étranger : F 3,00.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS (9^e)

La Librairie est ouverte de 8 h 30 à 12 h 30 et de 14 h à 18 h 30. Fermeture du samedi 12 h au lundi 14 heures.

Le directeur de la publication : Jacques DUPUY — Dépôt légal : 1972, N° 72 018 — Imp. des Dernières Nouvelles de Strasbourg

Kowa les reflex

★ SET R 2 1,8
6 objectifs interchangeables
de 28 à 200 mm

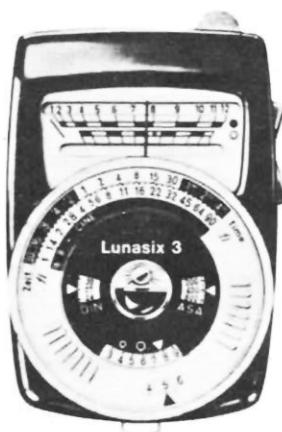


*l'un des meilleurs 24 x 36
REFLEX TTL JAPONAIS
GARANTI 2 ANS*



9 objectifs interchangeables
19 à 500 mm

LUNASIX 3



1 4000°
de seconde
à 8 heures

Diaphragme
1 à 90

9 à 45 DIN

0,8 à 25000
ASA

CINE:
8 à 128 im. sec.

*l'arbitre
des temps
de pose*

DISPOSITIF TÉLÉ 15° et 7,5 et mesure de
contraste

DISPOSITIF LABOR pour agrandissement

DISPOSITIF MICRO pour microscope

DOCUMENTATION SEV. AU CHOIX
J. CHOTARD Boîte Postale 36 - Paris 13^e
VENTE ET DOCUMENTATION
MAGASINS ET NEGOCIANTS SPECIALISES



Jeunes Français

passionnés des choses
de la mer et des larges
horizons, qui avez le
goût des voyages et de
l'aventure, qui désirez
devenir des hommes
d'action férus des
techniques nouvelles,



LA MARINE NATIONALE vous propose :

a) SES ECOLES

- si vous avez de 15 ans 1/2 à 17 ans et le niveau de 4^e, ou mieux de 3^e, ses deux Ecoles des Mousses et des Apprentis Mécaniciens.

- Si vous avez de 16 à 19 ans 1/2 et le niveau de 2^e, ou mieux de 1^re, ses trois Ecoles de Maistrance : Pont, Machine et Aréonavale.

b) L'ENGAGEMENT (de 17 à 25 ans) qui vous donne accès aux Ecoles de spécialités selon vos goûts, votre niveau et vos aptitudes.

LA MARINE NATIONALE fera de vous des TECHNICIENS QUALIFIÉS

Pour tous renseignements, écrire :

S.E.M. 29/M - 15, rue de Laborde, PARIS 8^e
Téléphone 292.27.50 (poste 317)

**La publicité cherche à vous séduire,
c'est vrai.
Elle veut vous renseigner,
c'est vrai aussi.**

oui.non

**Nous demandons à nos 2 587 000 lecteurs (C.E.S.P.)
de participer au Grand Référendum de la Publicité.**

Parce que vous êtes les premiers concernés par la publicité, votre réponse nous sera précieuse.

Nous vous demandons d'exprimer votre accord ou votre désaccord avec les jugements suivants sur la publicité et d'envoyer vos réponses à l'IPEAC, Institut pour la Promotion Economique par l'Action Commerciale - 27 bis avenue de Villiers 75-PARIS 17^e.

- 1. La publicité cherche à vous séduire, c'est vrai. Elle veut vous renseigner, c'est vrai aussi.** Oui Non
- 2. La publicité est utile pour renseigner sur les produits que l'on peut acheter.** Oui Non
- 3. En général, quand vous achetez un produit qui fait l'objet d'une publicité importante, vous constatez que celle-ci est souvent exagérée et mensongère.** Oui Non
- 4. Les produits ou les services qui s'appuient sur la publicité sont généralement meilleurs que les autres.** Oui Non
- 5. Seul celui qui est attentif à la publicité peut vraiment connaître toutes les marques de qualité.** Oui Non
- 6. S'il n'y avait pas de publicité, la vie quotidienne serait plus ennuyeuse.** Oui Non