

MARINE d'AUJOURD'HUI

REVUE TECHNIQUE

de l'École Nationale de la Marine Marchande
du Havre

et

BULLETIN DE LIAISON
des Élèves



N° 3 - Janvier 1967

Prix : 5 Francs

MARINE d'AUJOURD'HUI

REVUE TECHNIQUE

de l'École Nationale de la Marine Marchande
du Havre

et

BULLETIN DE LIAISON
des Élèves



N° 3 - Janvier 1967

Prix : 5 Francs

REVUE TECHNIQUE

de l'École Nationale de la Marine Marchande
du Havre

MARINE D'AUJOURD'HUI

La revue de l'Ecole Nationale de la Marine Marchande du Havre vient, pour des raisons d'homonymie, de modifier son titre. Mais son propos reste le même.

Il y a cinquante ans, les techniques étaient relativement simples. Les mises au point de celles-ci étaient lentes et, d'une manière générale, régulières.

Durant toute sa carrière, avec ce qu'il avait appris à l'Ecole de Navigation, l'officier de la Marine Marchande pouvait exercer parfaitement son métier.

En quelques années, une véritable révolution s'est produite. Les sciences et les techniques se sont mises à progresser à une vitesse vertigineuse.

Un phénomène s'est révélé comme caractéristique des dernières décennies : l'étonnante accélération dans le passage de la découverte scientifique à l'application industrielle de celle-ci.

Il s'est écoulé :

- 102 ans entre la découverte du phénomène appliqué dans la photographie et la photographie elle-même (1727-1829)
- 56 ans pour le téléphone (1820-1876)
- 35 ans pour la radiotélégraphie (1867-1902)
- 14 ans pour la télévision (1922-1936)
- 14 ans pour le radar (1926-1940)
- 6 ans pour la bombe à uranium (1939-1945)
- 5 ans pour le transistor (1948-1953)
- 2 ans pour la pile solaire (1953-1955)

Certains savants déclarent en plaisantant que, si cette accélération se poursuit, en l'an 2500 il faudra une microseconde à une découverte fondamentale pour donner naissance à un appareil qui fonctionne.

La liste est longue des matières et des appareils nouveaux créés depuis cinquante ans. Elle n'est pourtant qu'un filet d'eau en regard du fleuve qui s'annonce.

Aujourd'hui, la rapidité avec laquelle les idées et les matériels évoluent oblige l'officier de la Marine Marchande à se transformer sans cesse pour être toujours adapté. L'apport des connaissances qui le met à même de connaître et d'utiliser les techniques nouvelles se fait désormais tout au long de sa vie professionnelle.

Le perfectionnement systématique est une tâche qui n'a pas de fin.

R. HERVIEU,

Directeur de l'Ecole Nationale
de la Marine Marchande
du Havre

ADMINISTRATION ET CORPS ENSEIGNANT

ANNÉE SCOLAIRE 1966-1967

Directeur : M. R. HERVIEU, Professeur en Chef de 1^{re} Classe

Sous-Directeurs : M. P. PONTOIZEAU, Professeur en Chef de 2^{me} Classe

M. L. FORTIN, Professeur en Chef de 2^{me} Classe

Professeurs de l'Enseignement Maritime : MM. Chauffaille, Caër, Bourbon, Lacoste, Maillet, Maurin, Calbourdin, Joly, Menan, Loyer, Guégan, Fouché, Le Gallou, Vigne, Gavout, Vincent (J.), Hollard, Le Rhun, Mestrallet, Ducasse, Sadoit.

Administrateurs de l'Inscription Maritime : MM. Quemeré, Vincent (R.).

Professeurs chargés de cours : MM. Barret, Beaucher, Chedot, Delerin, Desmarre, Doux, Duparc, Fosh, Garnier, Guiot, Horrécourt, Le Chevallier, Metzger, Miossec, Raoult, Renard.

Moniteur d'Education physique : M. Foucteau.

Instructeurs techniques : MM. Marcoux, Le Cosquer, Foezon, Rouault, Tirel, Le Royer, Reus, Deynoux, Boursier, Le Roy, Reuzé, Lachèvre, Claude, Becouarn, Angot, Le Gars, Cadiou, Philippe, Denis, Bouscasse.

Intendant et Maître Commis : MM. Madec, Fabrègues.

Services Administratifs : Mlles Coquin, Lebaigue, Rogeret.

Secrétariat : M. Chastang, Mme Patrinos, Mlle Laguerre.

Surveillants généraux et Maîtres d'internats : MM. Cloarec, Gelgon, Durville, Le Guen, Criticos, Grabmann, Robert, Panchout, Duperré, Giannoty.

Sections ouvertes :

Elèves	2 sections	....	82 élèves	E.M.M. (P)	....	1 section	....	49 élèves
E.O.L.C.	1 section	....	11 élèves	E.O.M.	....	2 sections	....	63 élèves
C.L.C.	3 sections	....	101 élèves	O.M.2 Th.	....	1 section	....	21 élèves
E.C.Q.	1 section	....	10 élèves	O.M.2 Ap.	....	1 section	....	29 élèves
E.M.M. (M)	1 section	....	21 élèves	O.M.3	....	1 section	....	16 élèves

Le Comité de rédaction de ce numéro était constitué par :

M. Maillet, Professeur en Chef de 2^{me} Classe, Président.

M. Pontoizeau, Sous-Directeur, Secrétaire.

MM. Chauffaille, Calbourdin, Abiven, Fouché, professeurs ; Nicollet, Poisson, Le Gouas, Vandenberghe, de Dortan, Terrier, élèves des différentes sections.

LA VIE DE L'ÉCOLE

L'E.N.M.M. a ouvert ses portes, le 12 octobre 1965 pour recevoir sa sixième promotion d'élèves : la promotion qui devait porter le nom d'un illustre ancien : Pierre Bouguer.

470 élèves étaient inscrits à l'ouverture des cours répartis en 16 sections :

1 section d'E.L.C.	(24 élèves)
3 sections d'E.O.L.C.	(96 élèves)
3 sections de C.L.C.	(111 élèves)
1 section d'E.C.Q.	(15 élèves)
1 section d'E.M.M.M.	(21 élèves)
4 sections d'E.O.M.	(133 élèves)
1 section d'O.M.2 Th.	(25 élèves)
1 section d'O.M.2 Ap.	(33 élèves)
1 section d'O.M.3	(12 élèves)

ACTIVITES SCOLAIRES

Plusieurs activités ont marqué cette année scolaire :

a) un échange d'étudiants a permis à 10 élèves E.O.L.C. et E.O.M. de l'E.N.M.M., sous la conduite de MM. Fortin et Bourbon, de faire un séjour à l'école de navigation de Lubeck du 21 au 26 mars. Pendant la même période, 23 candidats capitaines au long cours de l'école de Lubeck, sous la conduite de M. Dobberthiem étaient reçus à l'école du Havre. Ces séjours ont été l'objet de comptes rendus dans la revue n° 2.

b) une visite à Saint-Malo des navires-écoles « Alidade » et « Astrolabe » entre le 26 et le 29 juin à l'occasion du XXII^{me} Congrès de l'Association des Capitaines au long cours Cap-Horniers.

Le département, en détachant nos navires à Saint-Malo pour cette occasion, a voulu montrer tout l'intérêt qu'il portait à cette association internationale. La délégation française était conduite par MM. Porte, Inspecteur général de l'Inscription Maritime et Sénéchal, Inspecteur général de l'Enseignement

Maritime, et comprenait cinq professeurs de l'E.N.M.M. et 48 élèves E.O.L.C. et E.O.M. A ce même congrès la marine allemande était représentée par le voilier école « Georg Folk ».

c) Comme les années précédentes, des visites à l'extérieur de l'Ecole ont été organisées principalement pour les C.L.C. (Centre d'Energie Nucléaire de Saclay, Bassin d'Essais des Carènes, Service Hydrographique, Ateliers et Chantiers de France à Dunkerque) ainsi que pour d'autres sections (port du Havre, « France »).

d) Des conférenciers sont venus compléter et enrichir l'enseignement dispensé par le corps professoral : une demi-douzaine de conférences se sont échelonnées pendant l'année scolaire.

e) Au début de l'année scolaire l'école s'est enrichie de deux nouvelles salles de travaux pratiques : une salle d'automatisme qui s'est équipée tout au long de l'année, et un laboratoire de langues vivantes, mis en service dès le mois de novembre 1965, dont toutes les sections ont pu bénéficier. Un professeur anglais a été détaché à l'E.N.M.M. pour la mise en œuvre de cette installation.

f) Enfin, « last but not least » l'E.N.M.M. a pris au cours de l'année scolaire 65-66 l'initiative de créer cette revue, dans le but de prolonger son enseignement auprès de ses anciens élèves et de servir de lien entre les différentes promotions. Cette revue s'intitulera désormais « Marine d'Aujourd'hui », le titre « Marine » étant déjà utilisé par une revue de l'Acoram. Les 800 abonnements reçus dès le numéro deux donnent la mesure de l'accueil que les officiers navigants ont réservé à cette initiative.

Les résultats scolaires sont reportés page 49.

ACTIVITES SPORTIVES

Le palmarès sportif de l'année scolaire 1965-1966 a été tout particulièrement brillant :

Palmarès sportif saison 1965-1966

Basket-ball : Championnat d'Académie Universitaire.

5 rencontres disputées - 2 victoires - Classement 3^{me}.

Escrime : Championnat d'Académie Universitaire.

Epreuve de fleuret, Mirabeau (E.L.C.), 3^{me}.

Epreuve de sabre, Mirabeau (E.L.C.), 1^{er}, Champion d'Académie.

Football : Equipe 1, Championnat d'Académie Universitaire, 6 rencontres disputées - 6 victoires - Classement 1^{er}.

Equipe - Champion d'Académie : Coulbeaux, Arnaud, Pichavant, Blondel J., Thebault, Vacher, Guessend, Le Hegarat, Marti, Michel, Ballut, Boutiron.

Equipe 2, Championnat d'Académie Universitaire - 5 rencontres disputées - 3 victoires - Classement 3^{me}.

Rencontres amicales avec l'A.S.T.A.F., l'E.S.C. et le « SS Flandre ». 3 victoires - 1 match nul - Tournoi de Bolbec - Coupe Paillette, 3^{me} - Tournoi de Manneville.

Hand-ball : Championnat d'Académie Universitaire - 8 rencontres disputées - 6 victoires - Classement 2^{me} - *Rencontres amicales*, C.A. Havrais, E.S.C., M.J.C. Le Havre - 2 victoires - 1 défaite.

Judo : Championnat d'Académie Universitaire - *Catégories :* léger Jordan, Champion d'Académie. Mi-moyen Coulbeaux, Champion d'Académie. Quesnel, 2^{me}. Moyen, Leriche 2^{me}. Mi-lourd, Courtin, Champion d'Académie. Lourd, Boutiron, Champion d'Académie.

Championnat de France Universitaire à Tours, Mi-lourd, Courtin, éliminé en quart de finale Coupe Richard Vaux, 1^{er} Courtin.

Natation : Championnat du District Havrais, participation de Hascoët, Renaudat, Sutaine, Courtin.

Rugby : Championnat d'Académie Universitaire - 6 rencontres disputées - 5 victoires - Classement 1^{er}.

Equipe : Champion d'Académie, Monot, Blondel, Bettencourt, Courtin, Guercy, Desson, Boutiron, Orjubin, Marty, Fabiao, Parent, Mirabeau, Libat, Boutoux, Gauthier.

Rencontres amicales avec l'E.T.O.M. : match nul, Coupe Paillette, « Le Week-End ».

Tennis de table : Championnat d'Académie Universitaire, Hamon, éliminé au premier tour, Le Fric, éliminé au deuxième tour.

Tennis :

1^o Championnat d'Académie Universitaire.

2^o Championnat des Amicales du Havre.

Volley-ball : Championnat d'Académie Universitaire - 6 rencontres disputées - 3 victoires - Classement 4^{me}.

Voile : Course du G.C.L., Le Havre-Courseules - 2^{me} De Marichard (sur son bateau « Mousquetaire »).

Le Havre-Fécamp - De Marichard-Sellier sur « Mousquetaire » - Blandin-Rivoalan sur « Le Corsaire ».

ACTIVITES DIVERSES

a) Le baptême de la promotion a donné lieu aux manifestations traditionnelles. La cérémonie honorée de la présence de Monsieur le Sous-Préfet, a eu lieu le 18 décembre. M. Dairaine, Vice-Président de la Chambre de Commerce et Mlle Tetreau, en avaient accepté le parrainage.

b) Le bal de l'Ecole, dans la grande salle de La Bourse, entraîné par quatre orchestres a eu son succès habituel.

c) L'Ecole a été honorée de la visite de nombreuses personnalités : une très importante délégation de l'I.M.C.O. (deux cents personnes), un groupe de professeurs de l'Education Nationale, etc.

d) L'Ecole a poursuivi les stages de simulateur radar comme les années précédentes. De plus un stage de formation complémentaire de six semaines, destiné à des officiers pont et portant principalement sur la conduite des moteurs et l'automation, groupa une vingtaine de C.L.C. au troisième trimestre et un stage de formation complémentaire pour adjoints de quart, d'une durée de quinze jours, réunit huit stagiaires entre le 25 avril et le 7 mai.

P. PONTOIZEAU
Sous-Directeur

Du théorème de BERNOULLI

à certain mode d'action, en apparence paradoxal, de la tuyère transversale avant d'un navire

ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE (fig. 1)

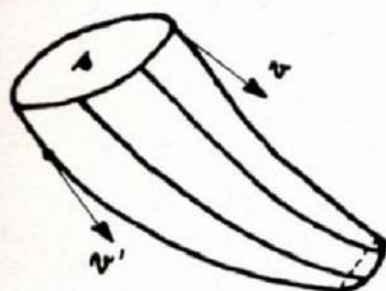


Fig. 1

Les divers points d'une masse fluide étant mobiles les uns par rapport aux autres, l'étude de leurs mouvements pose en général des problèmes beaucoup plus difficiles à résoudre que ceux de la dynamique des corps solides.

C'est pourquoi, dans l'étude par le calcul de certains de ces mouvements, nous ferons des hypothèses simplificatrices.

Nous admettrons que le fluide est parfait, c'est-à-dire dépourvu de viscosité. Cette hypothèse, qui donne de bons résultats en statique, n'est plus qu'une approximation assez grossière en dynamique.

De plus, nous ne considérerons que des états de « régime permanent » c'est-à-dire dans lesquels la vitesse en chaque point du fluide ne dépend que des coordonnées de ce point et non pas du temps.

Ceci posé, nous pouvons tracer dans le fluide des « lignes de courant » définies comme tangentes en chaque point à la vitesse du fluide. Ces lignes de courant coïncident avec les trajectoires fixes suivies par des particules du fluide en mouvement.

Deux lignes de courant ne peuvent se couper car, s'il en était ainsi, la vitesse devrait avoir deux directions au point d'intersection, ce qui est impossible.

Soit une très petite surface s normale à la direction du courant. En tout point de celle-ci les vitesses et les accélérations peuvent être considérées comme constantes. Si nous traçons les lignes de courant qui passent par chaque point de son contour, ces lignes délimitent une sorte de tube ou « filet fluide élémentaire ».

En régime permanent, le fluide coule dans ces tubes comme si chacun d'eux avait des parois fixes.

Le fluide étant supposé parfait, les frottements sont nuls tant à l'intérieur du fluide que contre les parois qui le retiennent. Il en résulte la complète indépendance des divers filets qui matérialisent l'ensemble du champ de l'écoulement.

ÉCOULEMENT, EN RÉGIME PERMANENT, D'UN LIQUIDE DEPOURVU DE VISCOSITÉ

Théorème de Bernoulli (fig. 2)

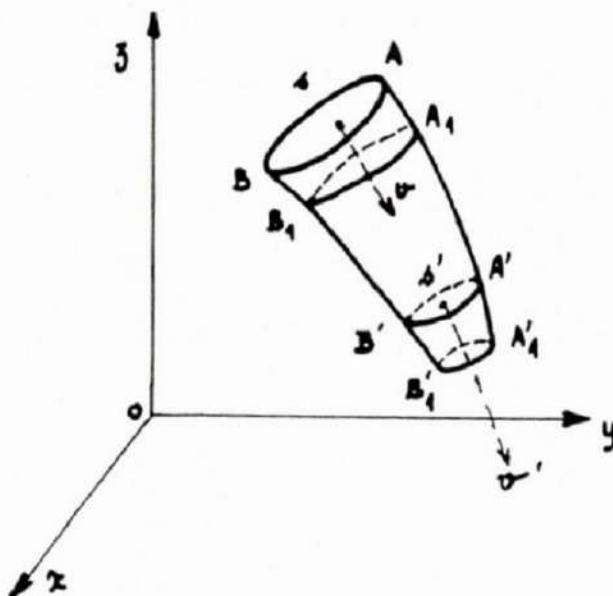


Fig. 2

Dans ce qui suivra, nous ajouterons encore une hypothèse à celles que nous avons déjà énoncées. Nous supposerons que le fluide est incompressible.

Considérons le mouvement du liquide, à deux instants infiniment voisins, dans un filet fluide.

Le liquide qui était limité par $ABA'B'$ se trouve l'instant d'après limité par $A_1 B_1 A'_1 B'_1$.

Désignons par s et s' les sections en AB et $A'B'$, v et v' les vitesses correspondantes du liquide.

Par suite de son incompressibilité, le volume du liquide de masse dM qui traverse s pendant l'intervalle de temps dt est égal à celui qui traverse s' pendant le même intervalle de temps.

Nous pouvons donc écrire, en désignant par ρ la masse spécifique du liquide

$$(1) \quad s \cdot v \cdot dt = s' \cdot v' \cdot dt = \frac{dM}{\rho}$$

Au point de vue mécanique, tout s'est passé comme si la masse ABA_1B_1 s'était transportée en $A'B'A_1'B_1$.

Exprimons que ce changement s'est effectué avec conservation de l'énergie. Appliquons le théorème des forces vives :

$$\frac{1}{2} (v'^2 - v^2) dM = \Sigma \text{ des travaux des forces } \frac{1}{2}$$
 qui agissent sur dM .

Les forces qui agissent sur la masse dM sont la pesanteur et les forces de pression.

Si par rapport à un plan de référence :

z est la cote du centre de gravité du volume ABA_1B_1

z' est la cote du centre de gravité du volume $A'B'A_1'B_1$

le travail de la pesanteur est :

$$dM.g.(z - z').$$

Pendant l'intervalle de temps dt , la force de pression s.p., qui s'exerce normalement sur la surface s , effectue le travail moteur s.p.v.dt, car son point d'application s'est déplacé de $v.dt$.

Dans le même temps, le travail résistant de la force de pression s'.p', normale à la section s' , est $-s'.p'.v'.dt$.

Au total, le travail des forces de pression est donc :

$$s.p.v.dt - s'.p'.v'.dt$$

Ce qui, en vertu de la condition d'incompressibilité (1) est égal à :

$$\frac{p - p'}{\rho} . dM.$$

Nous avons donc en écrivant le théorème des forces vives, après avoir divisé tous les termes par dM :

$$\frac{1}{2} (v'^2 - v^2) = g.(z - z') + \frac{p - p'}{\rho}$$

Ou encore :

$$(2) \quad \frac{1}{2} v'^2 + \frac{p'}{\rho} + g.z' = \frac{1}{2} v^2 + \frac{p}{\rho} + gz =$$

Constante le long d'un filet fluide.

Cette relation, dont la portée est considérable, n'a été qu'ébauchée par Daniel Bernoulli (1700-1782). Sous sa forme actuelle, elle est due à Euler (1775) et Weisbach (1841).

Le théorème de Bernoulli est l'énoncé de la conservation de l'énergie d'un liquide parfait en mouvement.

La relation (2) montre qu'il peut être exprimé de la manière suivante :

le long d'un filet fluide, la somme de l'énergie cinétique, de l'énergie de pression et de l'énergie potentielle de position, est constante.

En réalité, ces énergies sont relatives à l'unité de masse. Ce sont des énergies « massiques ».

Divisons l'expression (2) par l'accélération de la pesanteur g .

Nous obtenons :

$$(3) \quad \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho.g} + z = \text{Cte.}$$

Les trois termes sont alors homogènes à des longueurs.

$\frac{v^2}{2g}$

— s'appelle la hauteur due à la vitesse (hauteur de laquelle l'élément de fluide devrait tomber en chute libre dans le vide pour acquérir la vitesse v ou celle qu'il atteindrait s'il était lancé verticalement avec cette vitesse).

$\frac{p}{\rho.g}$

— la hauteur piézométrique (hauteur de la $\rho.g$ colonne du fluide utilisé qui, par son poids, donnerait la pression p).

z l'altitude.

Le théorème de Bernoulli peut donc encore s'énoncer :

Le long d'un filet fluide, l'altitude, la hauteur piézométrique et la hauteur due à la vitesse forment une somme constante.

C'est ce qu'on exprime en disant que le long d'une conduite, par exemple, en négligeant les frottements, la « charge » est constante.

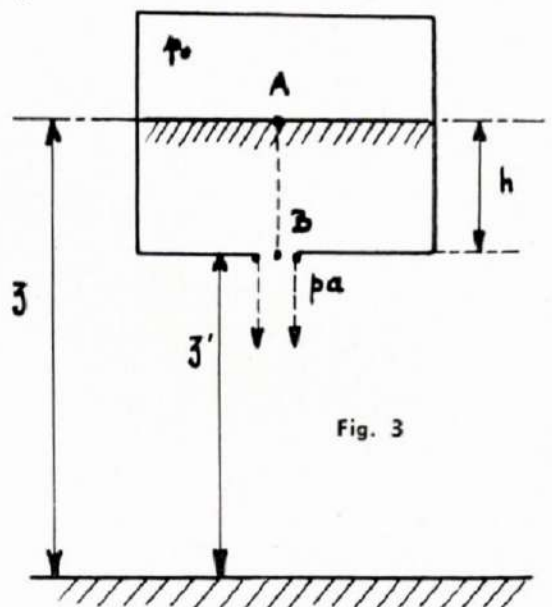
La loi fondamentale de l'hydrostatique peut se déduire simplement de la formule de Bernoulli.

Dans un liquide au repos, dans un même plan horizontal, la pression est uniforme.

En effet, en tout point de ce plan

$v = 0$, donc

$$\frac{p}{\rho.g} + z = \text{Cte.}$$



Le théorème de Bernoulli trouve une application immédiate à l'étude de l'écoulement d'un liquide par un orifice ménagé dans une paroi mince d'un réservoir (fig. 3).

Considérons une ligne de courant depuis un point A de la surface libre du liquide jusqu'en B à la sortie de l'orifice.

Nous pouvons négliger le carré de la vitesse du point A si l'aire de la surface libre est très grande par rapport aux dimensions de l'orifice.

Désignons par p_0 la pression qui règne au-dessus de la surface libre, par p_a la pression atmosphérique, par $h = z - z'$, la distance verticale entre A et B.

Nous prendrons donc :

en A, $v = 0$, $p = p_0$

en B, $p = p_a$.

L'équation (3) donne :

$$\frac{p_0}{\rho \cdot g} + z = \frac{v^2}{2g} + \frac{p_a}{\rho \cdot g} + z'$$

$$\frac{v^2}{2g} = h + \frac{p_0 - p_a}{\rho \cdot g}$$

$$v = \sqrt{2gh + 2g \cdot \frac{p_0 - p_a}{\rho \cdot g}}$$

si $p_0 = p_a$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Nous retrouvons le théorème de Torricelli :

La vitesse d'écoulement est la vitesse que prendrait un point pesant tombant dans le vide de la hauteur h .

Les filets de la veine liquide convergent rapidement à la sortie de l'orifice et ne deviennent parallèles que dans une section dite « contractée ». C'est seulement dans cette section que la vitesse est égale à $\sqrt{2gh}$.

ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE COMPRESSIBLE

Notre propos n'est pas de faire une étude, même élémentaire, du problème de l'écoulement d'un fluide compressible.

Nous signalerons simplement qu'il faut modifier la forme de l'équation de Bernoulli, car la masse spécifique ρ n'est plus une constante.

Si la transformation est adiabatique et, plus généralement, si ρ n'est fonction que de p , nous aurons :

$$\frac{v^2}{2} + \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + g \cdot z =$$

Ce le long d'un filet fluide.

C'est l'équation de Barré de Saint-Venant, l'intégrale étant à prendre entre un état initial fixe 1 choisi sur le filet et un état variable 2.

Cette équation et l'équation de Bernoulli, nous l'avons déjà fait remarquer pour celle-ci, n'expriment pas autre chose que la conservation de l'énergie mécanique d'une particule au cours de son mouvement.

Le théorème de Bernoulli, établi pour un fluide parfait incompressible, est approximativement applicable aux gaz, malgré leur forte compressibilité, toutes les fois que leur écoulement met en jeu des variations relatives assez faibles de pression.

Tube de Pitot (fig. 4)

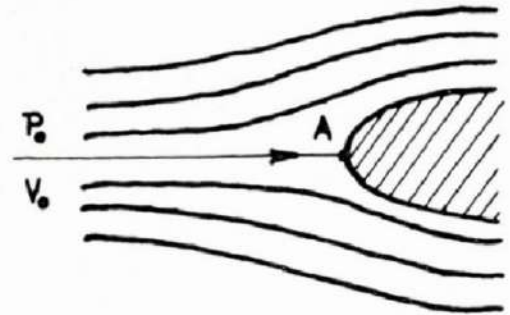


Fig. 4

Lorsqu'un obstacle se trouve placé dans un fluide se déplaçant régulièrement, le courant le contourne de part et d'autre. Il existe entre ces deux flux une ligne de séparation. Cette dernière aboutit à un point d'arrêt A où la vitesse est nulle.

Le théorème de Bernoulli permet de calculer la pression p en ce point.

En désignant par p_0 et v_0 la pression et la vitesse en amont, l'équation (3) donne :

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\rho \cdot g} = \frac{p}{\rho \cdot g}, \text{ d'où}$$

$$p = p_0 + \frac{\rho}{2} \cdot v_0^2$$

La valeur de cette expression, qui représente la « pression totale » en A, pourra être mesurée en mettant le point A en communication avec un manomètre par un tube de petit diamètre par rapport aux dimensions transversales de l'écoulement pour que sa présence ne le perturbe pas.

L'orifice de ce tube est placé face au courant.

Si l'on obtient par un autre moyen la pression statique p_0 , en mettant par exemple un autre manomètre en communication avec un tube de faible diamètre débouchant, sans saillie, perpendiculairement à la direction de la vitesse du fluide, on peut, après correction, car le théorème de Bernoulli ne s'applique jamais rigoureusement à un fluide réel, en déduire facilement la vitesse v_0 de celui-ci.

C'est sur le principe de ce dispositif qui porte le nom de « tube de Pitot » que sont construits certains lochs.

ÉCOULEMENT D'UN LIQUIDE DANS UN TUBE HORIZONTAL DE SECTION VARIABLE (fig. 5)

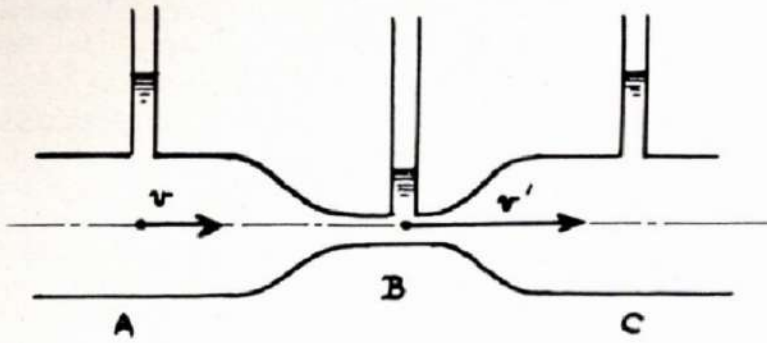


Fig. 5

Le théorème de Bernoulli constitue une première approximation assez satisfaisante sur un espace court dans le cas de l'écoulement de liquides peu visqueux et peu compressibles, à vitesse assez faible, dans des canalisations assez larges, les filets fluides étant parallèles aux parois.

Reprenons l'équation (1). Elle s'écrit :
 $s \cdot v = s' \cdot v'$

Elle montre que la vitesse v augmente lorsque la section s diminue.

Si la différence de niveau entre deux sections d'un filet fluide est nulle, ce qui est le cas dans un tube horizontal, ou négligeable, l'équation de Bernoulli (2) peut s'écrire, puisque $z = \text{Cte}$

$$(4) \quad p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = p' + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v'^2$$

Si la section est constante, la pression doit l'être aussi. C'est un résultat inexact pour les fluides réels. A cause de la dissipation d'énergie par frottement, l'écoulement dans un tube horizontal ne peut être entretenu que par une différence de pression.

Si la section est variable, la relation (4) nous montre que la pression p est plus faible aux endroits où la vitesse est plus grande, c'est-à-dire là où la section du tube est plus petite (le gain d'énergie cinétique correspond à une perte d'énergie potentielle de pression).

C'est le phénomène de Venturi.

Dans un étranglement B, la pression est plus petite que dans les sections élargies A et C.

Si, par exemple, la pression en A est la pression atmosphérique, elle est plus faible en B. Donc, par un orifice percé dans cette section, il y a aspiration de l'air extérieur : c'est sur ce principe que fonctionne la trompe à eau, utilisée pour aspirer un gaz et faire le vide dans un récipient.

Le phénomène de Venturi peut prendre naissance dans un tube ayant une inclinaison quelconque, mais, dans ce cas, si la différence de niveau entre A et B n'est pas négligeable, il faut, pour obtenir l'écart de pression entre ces deux sections, appliquer la relation (2).

Phénomène de Venturi

Le phénomène de Venturi peut se manifester aussi bien dans les gaz que dans les liquides.

Il a été mis à profit dans de nombreux appareils. Il donne, ainsi que nous allons le montrer en 1 et 2, une explication à des faits apparemment aussi divers que l'arrachement d'un toit par un vent violent et la succion paradoxale de l'avant d'un navire par un quai vertical parallèle lorsque la tuyère transversale avant est mise en mouvement pour écarter le navire du quai.

1. (fig. 6) Les filets d'air arrivant horizontalement sur le toit ABC, il se produit un rétrécissement des tubes de courant d'où, sur la partie BC, une dépression qui a tendance à soulever celle-ci et peut l'arracher si elle est suffisamment forte c'est-à-dire si la vitesse du vent est suffisamment élevée.

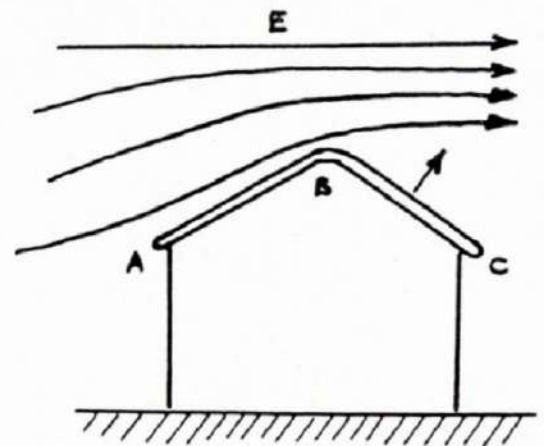


Fig. 6

2. Nous avons réalisé à l'E.N.M.M. du Havre l'expérience élémentaire que voici (fig. 7) :

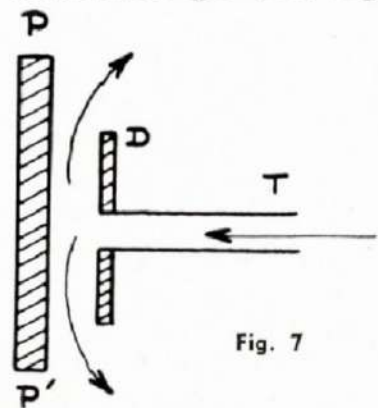


Fig. 7

Au centre d'un disque métallique de 12 cm de diamètre, est fixé un tube T dans lequel on envoie un courant d'air comprimé.

Le disque est placé à 1 cm environ d'une planche PP' horizontale ou verticale, parallèlement à celle-ci.

La planche est aspirée et tend à coller sur le disque.

La raison en est la suivante. Le courant d'air qui s'échappe du tube α , depuis le centre jusqu'au bord du disque, une section qui va en croissant.

Donc sa vitesse diminue, car la détente est relativement faible, et par suite sa pression augmente. Comme celle-ci est voisine de la pression atmosphérique sur les bords du disque, elle lui est inférieure entre le disque et la planche. Cette dernière est donc, en quelque sorte, attirée par le disque.

Elle est fortement repoussée, bien entendu, lorsqu'elle est située à une certaine distance de celui-ci.

Nous avons effectué cette expérience dans l'eau, avec le même disque. En envoyant un courant d'eau dans le tube, il nous a été possible, pour

une raison semblable en son principe à la précédente, d'aspirer une plaque de tôle immergée.

Remplaçons l'ensemble tube-disque par la tuyère transversale avant d'un navire et la plaque de tôle par un quai vertical.

Et nous verrons apparaître la succion précitée, phénomène plus ou moins sensible pour une tuyère donnée suivant les formes de l'avant du navire et du quai, de leurs positions respectives et de la vitesse de l'eau projetée.

R. HERVIEU,
Directeur de l'E.N.M.M.

LES TERMES MARITIMES

Mousse, on retrouve avec le même sens ce mot dans de nombreuses langues. Il est « mozzo » pour l'italien, « mozo » en Espagne et au Portugal, et « mitchiou » en russe. Déjà le français ancien disait « mosse ».

Son origine reste cependant incertaine. On le rattache souvent à l'adjectif « mousse » (du latin *mutilus*, mutilé ?) qui signifie peu aigu, atténué. Mais quel rapport établir entre un mousse qui a la vigueur de ses jeunes années et une pointe émoussée ?

Par exetension, mousse (adj) veut dire aussi « obtus ». Là encore, aucune raison pour que le mousse ne soit pas débrouillard et éveillé.

La jeunesse étant sa caractéristique essentielle, il semble qu'il faille chercher plutôt de ce côté. On dit d'une jeune chèvre quelle est « mousse » si ses cornes sont, non pas émoussées par l'usage, mais à peine moussées, à peine visibles et les grecs nommaient « moskos » les petits des animaux.

Dès lors le mousse devient « le petit », « le gamin » et, si l'on veut retrouver une nuance de raillerie, revanche des anciens sur la jeunesse inexpérimentée : le « blanc-bec ».

Cingler me paraît l'un de ces termes magiques, évocateurs de départs, d'aventures, de couchers de soleil éclatants sur lesquels se profile quelque vaisseau toutes voiles dehors. On retrouve dans la sonorité du mot jusqu'au sifflement du vent.

Pourtant, c'est un terme contesté. On critique d'abord, comme opposée à l'étymologie, son orthographe qui en fait une mauvaise variante de « singler », seul correct. Certes le français ancien a connu deux orthographes : « singler » et « cingler ». Single (ou sigle) a ses lettres de noblesse car les anglo-saxons emploient « segel » pour voile et « segeln » pour faire voile après les bas latins qui disaient déjà « sigla » et « siglare ». On écrivait en vers

Le sigle turnent...

Ils s'en returnent.

Mais « cingle » est aussi un vieux mot pour voile ; on le trouve sous cette forme dans Froissart

et l'Académie a fini par l'adopter.

En ce qui concerne le sens, il y a bien, soulignent certains auteurs, un verbe cingler, mais sans rapport avec la Marine. Il a le sens de claquer du fouet dont la lanière vient comme une ceinture (*cingulum*) s'enrouler autour de ce qu'elle atteint.

C'est possible, mais ce claquement du fouet ne rappelle-t-il pas justement celui des voiles déployées et l'impulsion qu'elles impriment au navire ne ressemble-t-elle pas à l'élan qu'obtient le cavalier d'un coup de cravache ?

On prétend alors que le mot aurait dû cesser avec la marine à voiles. Ici encore, les images évoquées sont les mêmes, elles entraînent les mêmes expressions, justifiant la confusion et dépassant l'étymologie pointilleuse au profit des correspondances secrètes.

Embouquer. On me demande l'origine d'« embouquer ». Elle paraît assez claire. Il descend du latin « in bucca » (bouche ouverte) en passant par l'espagnol « embocar », d'où le sens d'entrer dans un embouquement, dans une passe.

Calfat. La question qui m'est posée à propos de calfat est plus épineuse.

La mission du calfat consiste à obstruer les orifices par lesquels l'eau pourrait s'introduire dans le navire.

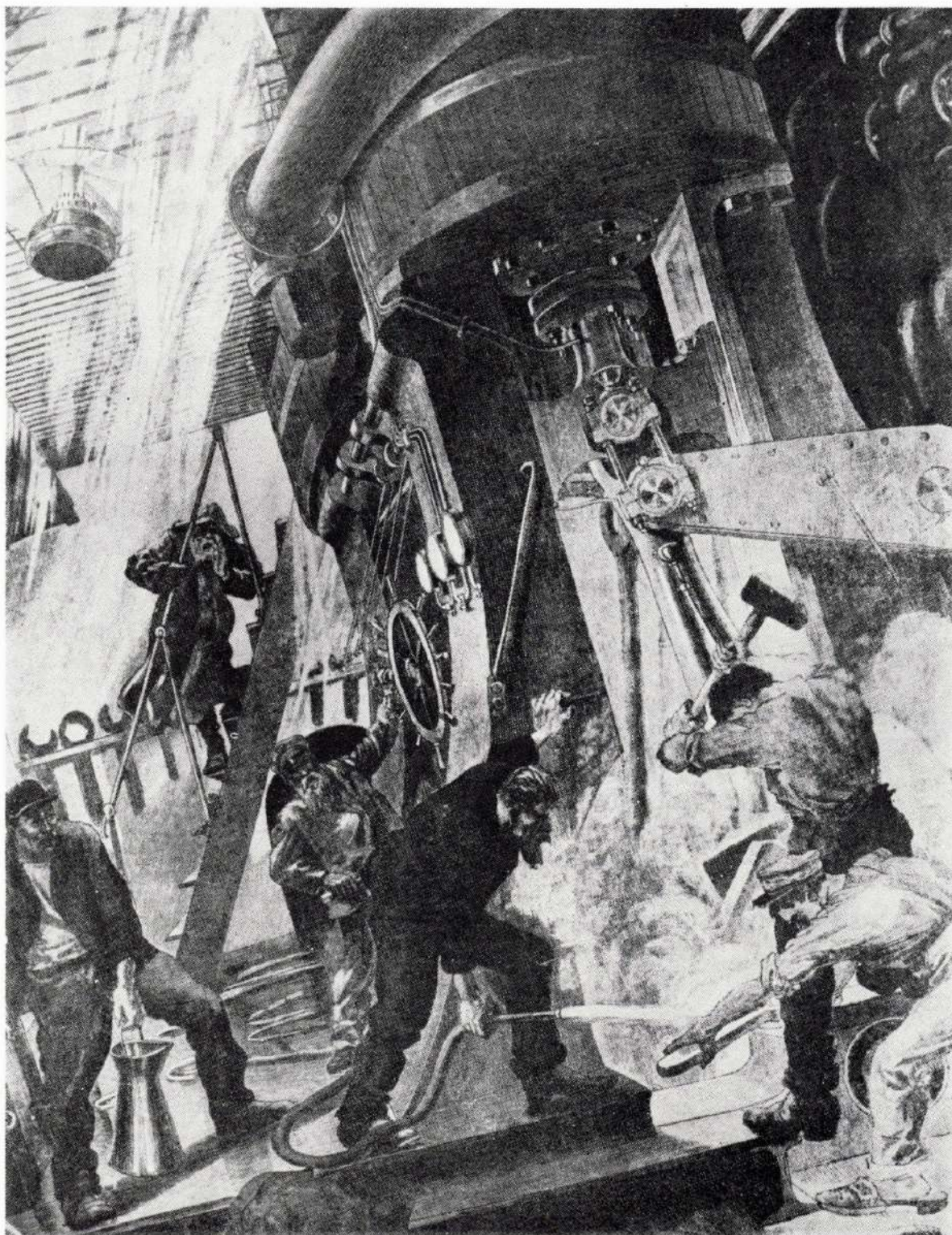
En remontant dans le temps, on trouve « calafat » (arabe), calfatou (prov.) et, en vieux français, « calefact » qui nous mène au latin « calefacere » dont la signification est chauffer.

On chauffait en effet, semble-t-il, la carène pour la nettoyer avant d'en remplir les joints d'étoupe imbibée de brai. On chauffait en tout cas le goudron lui-même.

Là aussi, par analogie et déformation « calfater » a pris la forme de « calfeutrer ». Le frileux amateur d'appartements douilletts fait avec du feutre le même geste que celui du calfat avec son étoupe, afin d'éviter de dangereuses infiltrations... mais avec le danger en moins. Le célèbre appel en cas de voie d'eau « Tous les calfats dans le bouillon ! » ne résonnera jamais pour lui. Sans doute se méprendrait-il d'ailleurs sur sa signification.

Jean HORREARD.

AUTOMATISME D'ANTAN



Echauffement de la tête de bielle par gros temps sur le paquebot « LA BRETAGNE ».

Beaucoup de marins de l'époque de la voile ne s'habituèrent jamais à la navigation « tournebroche », pour employer le terme avec lequel ils parlaient des vapeurs.

LES PRINCIPES DE LA RÉGULATION AUTOMATIQUE

(COURS PROFESSÉ AUX C.L.C.)

CHAPITRE I

GENERALITES ET DEFINITIONS

Mécanisation d'une installation

Consiste à utiliser des machines puissantes pour remplacer une main-d'œuvre nombreuse. Exemples : excavateur, treuil, guindeau, commande de la barre. De toute façon, un homme reste nécessaire pour conduire la machine.

Automatisation d'une installation

Elle peut intervenir lorsque le stade de mécanisation est déjà réalisé. Elle remplace l'homme qui conduit la machine. Des appareils de mesure (capteurs) apprécient l'exécution du travail et donnent les ordres nécessaires à la machine. Elle évite à l'homme des travaux fatigants ou fastidieux (surveillance, quart) ou dégradants (travail à la chaîne). Souvent aussi, l'automatisation doit remplacer l'homme lorsque les réflexes de celui-ci sont insuffisants (raisons de rapidité et de sécurité).

Définition d'un système asservi

C'est un système de commande ou de régulation possédant les deux propriétés suivantes :

1° C'est un système mécanisé, c'est-à-dire avec une amplification de puissance.

2° C'est un système à retour, c'est-à-dire que la sortie est reportée à l'entrée pour être comparée à une valeur de consigne, et c'est l'écart éventuel entre ces deux valeurs qui provoque le fonctionnement du mécanisme, dans un sens tel que la valeur de la sortie se rapproche de la valeur de consigne.

L'ensemble mécanisé situé entre entrée et sortie s'appelle *chaîne d'action*. Une installation automatisée offre souvent la possibilité de repasser en commande manuelle. Lorsque le sélecteur est sur « Automatique » on dit que le système fonctionne en *boucle fermée*, car le circuit de réaction, qui reporte la sortie sur l'entrée, constitue avec la chaîne d'action un circuit fermé.

Si on passe sur « Manuel », on supprime le circuit de réaction, on ouvre la boucle : on dit qu'on fonctionne en *chaîne ouverte*. Un opérateur redevient nécessaire.

Il existe deux grandes classes d'automatismes :

1° Les automatismes à *action progressive*, réalisant un réglage continu, soit réglage de position (poissionneurs), soit réglage de vitesse (variateurs).

2° Les automatismes à *action discontinue* ou à *commutation* réalisant un réglage par tout ou rien, par tout ou peu, etc... Dans cette catégorie entrent souvent les *commandes à séquences*, suites d'opérations déclenchées les unes après les autres suivant un programme.

Entrées, perturbations

Une entrée est une grandeur capable d'agir sur la chaîne d'action et de modifier la sortie. D'ailleurs, les notions d'entrée et de sortie sont très relatives. Elles sont fonction d'un choix dépendant du point de vue auquel on se place.

Exemple : Soit une voiture en marche. Les entrées peuvent être :

L'accélérateur, la qualité de l'essence, la pente de la route, la vitesse du vent...

Les sorties peuvent être : la vitesse, la consommation d'essence, le bruit du moteur, etc...

— L'utilisateur distinguera une *entrée principale*.

— Les entrées secondaires ayant en général un rôle nuisible, on les appelle *entrées parasites*, ou *perturbations*. Elles interviennent comme des paramètres figurant dans la relation :

$$\text{Sortie} = f(\text{entrée}).$$

— Pour une entrée principale donnée (affichage d'une valeur de réglage), on n'est pas certain d'obtenir une sortie de valeur donnée — à cause des perturbations — d'où la nécessité de réaliser un contrôle de la sortie. En fermant la boucle sur une entrée donnée, on élimine automatiquement l'influence des autres entrées (perturbations).

Distinction entre asservissement et régulateur automatique

Il n'y a aucune différence dans leur principe, puisque tous deux sont des systèmes bouclés destinés à maintenir automatiquement sortie = entrée. Ils diffèrent par leur utilisation :

— Pour un *régulateur*, l'entrée principale est une valeur prescrite, une valeur de consigne qui

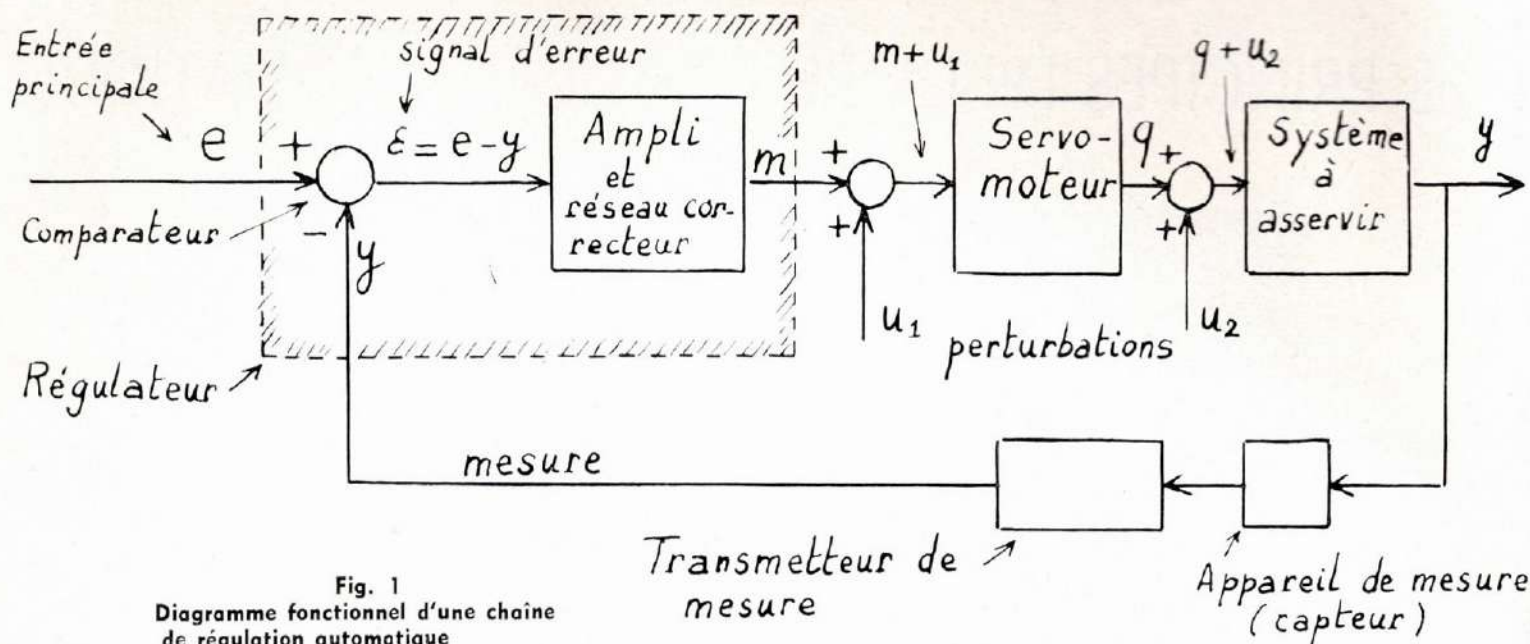


Fig. 1
Diagramme fonctionnel d'une chaîne de régulation automatique

est affichée et qui reste normalement constante. Le régulateur a pour rôle de maintenir la sortie constante (égale à l'entrée) en luttant contre les perturbations.

— Pour un asservissement, appelé aussi système suiveur (follow-up system), l'entrée varie constamment. Il faut que la sortie suive l'entrée (reste égale à l'entrée) malgré les perturbations, et quelles que soient les variations de l'entrée (Exemples : radar de poursuite, télépointage des pièces, appareil d'enregistrement graphique).

Diagramme fonctionnel d'une chaîne de régulation automatique

Dans les diagrammes fonctionnels :

- Les lignes porteuses de flèches représentent des variables.
- Les rectangles représentent des relations qui transforment ces variables.
- Les ronds, accompagnés de signes + ou — sont des opérateurs d'addition (ou de soustraction).
- Les flèches indiquent le sens de l'action (irréversibilité).

Comparateur (ou détecteur d'écart) : c'est un système différentiel élaborant la différence $\varepsilon = e - y$ (écart, signal d'erreur).

Réseau correcteur : il change la forme du signal en lui ajoutant des signaux correcteurs, comme le fait l'opérateur entraîné qui sait doser son action en fonction de l'expérience qu'il a du système à régler.

Amplificateur. — Les amplificateurs proprement dits sont électriques (amplificateurs magnétiques) ou électroniques (tubes à vide ou transistors).

— On parle plutôt de relais de puissance pour le matériel pneumatique, hydraulique, ou pour les contacteurs actionnant des circuits de puissance.

— Les préamplificateurs pneumatiques ou hydrauliques portent souvent le nom de pilotes (système buse-palette, distributeur à tiroir).

Etage de puissance. — C'est l'élément essentiel de la mécanisation de la chaîne d'action. Appelé moteur, actionneur ou servo-moteur s'il fonctionne lui-même en boucle fermée.

— Nous désignerons par m la sortie du régulateur, donc l'entrée du servo-moteur.

— Nous désignerons par q la grandeur de sortie du servo-moteur, q est aussi la grandeur d'entrée du système à régler (grandeur réglante).

— Le système à régler s'appelle aussi processus, ou procédé — traduction du mot anglais « process ».

CHAPITRE II

CARACTERISTIQUES DE CHAINES D'ACTION OUVERTES

Le comportement de la boucle fermée dépend des caractéristiques des différents éléments qui constituent la boucle.

Pour simplifier, nous désignerons par ε l'entrée de l'élément considéré et par y sa sortie. Mais il s'agit ici d'un élément de la boucle et non de l'ensemble de la chaîne d'action.

D'autre part, dans ce chapitre, ε et y représentent plutôt les variations d'entrée et de sortie à partir d'un certain point de fonctionnement.

Première partie : caractéristique $y = f(\varepsilon)$ en régime statique

1° Éléments à Action Proportionnelle (abrég. : A P)

À toute entrée constante ε correspond une sortie constante y qui lui est proportionnelle

$$y = K \varepsilon$$

K = gain statique

La caractéristique est une droite passant par l'origine.

De nombreux systèmes à action continue peuvent être considérés en première approximation comme étant à action proportionnelle. On peut dire aussi que ce sont des systèmes à AP présentant les défauts suivants :

Courbure de caractéristique

- due aux caractéristiques des tubes électroniques ;
- aux lois d'écoulement des fluides dans les conduites ;
- aux caractéristiques des moteurs électriques, etc...

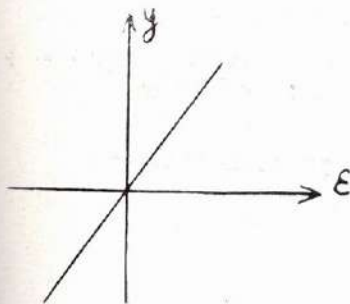


Fig. 2

Action proportionnelle

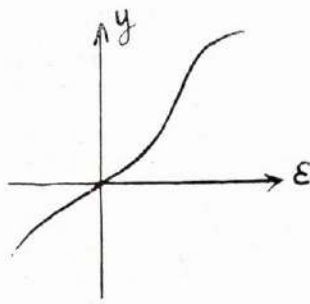


Fig. 3

Courbure de caractéristique

Saturation

Entrée et sortie sont nécessairement limitées par diverses causes :

- déplacements → par des butées de fin de course,
- tensions électriques → par la tension d'alimentation,
- pressions → par la pression d'alimentation, etc...

Seuil ou zone neutre

- entrée minimale capable de produire une sortie,
- dû à un bruit de fond qui masque une entrée faible,
- le seuil représente la sensibilité du système.

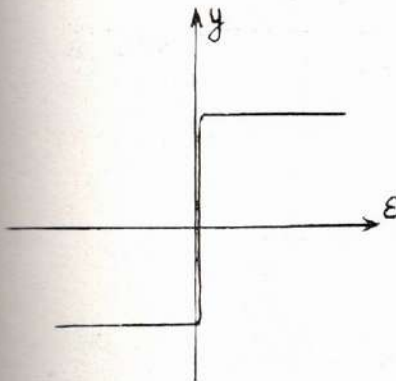


Fig. 7 a

Système à commutation

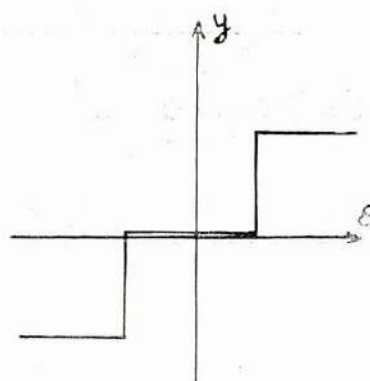


Fig. 7 b

Commutation avec seuil

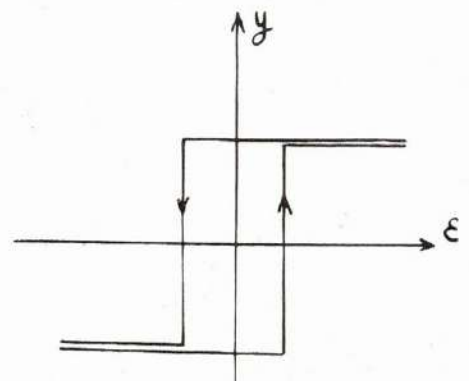


Fig. 7 c

Commutation avec hystérésis

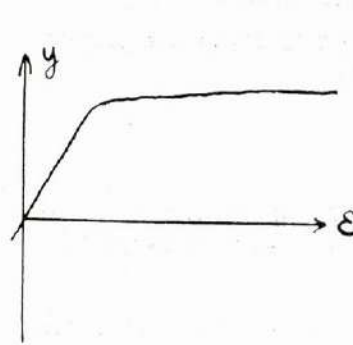


Fig. 4

Saturation

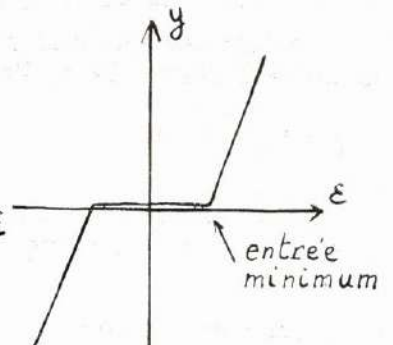


Fig. 5

Seuil

Hystérésis

Retard de la sortie sur l'entrée due aux frottements secs (aux durs), aux jeux mécaniques, etc...

Lorsque l'entrée, après avoir augmenté, change de sens et diminue, la sortie ne suit pas immédiatement cette variation. Elle reste stationnaire tant qu'une force de frottement n'a pas été vaincue, un jeu rattrapé, etc...

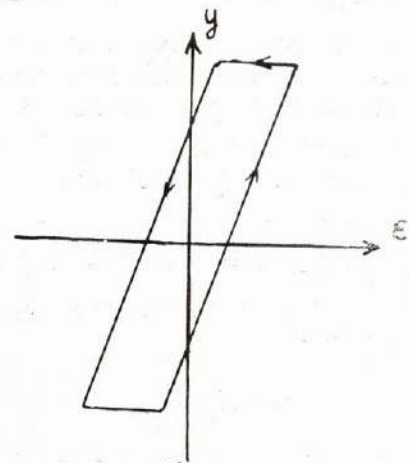


Fig. 6
Hystérésis

2° Systèmes à commutation

Réglage à deux positions. Tout ou rien. Tout ou peu. On peut dire que ce sont des systèmes dont la saturation est atteinte immédiatement.

— La caractéristique peut se compliquer d'un seuil, ainsi que d'hystérésis.

Le seuil dû à l'hystérésis s'appelle aussi recouvrement.

3° Éléments à Action Intégrale (abrév. : AI)

Ce sont des systèmes dont la sortie est proportionnelle à l'intégrale de l'entrée

$$y = K_1 \int_0^t \varepsilon \, dt$$

Pour une entrée constante, en particulier, on a $y = K_1 \varepsilon t$. La sortie augmente sans cesse, indéfiniment.

Exemple : tension d'entrée ε donnant à un moteur une vitesse constante.

Si l'on prend comme sortie la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$, le système est à Action Proportionnelle $\frac{d\theta}{dt} = K_1 \varepsilon$

Mais il est à Action Intégrale si l'on prend comme sortie l'angle de rotation $\theta = K_1 \int \varepsilon \, dt$

Autres exemples : Navire : entrée = angle de barre α — sortie = Cap. Vérin : entrée = position du tiroir pilote, sortie = position du piston.

— Les éléments à Action Intégrale n'ont donc en réalité jamais de régime statique. Ou encore, leur gain statique est infini.

4° Éléments à Action Dérivée (abrév. : AD)

Systèmes dont la sortie est proportionnelle à la dérivée de l'entrée

$$y = K_2 \frac{d\varepsilon}{dt}$$

donc y est proportionnelle à la vitesse de variation de l'entrée. L'élément ne transmet que les variations, et ce d'autant mieux qu'elles sont plus rapides. En régime statique, la sortie est nulle.

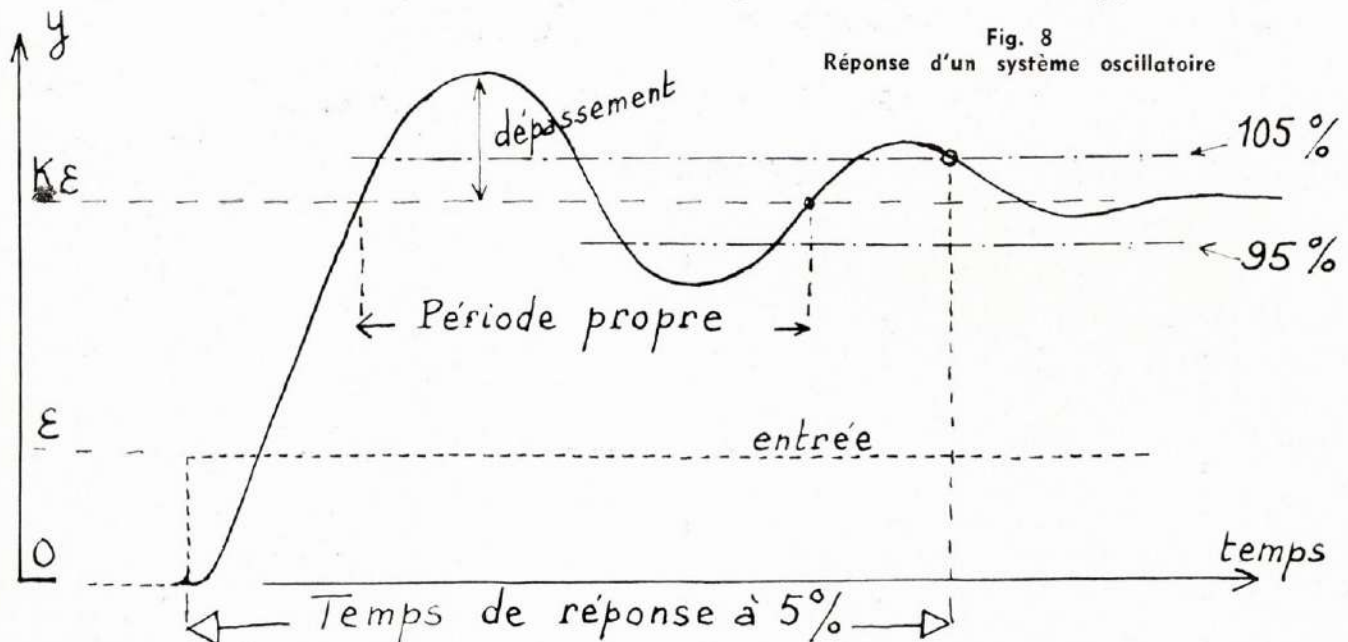


Fig. 8
Réponse d'un système oscillatoire

Deuxième partie : Caractéristiques des chaînes ouvertes en régime transitoire

Le régime transitoire est celui qui prend naissance lors du passage d'un régime permanent à un autre régime permanent. En général, on définit des caractéristiques pour le régime transitoire qui a lieu le plus souvent : variation d'entrée en échelon. Par exemple : tension continue appliquée brusquement, thermomètre plongé brusquement dans un autre milieu, affichage brusque d'une autre valeur de consigne.

Le relevé de la courbe de réponse permet de définir :

- Le gain statique K ,
- Le temps de réponse à 5 %,
- Le dépassement et la période propre si le régime transitoire est oscillatoire.

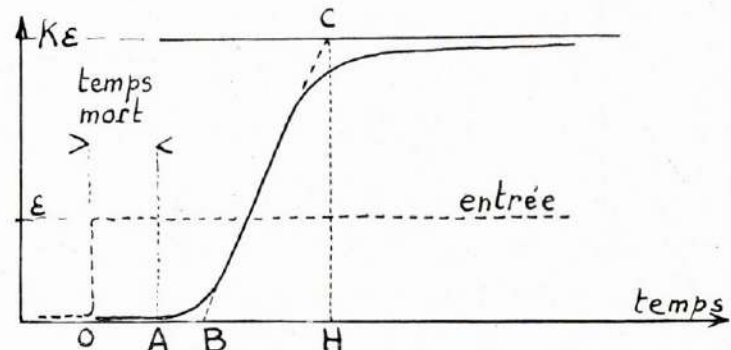


Fig. 9
Réponse d'un système non oscillatoire

On définit encore :

- Le temps mort = temps au bout duquel la réponse atteint une valeur appréciable. (OA).

— La vitesse d'adaptation = pente de la droite BC.

Nota. — Le temps BH, pour un tel système non oscillatoire, joue le rôle d'une constante de temps (ressemblance avec la courbe de charge d'un condensateur). Un tel système équivaut donc à l'ensemble d'un temps mort et d'une constante de temps.

— Les temps morts sont dus à des jeux, à des durées de transmission.

— Les autres retards et constantes de temps correspondent à des inerties dues à la masse ou à des inerties calorifiques, ou à des selfs, etc... ainsi qu'à des condensateurs ou des réservoirs.

Importance des performances en régime transitoire

Tous les systèmes asservis travaillent pratiquement toujours en régime transitoire. Les caractéristiques transitoires doivent être déterminées avec soin :

a) Pour des raisons de commodité. Ce serait un grave défaut pour un galvanomètre d'osciller pendant 3 minutes avant de permettre une lecture.

b) Pour des raisons de sécurité. Les oscillations transitoires peuvent développer des pointes dangereuses : dépassements inadmissibles, surintensités, suppressions et coups de bélier dans les conduites, surtout lorsque la variation de l'entrée est vraiment très brusque.

Les caractéristiques transitoires définissent assez bien les qualités d'un asservissement tel qu'un appareil enregistreur. Les courbes de réponse

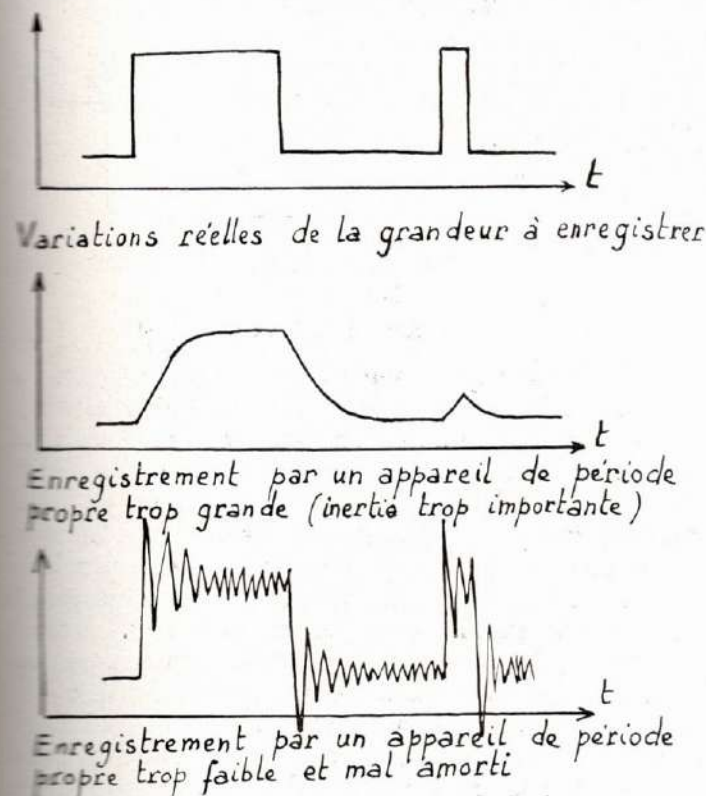


Fig. 10

suivantes montrent que le premier appareil ne rend pas les variations fines. Il « mange les pointes ». Le deuxième superpose aux variations réelles une oscillation parasite.

Troisième partie : Caractéristiques des chaînes ouvertes en régime harmonique

Régime harmonique = régime sinusoïdal. On applique à l'entrée $e = E \sin \omega t$. On recueille à la sortie $y = Y \sin(\omega t - \varphi)$.

— Si le système est linéaire, le rapport Y/E ne doit pas dépendre de E .

— Si le système était toujours à Action Proportionnelle, y devrait être en phase avec e ($\varphi = 0$) et son amplitude devrait être toujours : $Y = K E$.

En réalité, à cause des inerties, des retards, la sortie se trouve déphasée en arrière d'un angle φ qui augmente avec la fréquence. Car le retard Δt reste le même pour toutes fréquences. Donc

$$\varphi = \omega \Delta t = 2\pi f \Delta t$$

augmente avec f .

D'autre part, encore à cause des inerties, l'amplitude Y diminue quand la fréquence augmente et tend vers zéro en haute fréquence.

Pour une certaine fréquence, on peut quelquefois observer une résonance, c'est-à-dire un maximum de l'amplitude Y .

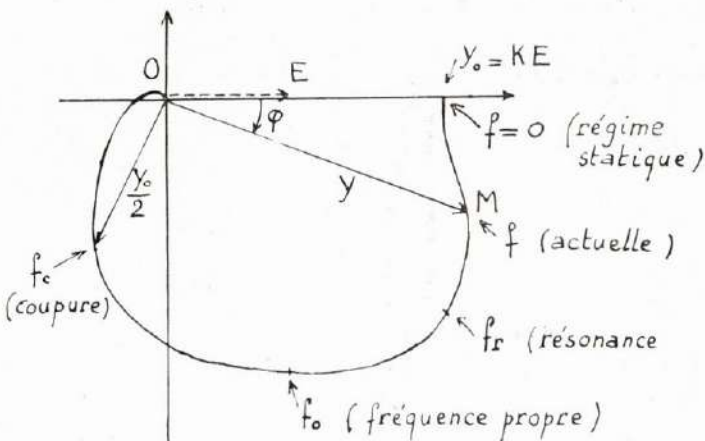


Fig. 11

Diagramme de Nyquist

Tous ces résultats sont reportés sur un diagramme de Fresnel : on fait varier la fréquence, l'amplitude E restant constante. On mesure à la sortie Y et φ . On peut ainsi tracer le vecteur représentatif $\vec{Y} = \vec{OM}$ de la sortie sinusoïdale y .

Quand la fréquence varie, l'extrémité du vecteur $\vec{y}$ décrit une courbe qui, ramenée à $E = 1$, s'appelle le lieu de transfert de la chaîne ouverte, ou encore Lieu de Nyquist. Ce lieu permet de relever les caractéristiques suivantes :

- Gain ou rapport des amplitudes :

$$G = \frac{Y}{E} \text{ — désigné aussi par } A$$

sortie efficace

$$G = \frac{\text{sortie efficace}}{\text{entrée efficace}} = \text{sorte d'impédance}$$

pour $f = 0$: $G = K = \text{gain statique}$
 pour $f \rightarrow \infty$: $G \rightarrow 0$

• Fréquence de coupure et bande passante à 6 dB : si on admet que la transmission est bonne jusqu'à $G = \frac{1}{2}$, on appelle : fréquence de coupure

la fréquence f_c pour laquelle $G = \frac{1}{2}$
 et bande passante l'intervalle de fréquence $(0, f_c)$;

• Fréquence de résonance : celle qui correspond à Y maximum. On définit aussi le facteur de résonance $Q = Y_{\text{max}}/Y_0$.

• Fréquence propre : c'est la fréquence des oscillations en régime transitoire.

Intérêt de la réponse harmonique

On connaît ainsi le comportement du système pour toutes les fréquences. Or une entrée de forme quelconque peut être considérée comme composée par la superposition d'un certain nombre d'entrées sinusoïdales. Les variations très rapides, très brusques de l'entrée correspondent à des harmoniques de fréquence élevée (points anguleux, fronts raides).

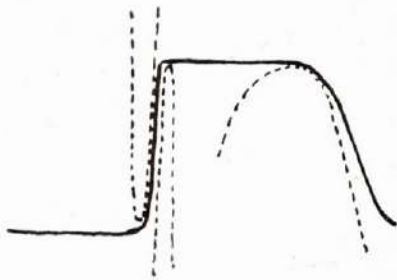


Fig. 12

Composantes sinusoïdales d'une fonction complexe
 (les points anguleux correspondent à des harmoniques de fréquence élevée)

Le simple examen de la réponse harmonique renseigne sur les performances du système en régime transitoire, sur son aptitude à transmettre les variations rapides, ou au contraire les variations très lentes.

La forme du lieu renseigne sur l'acuité éventuelle de la résonance, donc sur sa tendance à osciller aux environs de $f = f_r$. Ou au contraire, sur le degré d'amortissement.

De plus, de cette réponse en chaîne ouverte, on peut déduire aisément la réponse qu'aura le

système en boucle fermée. Notamment, la position du lieu de transfert par rapport au point C d'abscisse — 1 renseigne sur la stabilité qu'aura la chaîne en boucle fermée (Critère du revers, cf chapitre suivant).

Finalement, les éléments qui interviennent dans la dynamique des processus sont de quatre sortes :

- Élément proportionnel
- Élément à capacité pure
- Élément à constante de temps
- Élément oscillatoire.

Nous verrons aussi que du point de vue du choix du type de régulation, on peut aussi classer les processus en deux catégories :

- Les processus à accumulation d'énergie (à capacité).
 (ex. régulation de niveau dans un réservoir).
- Les processus sans accumulation d'énergie.
 (ex. régulation de débit).

CHAPITRE III

FERMETURE DE LA BOUCLE FONCTIONNEMENT D'UN REGULATEUR A ACTION PROPORTIONNELLE

Pour transformer une chaîne d'action ouverte en asservissement, il suffit de fermer la boucle en ajoutant un circuit de retour (circuit de mesure et comparateur). On reporte la sortie négativement sur l'entrée. C'est donc un cas particulier de contre-réaction (voir chapitre suivant).

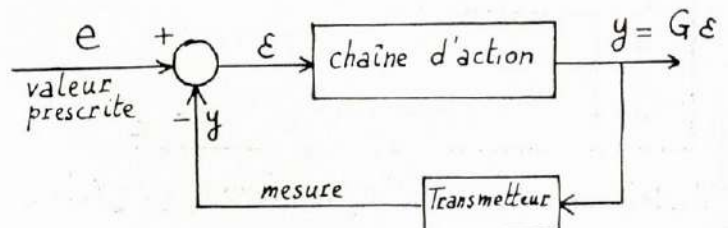


Fig. 13

Fermeture de la boucle

Remarque : Dans une chaîne d'action, l'entrée e et la sortie y sont en général de nature différente. Or, en boucle fermée, on réalise $y = e$, ce qui suppose que e soit de même nature que y . Pour lever cette difficulté, il faut penser que le plus souvent, lorsqu'on parle de chaîne ouverte, il s'agit d'une boucle fermée que l'on a ouverte provisoirement. Or, une boucle fermée comporte nécessairement des traducteurs de mesure et de valeur prescrite qui transforment ces deux grandeurs en quantités de même nature, pour qu'on puisse les comparer dans l'élément différentiel qui élabore l'écart ε . Dans ces conditions, on peut toujours considérer que e , y et ε sont de même nature, et que G est une grandeur sans dimension.

Impossibilité d'un asservissement parfait en AP (ou d'une régulation parfaite)

Considérons le régime statique $\rightarrow G = K$. Il est impossible d'obtenir $y = e$ puisque $y = K \varepsilon$. Donc l'écart ε entre e et y ne peut être nul (y ne l'étant pas) et y n'est pas égal à e .

Calcul de l'écart permanent

$$y = K\varepsilon = K(e - y) \rightarrow y = \frac{K}{1 + K} e$$

l'écart s'obtient ensuite par

$$\varepsilon = \frac{y}{K} \rightarrow \varepsilon = \frac{e}{1 + K}$$

Conclusion : Un régulateur à Action Proportionnelle produit une erreur en régime permanent, appelée *erreur de statisme*.

Cette erreur est d'autant plus petite que le gain de la chaîne ouverte est plus grand. On aurait exactement $y = e$ si le gain était infini.

Influence d'une perturbation

Supposons qu'une perturbation u s'ajoute directement à la sortie de la chaîne $y = K\varepsilon$. C'est maintenant la sortie résultante $y_1 = y + u$ qui est maintenue constante par la régulation. La perturbation, reportée à l'entrée, agit sur ε de telle façon que $y = K\varepsilon$ varie en sens inverse de u pour maintenir constante la sortie résultante $y_1 = y + u$.

En réalité, celle-ci aura un peu varié sous l'effet de u :

$$\text{Calcul : } \begin{cases} \varepsilon = e - y_1 \\ y = K\varepsilon = y_1 - u \end{cases}$$

$$\text{d'où } K(e - y_1) = y_1 - u \rightarrow y_1 = \frac{K e}{1 + K} + \frac{u}{1 + K}$$

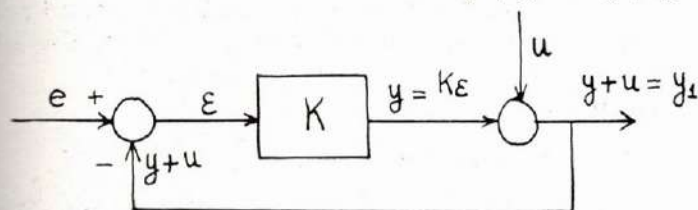


Fig. 14

Influence d'une perturbation

Le premier terme représente l'ancienne sortie. On voit que la perturbation u n'a modifié la sortie que de $\frac{u}{1 + K}$. Son action n'est donc pas totalement

supprimée, mais fortement réduite dans le rapport $1 + K$ ($1 + K =$ coefficient de régulation).

Stabilité du système en boucle fermée

Chaque élément de la chaîne d'action introduit des retards (dus aux inerties, aux selfs, aux constantes de temps Résistance $\times$ Capacité, aux frottements et duretés, ainsi qu'aux durées de propagation).

L'action correctrice du régulateur est différée par suite du délai de sa transmission à travers l'installation. Si ce retard est exagéré, on conçoit que l'effet théoriquement correcteur soit susceptible d'agir à contresens, car le dérèglement a pu entre temps changer de sens $\rightarrow$ accrochage d'oscillations.

On peut aussi interpréter l'influence des retards en régime harmonique. Ils produisent un déphasage qui augmente avec la fréquence. Pour une certaine fréquence F , ce déphasage atteint 180° et y sort maintenant en opposition avec ε . Ce changement de signe de y a pour effet de transformer la contre-réaction en réaction positive. Si G est la valeur du gain à la fréquence F , l'entrée est augmentée de $G\varepsilon$ ce qui augmente la sortie, donc à nouveau l'entrée, etc... $\rightarrow$ phénomène cumulatif.

Deux cas peuvent se présenter suivant la valeur de G à la fréquence F :

1° Si $G < 1$, l'entrée est augmentée en progression géométrique de raison G et la sortie se

stabilise à la valeur $y = \frac{G\varepsilon}{1 - G}$, qui est beaucoup

plus grande que e si G est assez voisin de 1. Le système cesse d'être un régulateur ou un système suiveur. Il devient un amplificateur à réaction de gain élevé. C'est-à-dire qu'on observe une résonance d'assez forte amplitude au voisinage de la fréquence F .

2° Si $G = 1$, l'amplitude de la sortie tend à devenir infinie (elle est limitée pratiquement par les saturations). Le système asservi se transforme en oscillateur. On dit qu'il y a *pompage*. La fréquence des oscillations de pompage est celle pour laquelle $\varphi = 180^\circ$. Le régulateur est alors inutilisable car la moindre perturbation suffit pour amorcer le pompage.

Nota : si $G > 1$, l'analyse des phases de e , y et ε montre qu'un fonctionnement stable est impossible. Il y a encore pompage.

Remarque : Critère du revers

Pour $\varphi = 180^\circ$, le gain est mesuré par $G = OP$. On vient de voir que le système asservi sera stable

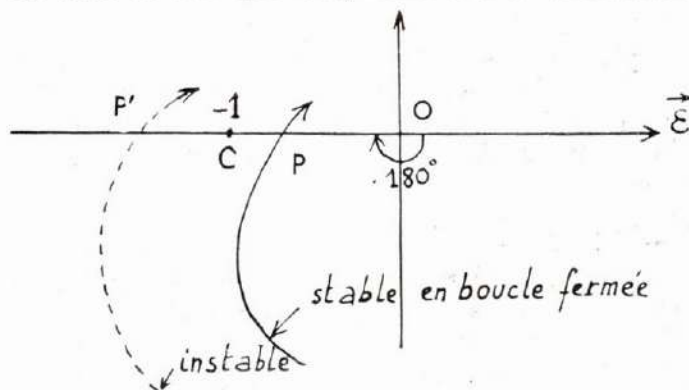


Fig. 15

Critère du revers sur le diagramme de Nyquist

si le gain en chaîne ouverte est < 1 , donc si le lieu de transfert en chaîne ouverte coupe l'axe ox en un point P situé entre O et C , donc si le lieu de transfert laisse le point C sur sa gauche.

Au contraire, si pour $\varphi = 180^\circ$ le lieu de transfert coupe l'axe ox en un point P' au-delà de C , c'est que G est > 1 , le système sera instable en boucle fermée. Donc, instabilité si le lieu de transfert laisse le point C sur sa droite (critère du revers).

Exemple: la station debout chez l'homme est un exemple de régulation. L'homme apprécie les moindres écarts et les corrige par contre-réaction, grâce à de rapides réflexes. Chez l'ivrogne, l'alcool introduit des retards dans les réflexes. Il réagit trop tard à chaque écart, d'où oscillations de forte amplitude.

Dilemme stabilité-précision

Pour avoir une bonne précision, il faut que l'écart permanent $\frac{e}{1+K}$ soit faible. Il faut donc utiliser un gain élevé.

Mais si on augmente le gain statique, on augmente dans la même proportion le gain pour la fréquence F (pour laquelle $\varphi = 180^\circ$). On se rapproche donc de la valeur critique $G = 1$ et on risque de faire apparaître le pompage. Donc, en augmentant le gain pour améliorer la précision, on compromet la stabilité.

Ce dilemme est aussi appelé pompage-raideur, car lorsque le gain est élevé, la sortie suit l'entrée sans souplesse, c'est-à-dire de très près. On dit que le système asservi présente de la raideur.

D'après ce qui précède, il présente alors aussi une tendance au pompage.

Comparaison de la boucle fermée à AP et de l'action en chaîne ouverte

Premier effet: précision augmentée. Réduction de l'effet des perturbations. Il reste toutefois un écart résiduel en régime permanent.

Deuxième effet: tendance à l'instabilité si on augmente trop le gain pour réduire cet écart.

Troisième effet: le temps de la stabilisation est plus rapide qu'en chaîne ouverte, puisque la contre-réaction en AP fournit en principe une action en opposition de phase avec les oscillations du régime transitoire $\rightarrow$ d'où, amortissement de ces oscillations.

Bande proportionnelle

A cause des saturations qui interviennent dans tous les éléments, l'action proportionnelle est limitée à deux valeurs extrêmes de la sortie. Par exemple, la chaîne d'action comporte une vanne dont l'ouverture ne peut évidemment varier que de « ouvert » à « fermé ». Soient y_1 et y_2 les valeurs correspon-

dantes de la sortie en chaîne ouverte. Entre ces deux valeurs extrêmes, y varie de façon continue et proportionnelle. L'intervalle $\Delta y = y_1 - y_2$ étant imposé par les saturations, on en déduit que l'écart e peut varier dans une bande de largeur $\Delta e = \frac{\Delta y}{K}$

appelée bande proportionnelle (au-delà, l'action cesse d'être proportionnelle).

On voit que cette bande est d'autant plus étroite que le gain est plus élevé. Considérons par exemple une valeur prescrite constante (fig. 14). Les variations de la sortie $y_1 = y + u$ sont alors les mêmes que celles de e . Donc la sortie y_1 est maintenant dans une bande de largeur Δe . Ce qui est une autre façon de considérer la bande proportionnelle. (Noter qu'avec une perturbation u , c'est y_1 qui est maintenu constant, et y qui peut varier éventuellement de Δy).

Exemple numérique.

$$\text{Soit } K = 50 \quad \Delta e = \frac{\Delta y}{50} = 0,02 \Delta y$$

donc $\Delta e = 2\%$ de la variation maximum de y .

Bande proportionnelle dans le cas d'un régulateur

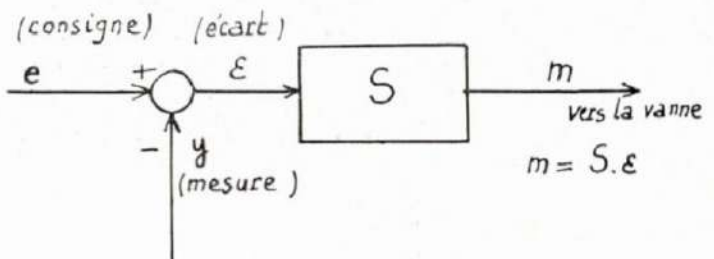


Fig. 16

Bande proportionnelle

Là encore, au lieu de la sensibilité proportionnelle S , on peut définir la bande proportionnelle BP du régulateur:

C'est l'écart Δe

C'est la variation d'entrée Δe

C'est la variation de la mesure $\Delta y = \Delta e$ qui fait varier la sortie m d'une saturation à l'autre (m_1, m_2)

C'est donc Δe qui produit $\Delta m = m_1 - m_2$

$$\text{on a } BP = \Delta e = \frac{\Delta m}{S} \quad (\text{inversement proportionnelle à } S)$$

Remarque: d'habitude, on exprime toujours la bande proportionnelle en pourcentage. Mais une difficulté se présente ici, le régulateur n'est qu'un élément de la boucle. Considéré seul, il est en chaîne ouverte, et en général, son entrée e et sa sortie m ne sont pas de même nature. Ou encore S , n'est pas un nombre sans dimension, et son inverse ne peut pas s'exprimer en pourcentage.

Cependant, grâce à la normalisation à laquelle obéit l'industrie, la mesure est toujours traduite en pressions, intensités, tensions, évaluées dans un nombre restreint d'échelles standards, choisies par le constructeur en fonction de l'ordre de grandeur de la mesure.

Les variations Δe (ou Δy) qui produisent Δm maximum, peuvent être ainsi rapportées à l'échelle totale de la mesure et évaluées dès lors de façon relative.

Exemple : échelle 200 — 1.000 mbars.
L'échelle totale est donc 1.000 — 200 = 800 mbars.

BP = 10 % veut dire que la sortie m varie d'une saturation à l'autre lorsque la mesure y varie de $0,10 \times 800 = 80$ mbars.

CHAPITRE IV

UTILISATION DE LA CONTRE-REACTION DANS LES AMPLIFICATEURS ET RELAIS DE PUISSANCE

Considérations générales sur la réaction (feed-back)

Ce chapitre est une généralisation du précédent, puisqu'un système asservi est un cas particulier de contre-réaction.

Considérons un amplificateur (électrique, ou pneumatique, etc...) à Action Proportionnelle

$$y = K e$$

e = variation de l'entrée

y = variation de la sortie

Nous nous placerons dans le cas d'actions suffisamment lentes pour que l'amplificateur n'introduise aucun déphasage.

Réaction positive (à titre documentaire)

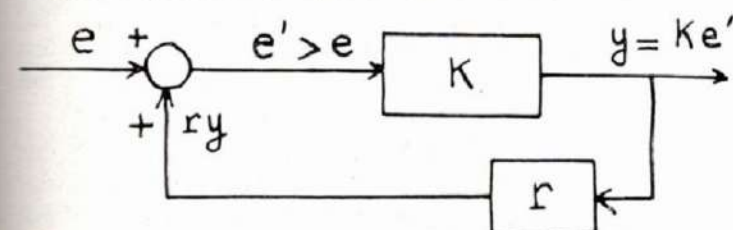


Fig. 17

Réaction positive

Consiste à reporter une fraction ry de la sortie sur l'entrée, de telle façon que ry s'ajoute à e .

— La véritable entrée devient $e' = e + ry$

— La réaction positive augmente évidemment le gain puisque entrée et sortie sont augmentées par un phénomène cumulatif.

Pour une entrée e ,
on report $ry = Kre$ à l'entrée

— en appliquant Kre ,
on reporte $Kr (Kre)$ à l'entrée = $K^2 r^2 e$

— en appliquant $K^2 r^2 e$,
on reporte $Kr (K^2 r^2 e)$ à l'entrée = $K^3 r^3 e$

Au total, le signal appliqué à l'entrée est la somme de la progression géométrique de raison Kr
 $e' = e + Kre + K^2 r^2 e + K^3 r^3 e + \dots$

dont la somme est $e' = \frac{e}{1 - Kr}$ si Kr est < 1

Comme $y = Ke' = \frac{K e}{1 - Kr}$, on voit que le nouveau gain est $K' = \frac{K}{1 - Kr}$

— On peut d'ailleurs calculer K' par un raisonnement direct, en comparant les deux relations $y = Ke'$ et $e' = e + ry$. L'élimination de e' conduit au même résultat.

— Donc, si le taux de réaction r n'est pas trop grand ($Kr < 1$), le gain est augmenté par la réaction positive.

— Pour $Kr = 1$, la sortie augmenterait indéfiniment. L'amplificateur se transforme en oscillateur. Il en est de même si $Kr > 1$, car l'analyse des phases de e , y , et e' montre alors qu'aucun fonctionnement stable n'est possible. D'ailleurs, la progression géométrique précédente a une somme infinie puisque la raison Kr est > 1 .

Les oscillations de pompage sont évidemment limitées en amplitude par les saturations.

Réaction négative — ou contre-réaction — ou rétro-action.

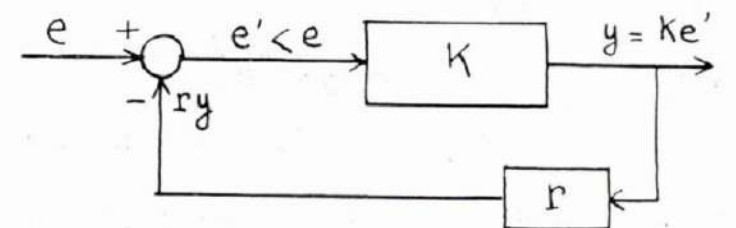


Fig. 18

Réaction négative

Ici, on reporte ry négativement sur l'entrée. L'entrée est cette fois diminuée et devient :

$$e' = e - ry$$

et comme $y = Ke'$

on en déduit la nouvelle valeur du gain :

$$K' = \frac{y}{e} \rightarrow K' = \frac{K}{1 + Kr}$$

— On trouve évidemment que $K' < K$, c'est-à-dire que la contre-réaction diminue le gain.

Avantages de la contre-réaction

Le gain propre de l'amplificateur est en général très grand (K est souvent supérieur à 1.000). Il en résulte qu'en négligeant 1 au dénominateur dans l'expression de K' on obtient :

$$K' \approx \frac{K}{K} \rightarrow K' = \frac{1}{r} = C^{ste}$$

Exemple : $K = 250$ $r = \frac{1}{10}$ (on reporte à 10)

$$K' = \frac{250}{1 + 250} \approx 10$$

l'entrée $y/10$ → $Kr = 25$

Il semble qu'il ne soit guère avantageux de réduire ainsi le gain d'un amplificateur. En réalité, il faut considérer la question dans l'autre sens : on veut une amplification $K' = 10$. Est-il plus avantageux d'utiliser directement un ampli de gain 10, ou un ampli trop fort ($K = 250$) dont on réduira le gain à 10 par contre-réaction ?

Les avantages de la contre-réaction sont nombreux :

1° Le gain K' est indépendant de la fréquence

En effet, quel que soit K , qui s'élimine, le gain K' est constant et égal à $\frac{1}{r}$. Donc même si K varie avec la fréquence, l'amplificateur à contre-réaction transmet de la même façon les actions lentes et les variations rapides (À condition cependant que l'ampli n'introduise aucun déphasage croissant avec la fréquence. Auquel cas, pour $\varphi = 180^\circ$, la réaction négative se transformerait en réaction positive).

Cas particulier : pour les systèmes asservis, $r = 1$ et on a $y = e$ quel que soit K .

2° La contre-réaction élimine les distorsions introduites par l'ampli

En effet, si la caractéristique entrée/sortie n'est pas une droite (ex. : système buse-palette), on peut dire que son gain K varie avec l'entrée. Mais puisque K s'élimine, pourvu qu'il reste assez grand, K' reste constant et la sortie reste toujours proportionnelle à l'entrée (cas particulier des systèmes asservis : $y = e$).

La contre-réaction est souvent utilisée dans les transmetteurs de mesure, dans les régulateurs, et même dans l'étage de puissance (qui s'appelle alors servo-moteur) pour obtenir une action proportionnelle à partir de systèmes dont l'action propre est loin de l'être, mais dont l'emploi est par ailleurs commode et le gain élevé.

3° La contre-réaction élimine l'effet des perturbations et augmente la précision

En effet, des perturbations diverses, notamment dans l'alimentation, peuvent faire varier le gain, donc la valeur de la sortie → manque de précision. Avec la contre-réaction, la constance du gain K' traduit l'insensibilité du système aux perturbations susceptibles de faire varier le gain propre K . Comme cas particulier, on a vu comment les systèmes asservis réduisaient l'influence des perturbations.

D'où l'usage fréquent de contre-réaction lorsqu'on veut assurer avec précision la position de la sortie, malgré des résistances éventuelles. (Cas des positionneurs).

4° La contre-réaction maintient l'entrée de l'amplificateur pratiquement fixe

En effet, les variations de l'entrée sont $e' = e - ry$. En éliminant y par $y = Ke'$, il vient $e' = \frac{e}{1 + Kr}$. Comme Kr est toujours beaucoup plus grand que 1, on voit que e' reste très petit. Par exemple, dans les SA, $r = 1$ et $e' \approx \frac{e}{K}$. Comme K est élevé, une très faible entrée e' suffit pour que la sortie de l'amplificateur ait une action notable. Ainsi, l'entrée variant toujours très peu, on peut dire qu'elle reste sensiblement constante.

La contre-réaction réalise un équilibrage automatique de l'entrée de l'amplificateur.

Elle fait partie des méthodes d'opposition, ou méthodes de zéro. Cette propriété est précieuse pour de nombreux systèmes, tels que le système buse-palette, qui ont à l'entrée une marge de déplacement très faible, et qui, pour une entrée d'amplitude normale, deviendraient des systèmes agissant par tout ou rien. Au contraire, en maintenant par contre-réaction la palette dans l'étroite zone où son action sur la pression est la plus sensible, on obtient une action proportionnelle, de gain élevé.

On retrouve ainsi le résultat énoncé au 2°, car une très faible portion de caractéristique étant utilisée, on peut négliger sa courbure, et on obtient donc une action proportionnelle.

Dans le cas des amplificateurs électroniques, où l'entrée est une tension, la contre-réaction maintient le potentiel de l'entrée pratiquement constant par rapport à la masse.

5° La vitesse de réponse est augmentée

Ce résultat a déjà été énoncé à propos des systèmes asservis. On peut dire aussi qu'en contre-réaction, on utilise un amplificateur de gain bien plus élevé qu'il n'est nécessaire — donc surpuissant — on obtient donc la stabilisation plus rapidement...

6° La stabilité est améliorée

En chaîne ouverte, une entrée en échelon donnera une action très forte, qui ne tient pas compte du retard que peut prendre la sortie par suite de frottements secs par exemple. Les masses, un fois qu'elles ont démarré, prennent ainsi de grandes vitesses, parce que l'action se trouve maintenant trop forte.

Le régime transitoire comportera donc des oscillations de grande amplitude. Au contraire, la contre-réaction dose à chaque instant l'action motrice nécessaire, en fonction de la valeur actuelle de la sortie.

7° Obtention d'action dérivée ou intégrale (voir chapitre suivant)

L'usage de réaction dans les amplificateurs permet, en agissant de façon momentanée sur cette réaction (en la retardant, d'habitude), d'introduire une action intégrale ou une action dérivée se superposant à l'action proportionnelle de l'amplificateur.

Exemples d'application de la rétro-action dans une chaîne de régulation

— dans les transmetteurs de mesure : pour s'assurer que la mesure est transmise avec précision, de façon rigoureusement proportionnelle, et malgré les perturbations éventuelles dans le circuit de mesure ;

— dans les régulateurs : mêmes raisons. De plus, la réaction permet d'obtenir une action proportionnelle, combinée éventuellement avec A.I. et A.D.

— dans les moteurs et actionneurs, on utilise aussi la rétro-action pour obtenir une action précise sur l'organe commandé par le moteur. Un tel actionneur à contre-réaction s'appelle servo-moteur.

Remarque. — L'organe d'asservissement ainsi adjoint à un élément pour le mettre en boucle fermée et stabiliser sa position s'appelle positionneur (ou régleur de position). En résumé, l'adjonction d'un positionneur à chaque organe de la boucle transforme chacun de ces organes en système asservi.

Ce fractionnement de la contre-réaction se traduit par les améliorations suivantes :

- action proportionnelle,
- précision augmentée,
- réduction de l'action des perturbations,

- réduction de l'hystérésis (on supprime l'effet des frottements),
- amélioration de la vitesse de réponse,
- irréversibilité aux actions extérieures (considérées comme perturbations),
- amélioration de la stabilité.

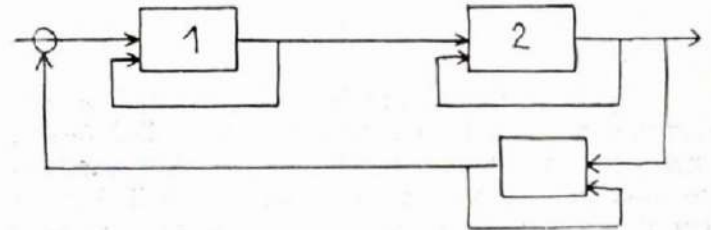


Fig. 19

Fractionnement de la contre-réaction

On a déjà vu que la contre-réaction améliorait la stabilité de chaque organe. Mais de plus, le fractionnement de la contre-réaction améliore aussi la stabilité de l'ensemble de la boucle.

La contre-réaction dans (1) empêche une perturbation de (1) de se propager dans (2), d'où elle ne ressortirait qu'au bout d'un certain temps, pour revenir, mais trop tard, au régulateur.

Au contraire, ici, chaque élément de la boucle réagit immédiatement contre les perturbations locales et les empêche de se propager.

De plus, la contre-réaction améliore le temps de réponse de chaque élément. Le retard de chaque élément étant diminué, il en est de même du retard total de la boucle, ce qui améliore la stabilité puisque ce sont les retards qui provoquent le pompage.

Régulation cascade. — Dans le même ordre d'idée, quand on a deux processus (1) et (2) en série, présentant des retards notables, on utilise deux régulateurs R_1 et R_2 .

R_1 est en boucle sur (1) et protège sa sortie y_1 contre les perturbations.

R_2 est sur une boucle extérieure, allant de la sortie y_2 jusqu'à l'entrée de R_1 . C'est le régulateur principal, qui assure la précision de la sortie y_2 . (Voir chapitre VIII).

(À suivre)

M. CHAUFFAILLE,

Professeur en Chef de 2^{me} classe
à l'E.N.M.M. du Havre

GOUVERNAIL ACTIF ET TUYÈRE DE L'AVANT

Depuis quelques années déjà, on utilise, sur certains navires, un gouvernail actif à l'arrière et une tuyère transversale à l'avant. Ces installations se justifient dans la mesure où l'on doit évoluer sur des plans d'eau assez étroits et où l'on veut se dispenser systématiquement de l'aide des remorqueurs. C'est ainsi que la Nouvelle Compagnie Havraise Péninsulaire, par exemple, a installé ces appareils sur la plupart de ses nouveaux navires ; ce qui permet à ses capitaines de réaliser de belles manœuvres dans des ports assez difficiles d'accès comme la Pointe des Galets ou Tamatave.

I. - DESCRIPTION

Qu'il s'agisse du gouvernail actif, que nous appellerons « Pleuger » et qui est situé, comme le gouvernail classique, à l'arrière du bâtiment, ou de la tuyère transversale avant, que nous appellerons tout simplement « tuyère » et qui est située à une vingtaine de mètres de l'étrave, le principe d'installation et de fonctionnement est le même. Une

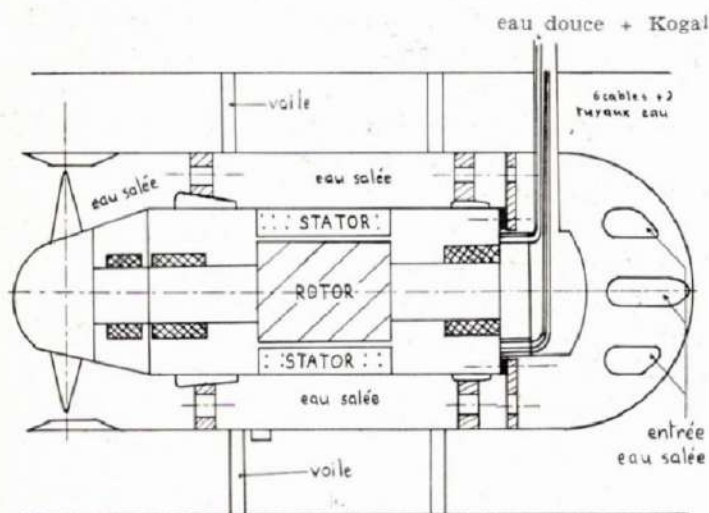


Fig. 1

hélice est entraînée par un moteur immergé, asynchrone triphasé, dont le refroidissement et le graissage se font à l'eau ; le rotor, qui est à simple ou à double cage d'écureuil, et le stator, dont les rainures reçoivent un bobinage à trois phases, sont entièrement noyés. (La double cage permet d'obtenir une plus faible intensité de démarrage, ce qui présente un avantage certain au début d'une manœuvre). La puissance des moteurs varie avec

les différentes unités jusqu'ici en service, mais elle est, en moyenne, de l'ordre de 500 à 600 CV pour des navires de port en lourd de 10.000 à 12.000 t. La puissance du Pleuger est presque toujours supérieure à celle de la tuyère. On note une tendance assez nette, sur les derniers navires lancés, à une augmentation de la puissance et au rapprochement des valeurs de celle-ci entre Pleuger et tuyère.

Voici quelles sont les caractéristiques d'un Pleuger de 600 CV :

$P = 600 \text{ CV/arbre.}$

Nombre de tours : 560 t/m.

Fréquence : 50 HZ.

U nominale : 380 V.

$\cos \varphi = 0,8.$

Rendement : $\approx 88 \%$.

I nominale = 980 ampères.

I démarrage = 400 % I nominale.

Temps de démarrage : une seconde.

En marche normale, l'intensité absorbée ne pose pas de problème. Par contre, l'intensité au démarrage atteint des valeurs assez importantes pour justifier une « tactique » de lancement des deux moteurs (Pleuger et tuyère) qu'il faut rigoureusement appliquer, tout au moins sur certains navires dont la puissance électrique a été calculée au plus juste, si l'on ne veut pas courir le risque de faire déclencher les sécurités de surintensités. Cette « tactique » varie évidemment avec les différents navires, suivant la puissance des alternateurs de chacun. On notera que, dans certains cas, l'intensité au démarrage peut atteindre quatre fois la valeur de l'intensité en marche normale. Le temps de démarrage varie, lui aussi, avec les navires et peut atteindre, sur certaines unités, 5 à 6 secondes. On devra donc tenir compte de ce temps mort pour effectuer correctement une manœuvre. À titre d'exemple, il faut signaler, que sur certains navires, il est impossible de faire fonctionner simultanément le Pleuger et la tuyère : des sécurités empêchent toute fausse manœuvre ; sur d'autres il est possible de faire fonctionner les deux appareils simultanément mais à condition d'en décaler légèrement le lancement. Il faudra, de préférence, lancer d'abord le « Pleuger », qui absorbe une plus grande

intensité au démarrage et, lorsque l'intensité est redevenue normale, lancer la tuyère. Ces données doivent être parfaitement connues du Capitaine s'il ne veut pas voir son navire privé d'électricité parce qu'il aura trop demandé aux alternateurs.

Le Pleuger pourrait être installé, en principe, (voir fig. 2, 3, 4) sur n'importe quel gouvernail moderne creux déjà en place, moyennant quelques transformations, mais il est préférable, pour des raisons évidentes de prix de revient, de prévoir

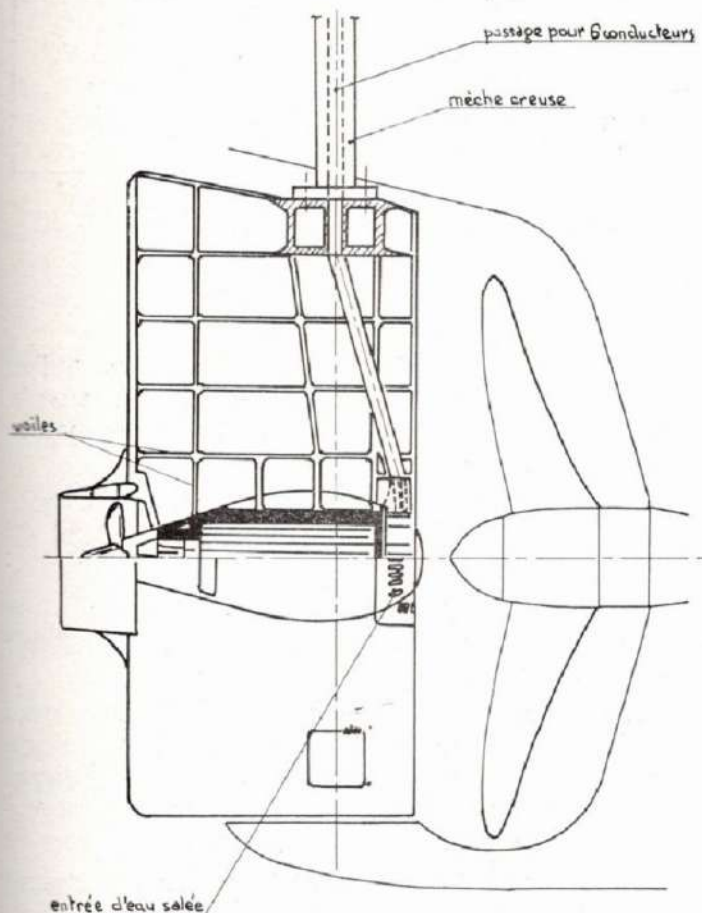


Fig. 2

Installation Pleuger sur gouvernail compensé

un safran adapté au moteur envisagé. Le moteur (4.500 kg environ) est logé dans un moulage creux fixé au safran par des renforts verticaux et horizontaux appelés « voiles ». Pour des safrans (poids 10 à 11 tonnes) de 16 m/m d'échantillonnage, les voiles peuvent atteindre 40 m/m d'épaisseur. C'est donc un safran à structure très renforcée qui supporte le moteur. La mèche du gouvernail est creuse et laisse passer, en plus des six fils d'alimentation (deux par pôle) protégés par un enrobage en caoutchouc, deux petits tuyaux souples, de 20 m/m de diamètre, alimentés par de l'eau douce, mise en pression par rapport à l'eau de mer par une petite caisse située près du servo-moteur, et à laquelle on ajoute un produit, fourni par le constructeur, et appelé « Kogal ». Ces deux tuyaux permettent de noyer le moteur dans un milieu qui

le protège contre les corrosions que provoquerait inmanquablement l'eau de mer, la pression empê-

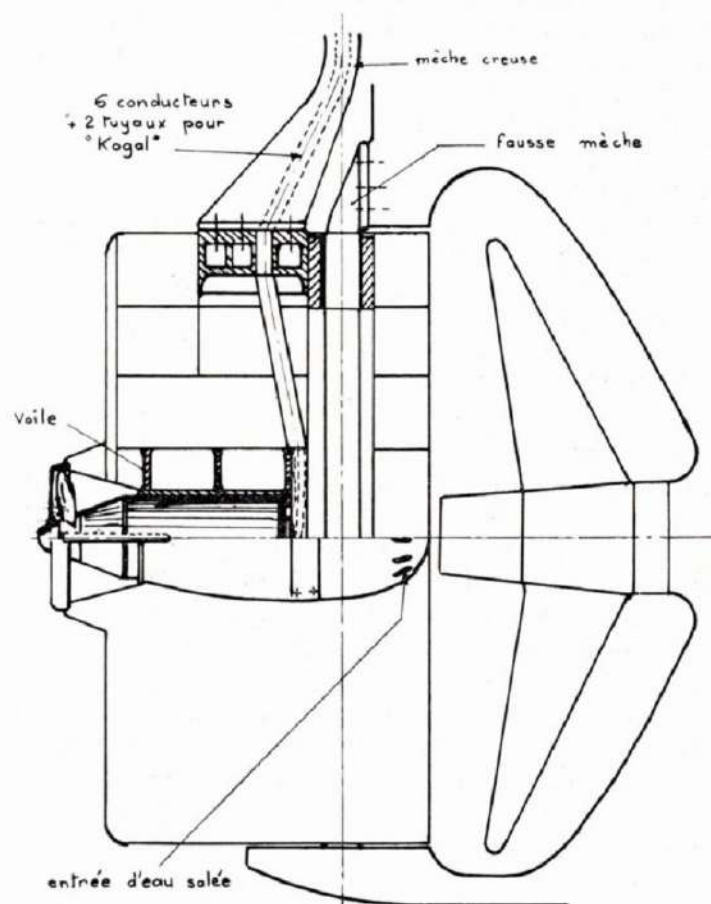
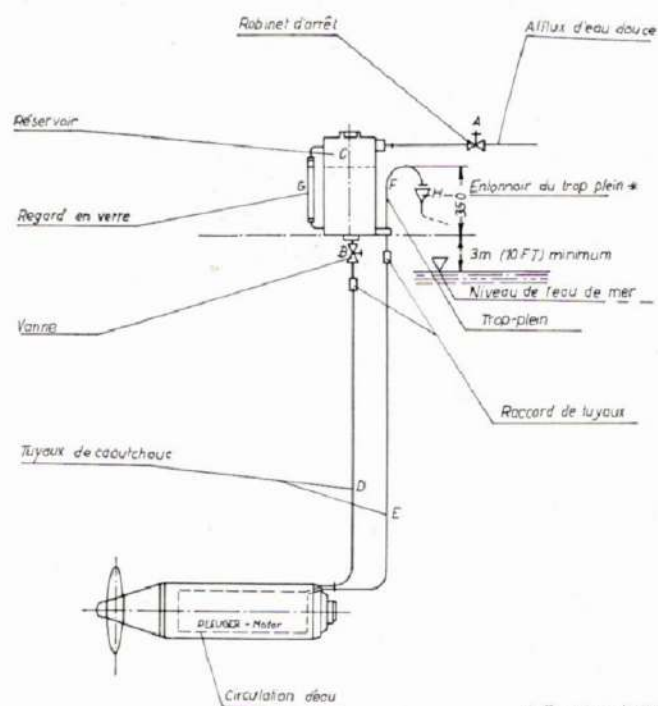


Fig. 3

Installation Pleuger sur gouvernail à fausse mèche



* Fourniture du Chantier

Fig. 4

chant d'autre part le sable et les impuretés de pénétrer à l'intérieur du moteur, lorsque le navire navigue dans des eaux peu profondes. Les paliers du rotor et de l'arbre porte-hélice (celui-ci est situé dans le prolongement de l'arbre principal) sont en caoutchouc spécial et disposés comme des gaïacs. Les tourillons de l'arbre creux sont en acier inoxydable. Le couple est transmis à l'arbre par un accouplement conique. L'extrémité de l'arbre porte-hélice est supportée par un palier lubrifié à l'eau de mer. Le bobinage du stator est évidemment isolé et, en plus, protégé par une gaine de nylon ; les raccords entre les câbles et les bobines d'inducteurs sont isolés par vulcanisation. Enfin le moteur est protégé contre les plantes et les coquillages par une couche anti-corrosive.

La commande du moteur, comme d'ailleurs de celui de la tuyère avant, se fait directement de la passerelle à partir d'un pupitre placé près du transmetteur d'ordres. Le moteur n'est, en général, prévu que pour deux vitesses : avant toute, arrière toute, bien qu'il soit possible d'envisager, théoriquement, toute la gamme des vitesses que l'on trouve sur un moteur principal.

En manœuvre, le gouvernail peut être orienté à 90° de l'axe longitudinal du navire et permet donc des poussées perpendiculaires à cet axe. En route libre, il est nécessaire de remettre en place le butoir limitant l'angle de barre à 35° . Dans ce cas, si le moteur principal tombe en avarie, le Pleuger permet d'assurer, par beau temps et pour une durée limitée, une vitesse de 2 nœuds environ pour des navires de 10.000 t de port en lourd.

La tuyère est installée à la partie avant du navire, à la hauteur d'un ballast, à une distance de 15 à 20 m (pour un navire de 150 m) de la perpendiculaire avant (voir fig. 5). La coque du

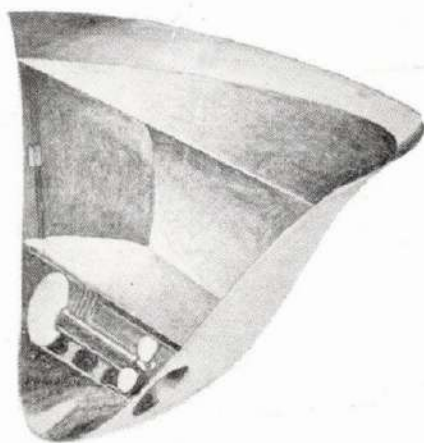


Fig. 5

navire est traversée, à cet endroit, par un moulage creux, formant tuyère, et sur lequel le moteur, placé perpendiculairement à l'axe du navire, est fixé par trois pattes boulonnées à chacune de ses extrémités. Les caractéristiques du moteur sont à peu près identiques à celles du Pleuger. Les conducteurs

et les tuyaux de « Kogal » sont amenés, de la même manière, à l'entrée du moteur (voir fig. 6). Pour diminuer la résistance de carène à la marche normale, on a dû étudier le profil de la tuyère avec beaucoup de précision et en particulier celui des biseaux de raccordement de la tuyère avec le bordé de muraille. Il y a, ici aussi, deux vitesses possibles : avant toute, arrière toute.

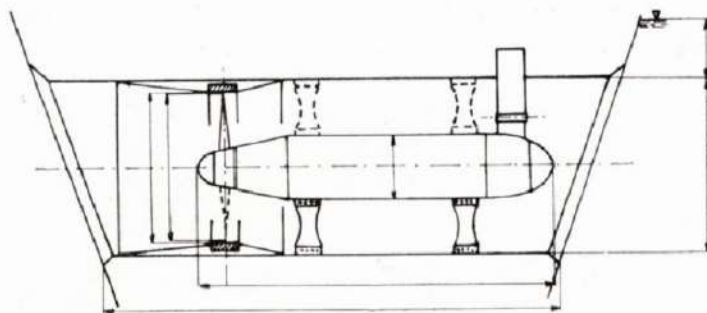


Fig. 6

II. - ENTRETIEN

1. Lorsque le navire est en cale sèche, si l'on a démonté et vérifié le moteur, il faut savoir, qu'après remontage, on ne peut vérifier le moteur dans cet état sec.

2. Pendant la sortie de cale sèche il faut remplir le moteur d'eau douce additionnée de « Kogal ».

3. Après remplissage on doit effectuer une mesure de l'isolement et porter les relevés au cahier des machines.

4. La poussée de l'hélice est vérifiée à quai par observation du jet de l'hélice. S'il y a une erreur dans le sens de rotation, il suffit d'échanger deux phases des câbles d'alimentation à la boîte de jonction ou au tableau de démarrage.

5. On doit vérifier la résistance de l'isolement (au moins 100 mégohms) tous les quinze jours.

6. En période de manœuvres, on doit surveiller l'intensité au démarrage. L'ampèremètre doit baisser très rapidement à la valeur du courant nominal lors du rétablissement de la tension nominale. Dans le cas contraire il existe un manque de stabilisation de la tension du groupe électrogène. Beaucoup de navires possèdent des ampèremètres, voltmètres, wattmètres et indicateurs de fréquence installés au tableau de démarrage dans la salle des machines.

7. Lorsque le navire navigue dans des eaux glaciales, il faut vidanger le circuit de « Kogal », rincer à l'eau douce et remplacer le « Kogal » par le produit « BP antigel ».

8. En cale sèche, par temps très froid,

a) pour des périodes de courte durée, on placera des fourneaux à coke à proximité du moteur, mais en faisant attention de protéger les câbles contre l'influence directe de la chaleur ;

b) pour des périodes de longue durée, il faut vider le moteur en dévissant les boulons de purge.

9. Un service d'entretien annuel est prévu, le navire étant en cale sèche,

a) après un an on procède à une vérification extérieure ;

b) après deux ans on procède à une vérification intérieure, et ainsi de suite ;

c) après huit ans une révision approfondie en usine est recommandée.

III. - MANŒUVRE AVEC UNE INSTALLATION COMPRENANT PLEUGER ET TUYÈRE

Pour effectuer une bonne manœuvre avec une installation comprenant le gouvernail actif et le propulseur transversal à l'avant il faut d'abord se rappeler les règles impératives à respecter en ce qui concerne l'ordre des lancements des deux appareils, le temps qui sépare les deux lancements, etc..., ces règles pouvant varier d'un navire à l'autre suivant la puissance relative des auxiliaires du bord par rapport à la puissance absorbée au démarrage par les deux appareils. Il faut ensuite se pénétrer des quelques principes suivants qui semblent applicables à la plupart des gros navires munis de ces installations.

Principe I

Lorsqu'on entreprend une manœuvre quelconque avec ces appareils il ne faut pas avoir en vue les seuls effets immédiats, mais le but final à atteindre et appliquer toujours cette règle d'or « Réduire, autant que possible, le nombre des renversements de marche des moteurs ».

Principe II

On ne doit pas mettre la barre à plus de 35° lorsqu'on est amené à utiliser le moteur principal. On risquerait, en dépassant cette valeur, de faire subir au safran et à la mèche des efforts trop importants.

Principe III

Lorsqu'on utilise en même temps, le gouvernail actif et le moteur principal, il faut que les deux hélices (Pleuger et hélice principale) tournent dans le même sens. Dans le cas contraire l'hélice du « Pleuger » n'aurait pratiquement aucun rendement et ne serait donc d'aucune utilité pour la manœuvre.

Principe IV

Si les circonstances le permettent il vaut mieux se servir de la marche avant du « Pleuger » que de la marche arrière, car le rendement de l'hélice est meilleur.

Principe V

L'utilisation simultanée du « Pleuger » et de la tuyère avant n'est possible que sur certains navires. Il faut donc se référer aux notices du constructeur relatives à ce sujet.

Principe VI

La tuyère avant et le « Pleuger » sont d'autant plus efficaces que le tirant d'eau est plus fort (ceci est surtout important pour la tuyère).

Principe VII (fig. 7 et 8)

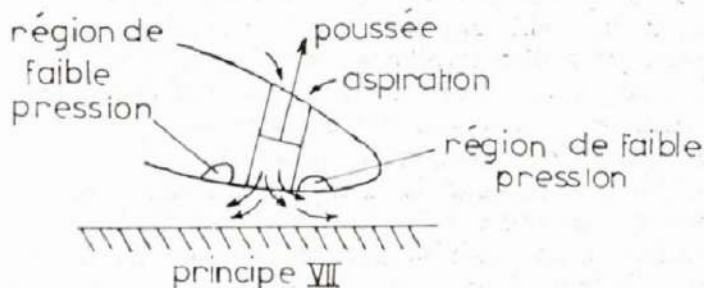


Fig. 7

Lorsque le navire est le long d'un quai plein et que l'on utilise la tuyère avant pour l'en écarter il faut tenir compte du fait qu'il y a toujours dans ce cas, contrairement à ce que l'on pourrait croire, une perte de la poussée due à l'écoulement des filets d'eau dans la tuyère et le long des parois du quai. Autrement dit, il faut tenir compte d'un léger effet de succion au début de la manœuvre, effet qui s'atténue rapidement lorsque l'avant s'écarte du quai.

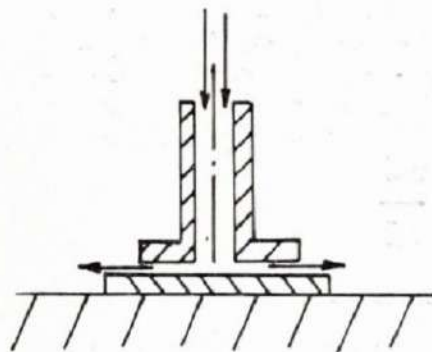


Fig. 8

Ceci n'est, en fait, qu'une des applications de la théorie de Bernoulli sur l'écoulement des fluides.

L'expérience correspondante, d'ailleurs réalisée à l'Ecole du Havre, est très spectaculaire : un tuyau rigide vertical, alimenté par de l'air comprimé, aboutit à un orifice pratiqué dans un disque métallique horizontal de dimensions correctes par rapport à la section de l'orifice. L'air est refoulé comme l'indique la figure. Une planche parallèle au disque est posée sur une table. Lorsque la distance entre le disque et la planche est suffisamment importante, la planche reste collée à la table, mais si l'on

approche le disque de la planche il arrive un moment où, paradoxalement, la planche est aspirée et tend à se coller sur le disque. La même expérience, réalisée en remplaçant l'air par l'eau et la planche par une plaque de métal a donné des résultats semblables.

Evidemment il ne faut pas s'imaginer qu'en pratique le navire va se coller contre le quai lorsque l'on provoque le jet d'eau vers celui-ci, car les conditions du problème ne sont pas tout à fait identiques à celles de l'expérience ci-dessus : il faut noter, en particulier, que les parois du navire, dans les parages immédiats de la tuyère, ne sont pas rigoureusement planes et ne peuvent pas, par conséquent, être parallèles à un quai supposé droit. D'autre part, même, si avant de manœuvrer au « Pleuger », on a viré sur un traversier pour rapprocher l'avant du quai, la distance de celui-ci au bordé, à la hauteur de la tuyère, est suffisamment importante pour que le phénomène vérifié en laboratoire ne se produise pas avec autant de brutalité. Il faut simplement s'attendre à ce que la poussée due à la tuyère soit un peu moins forte que si le navire était éloigné du quai.

Principe VIII

La poussée de la tuyère avant est d'autant plus grande que la vitesse du navire est plus faible.

Principe IX

Les études ont montré que, lorsque le navire se déplace dans un courant parallèle à l'axe du navire, le jet des filets d'eau de la tuyère avant se trouve déformé dans le sens du courant, et qu'un phénomène de succion se produit s'opposant à la poussée de la tuyère. L'efficacité de celle-ci diminuerait donc en fonction de la vitesse du courant v (la poussée dépendant en fait du rapport v courant (vc))

v jet (vj)

Remarque

Il est fort possible que certaines de ces règles deviennent moins impératives si l'on augmente la puissance électrique, la résistance des mèches et le rendement de l'hélice du « Pleuger », mais elles garderont sans doute encore longtemps leur valeur.

IV. - QUELQUES EXEMPLES A DISCUTER (fig. 9)

Exemple 1

Données du problème : Un navire de 150 m arrive avec un courant de flot de 2 n et doit accoster cap aval, au quai Nord (voir figure 9). La largeur utile de la rivière est de 180 m. Le navire possède « Pleuger » et « Tuyère ».

1. Il faut évidemment compter avec une dérive de l'ordre de 50 mètres à la minute pendant toute la durée de l'évolution.

2. Se présenter au milieu de la rivière à très faible vitesse compte tenu du courant et lorsque le milieu du navire passe à la hauteur du coin E, le plus avantageux est alors de faire dans l'ordre :

3. A gauche toute la barre et avant sur le « Pleuger ».

4. A gauche sur la tuyère avant et de continuer jusqu'à ce que le navire se présente avec une pointe correcte par rapport au quai.

5. On peut alors, sans changer l'allure du gouvernail actif, diminuer l'angle de barre, ce qui permet de faire apparaître une composante dans le sens de l'axe du navire et de ralentir la dérive. La tuyère de l'avant est utilisée pour rectifier les abattées, pendant que le navire se rapproche du quai.

6. Si le courant est trop fort, on peut terminer la manœuvre d'une manière classique en utilisant la machine principale et des angles de barre inférieurs à 35° , la tuyère avant pouvant être en service jusqu'au dernier moment pour rectifier la position du navire par rapport au quai.

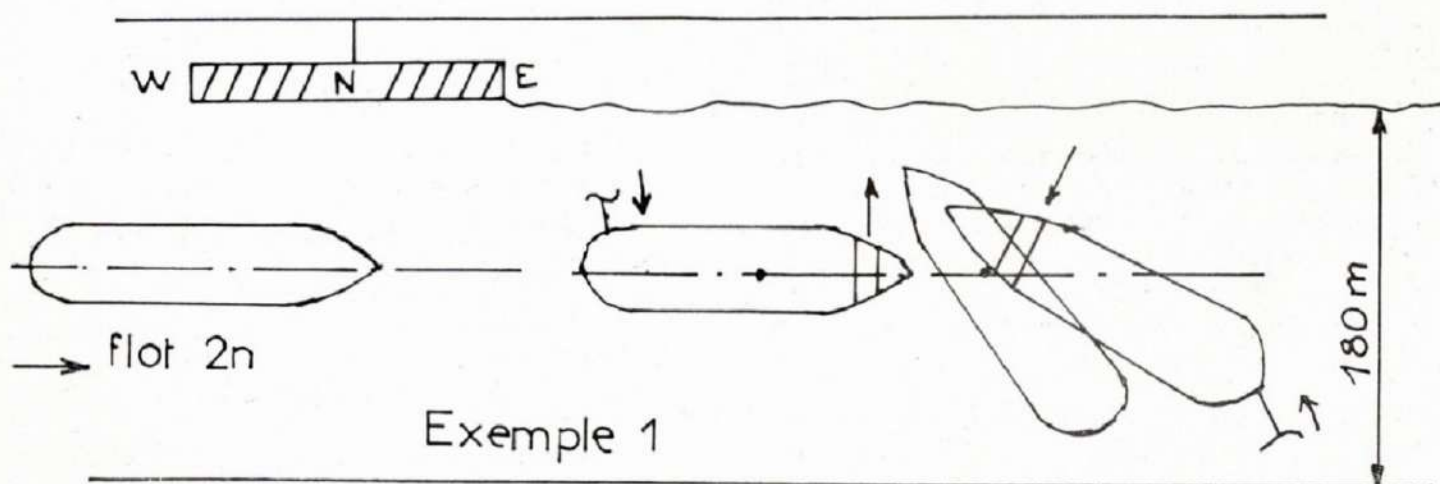


Fig. 9

Remarque

On aurait pu faire aussi,

1. A droite toute et arrière sur le « Pleuger ».

2. A gauche sur la tuyère avant.

Mais alors le rendement de l'hélice de « Pleuger » aurait été moins bon, il aurait fallu inverser son sens de rotation en fin d'évolution et de toute façon l'évitage aurait été plus long ($> 180^\circ$).

La manœuvre proposée plus haut est donc bien meilleure.

Exemple 2

Données du problème: Un navire babord à quai, ancre tribord à l'eau, un maillon (voir fig. 10), doit faire route par la passe P cap au N et gagner le large.

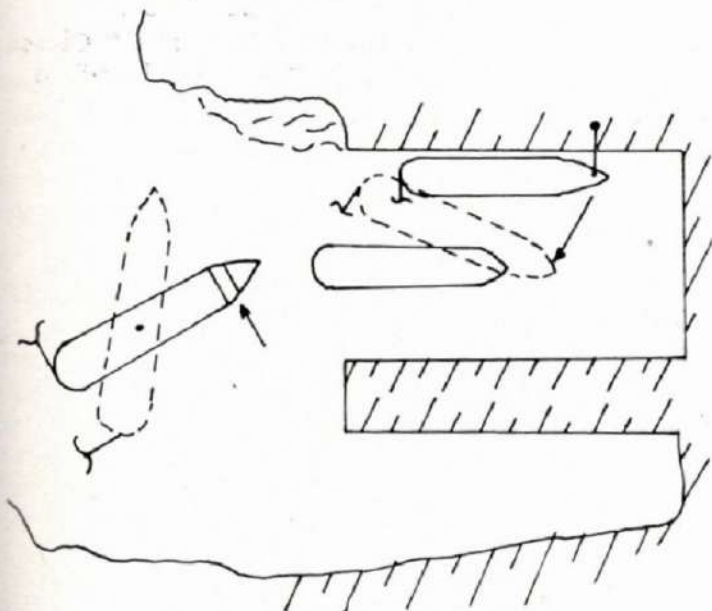


Fig. 10

Manœuvre possible :

Le temps est supposé très beau. Il n'y a pas de vent.

1. Lorsque l'ancre A est rentrée et le traversier avant largué, le navire n'est plus parallèle au quai.

2. Mettre la barre toute à droite et en arrière sur le « Pleuger », jusqu'à ce que le navire soit parallèle au quai.

3. A ce moment diminuer l'angle de barre jusqu'à une valeur inférieure à 35° et s'aider, le cas échéant, de la machine principale mise en arrière lente.

4. Lorsque le navire se trouve en bonne position pour éviter, on peut stopper la machine principale, mettre la barre toute à gauche, faire en avant sur le « Pleuger », à gauche sur la tuyère AV.

5. On diminue l'angle de barre lorsque le navire se rapproche de l'axe de sortie ce qui fait apparaître une composante dans le sens de la sortie.

6. La barre étant revenue à un angle inférieur à 35° on achève la manœuvre d'une manière classique, avec la machine principale.

En réalité, les manœuvres qui sont effectuées à Tamatave, sur un plan d'eau comparable à celui de l'exemple ci-dessus, se compliquent un peu du fait que les vents sont rarement nuls mais au contraire presque toujours assez forts.

Exemple 3

Entrée à la « Pointe des galets » (fig. 11)

Les manœuvres sont rendues difficiles par le fait qu'un courant, soit nord, soit sud, agit à peu près perpendiculairement à l'axe d'entrée du port au 102.5, que la distance entre l'entrée et le fond du goulet n'est que de 600 m et que le rayon d'évitage dans la partie la meilleure du bassin n'est que de 200 mètres.

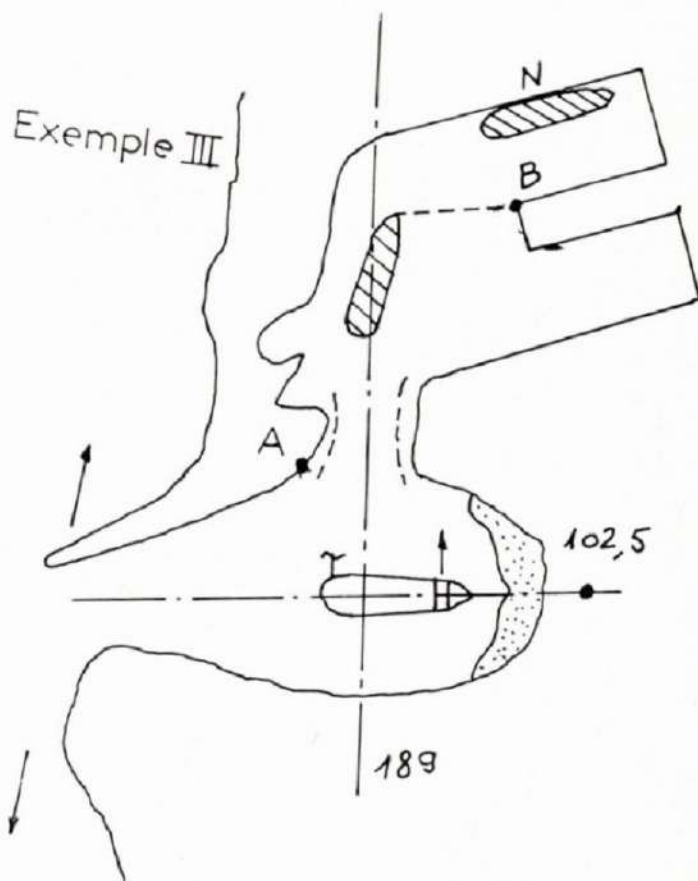


Fig. 11

Avec un navire ordinaire, on est amené à se présenter dans la passe avec une vitesse relativement importante pour tenir compte du courant traversier et à envoyer rapidement une aussière sur un bollard A, par babord (il faut toujours faire

ajut, compte tenu de la distance que doit parcourir le navire avant de stopper). Pour stopper, on est évidemment amené à battre en arrière toute, ce qui a pour effet de faire tomber le navire sur tribord (pas de l'hélice à droite) c'est-à-dire du côté opposé à l'entrée du pertuis.

Avec un navire muni d'un gouvernail actif et d'une tuyère, c'est la tuyère avant qui joue un rôle prépondérant, en permettant de faire venir le navire sur babord malgré l'effet du pas de l'hélice ; il suffit de faire à gauche sur la tuyère.

Puis, lorsque le navire est stoppé sans erre, on peut mettre la barre toute à gauche et en avant sur le « Pleuger » pour terminer l'évitage et se présenter cap au 9 dans l'axe du pertuis.

Pour aller au quai N, un deuxième évitage, symétrique du premier, est encore nécessaire, mais s'effectue, par beau temps, sans difficulté. L'utilisation de la tuyère et du « Pleuger » permet d'éviter la manœuvre qui serait faite à l'aide d'une aussière capelée sur le coin B.

V. - CONCLUSION

Pour simplifier, l'auteur a cru bon de n'envisager que des manœuvres théoriques simples, sans vent. Il serait heureux, le cas échéant, de recevoir l'avis de Capitaines ou de Pilotes ayant pratiqué le « Pleuger » et la tuyère dans des conditions moins favorables. Leurs suggestions seront très appréciées et permettront d'enrichir les connaissances de ceux qui se destinent aux commandements des navires à haute technicité.

Références :

- Notices d'installation et d'entretien « Pleuger ».
- Chantiers de Normandie (démontage et remontage d'une installation « Pleuger »).
- Commandant du « Ville du Havre ».
- Documentation NOCHAP.

M. CALBOURDIN,
Professeur en Chef de 2^{me} Classe
de l'Enseignement Maritime

LES AÉROGLISSEURS MARINS

(Conférence faite à l'E.N.M.M. du Havre le 27 janvier 1966)

Monsieur le Directeur, Messieurs,

Il y a deux ans environ, j'avais l'honneur de présenter, à l'Association des Officiers de Réserve de l'Armée de Mer à Paris, une conférence sur le « Terraplane », véhicule à coussins d'air. J'étais gêné de parler à des marins d'un véhicule dont le nom « Terraplane » indiquait bien la vocation essentiellement terrestre. Afin de me faire pardonner, j'avais indiqué pour finir les perspectives marines de ces véhicules ; ce qui n'était alors que perspectives devient réalité.

En effet, depuis lors, un appareil dérivé du « Terraplane » a fait ses essais sur l'eau. Au cours de ceux-ci (il y a environ trois semaines) il a atteint la vitesse de 75 km/heure, et je pense que d'ici peu il dépassera le cap des 100 km/heure. Un autre appareil plus important, pouvant transporter 800 passagers à 150 km/heure, est en projet. On peut donc dire que les perspectives évoquées il y a deux ans ont été largement dépassées.

Avant de parler en détail des applications marines, je voudrais rappeler ce que sont les véhicules à coussins d'air en général et préciser d'abord un point d'histoire. Depuis fort longtemps déjà, on a cherché à augmenter la vitesse des bateaux en introduisant entre le fond de la coque et la surface de l'eau une pellicule d'air qui diminuerait le frottement. Au XIX^{ème} siècle il y eut de nombreuses recherches et des brevets furent déposés dans ce sens-là ; une des premières réalisations qui ait réussi a été faite en Autriche en 1917 par Thomamhul : il a atteint des vitesses de 70 km/heure avec un bateau dans lequel de l'air, fourni par un ventilateur, était injecté sous la coque, à l'avant, et formait une pellicule entre la coque et l'eau. L'idée n'est donc pas nouvelle : on trouve déjà là le souci de diminuer le frottement en remplaçant le contact entre coque et eau par des contacts coque-air et air-eau. La figure 1 montre la configuration de ce bateau propulsé par une hélice marine dont le but était de réaliser un torpilleur à grande vitesse.

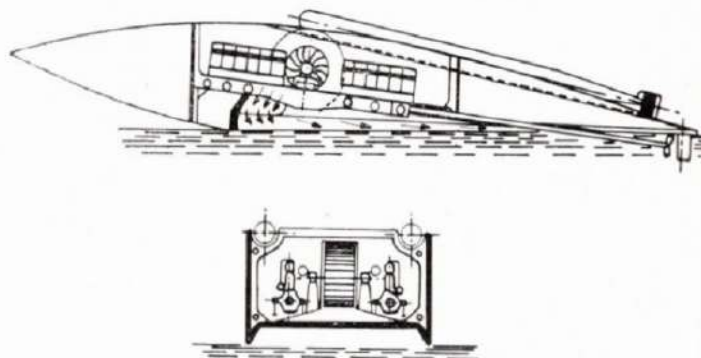


Fig. 1

Si l'idée ne s'est pas développée davantage, c'est que la technique ne pouvait pas suivre. Les ventilateurs étaient volumineux, lourds, les moteurs encombrants ; or il faut de gros débits d'air, donc de grandes puissances, pour avoir de bons résultats.

Dans un autre domaine, le train à coussins d'air a un ancêtre à coussins d'eau qui a été réalisé à l'Exposition de Paris de 1889, sur l'esplanade des Invalides, et qui circulait sur une petite voie de 1,5 km de long environ. Ce train n'avait pas de roues et les wagons étaient sustentés par des jets d'eau qui sortaient de biais, inclinés dans le sens de la marche ; ces jets d'eau sustentaient les wagons et les poussaient en avant. Le train comportait plusieurs wagons : le premier ouvrait les robinets et le dernier les fermait. Mais il n'y a pas eu de suite pour des raisons techniques : conduite d'eau importante sous toute la longueur de la ligne, pertes de charges dans les tuyaux, consommation d'eau énorme.

VEHICULES A COUSSINS D'AIR

Ils sont apparus vers 1955-1960 : en Suisse, Weiland, a fait des aéroglisseurs expérimentaux ; mais le premier appareil vraiment réussi a été celui de Westland en Angleterre, le SRN1 (fig. 2). Cet appareil est muni d'un gros ventilateur dont le débit forme un coussin d'air qui le sustente. Un gouvernail permet de le diriger.

La figure 3 montre un aéroglisseur de la même famille, le SRN2, dont le poids atteint 27 tonnes :

il comporte deux ventilateurs, la propulsion se fait par deux hélices, chacun des groupes étant entraîné par un moteur de 1.000 CV.

Le « Terraplane BC 4 » de la Société Bertin (fig. 4) est d'une technique différente : il comporte huit coussins d'air au lieu d'un seul. Chacun de ces coussins est alimenté par de l'air fourni par un réacteur ; la fourniture de cet air est d'ailleurs une question de technologie indépendante du principe de l'appareil : on peut employer des ventilateurs, ou, comme ici, utiliser les gaz d'un réacteur pour alimenter des trompes.

Il y a deux types de coussins d'air :

a) Le dispositif à cloche (fig. 5) : le coussin a la forme d'un cylindre ouvert à sa base, l'air

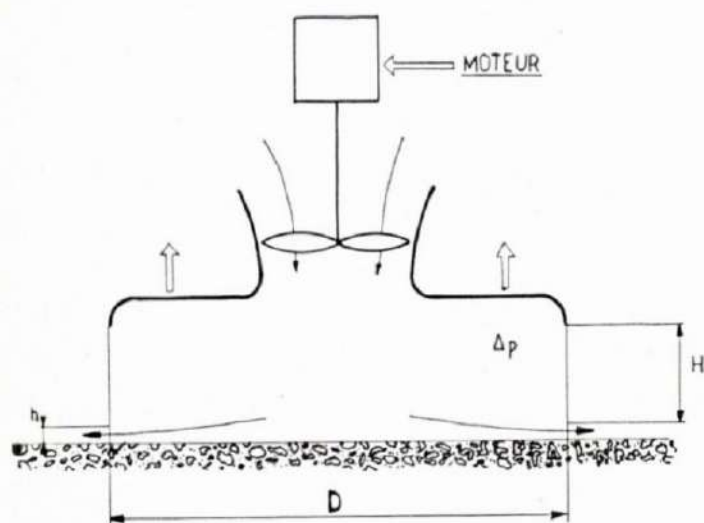


Fig. 5

Principe d'un coussin d'air à cloche

arrive par en haut, se trouve sous pression dans la cloche et s'échappe par l'intervalle laissé libre entre le bas des parois et le sol. Cette pression engendre une sustentation. Il faut, évidemment, renouveler constamment l'air qui s'échappe par l'intervalle de fuite, au moyen d'un générateur approprié (compresseur à basse pression).

b) Le modèle à jet périphérique (fig. 6) : ce dispositif comporte une plate-forme circulaire, à la périphérie de laquelle une fente distribue un jet d'air qui entoure l'appareil ; ce jet d'air ne peut s'échapper qu'à l'extérieur avec une certaine courbure. Il y a donc du fait de celle-ci une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur : il en résulte une surpression dans le coussin lui-même ; ce jet d'air fonctionne comme un rideau qui maintient une pression à l'intérieur. C'est sur ce modèle que sont faits les appareils anglais (SRN 1-2-3-5). Les appareils américains et russes sont également de ce genre. Les appareils français sont tous du premier type ainsi qu'un appareil américain.

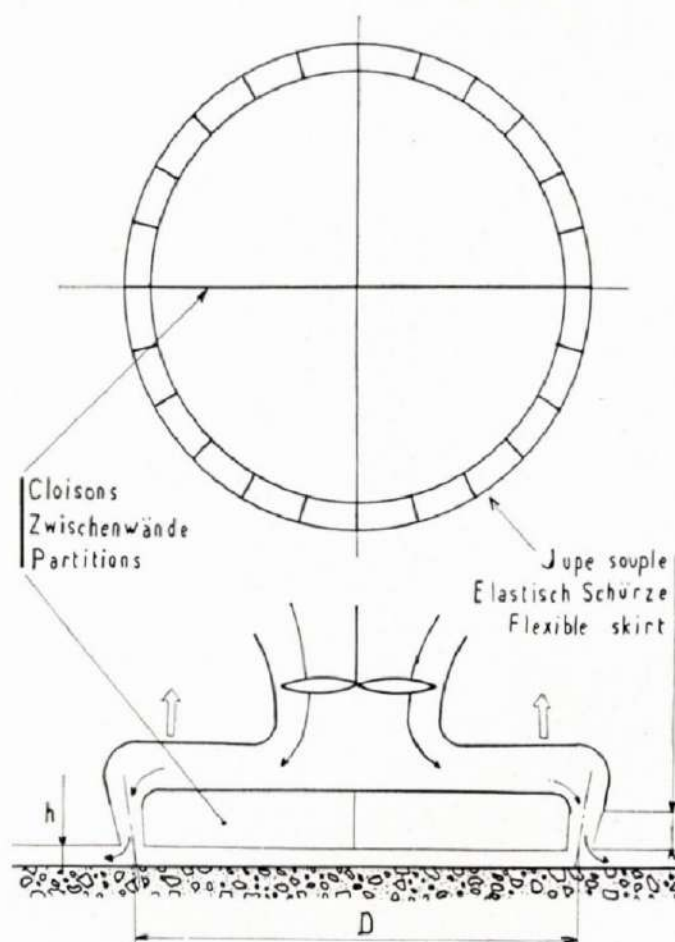


Fig. 6

TECHNIQUE

Pour situer les aéroglisseurs dans les moyens de transport il faut connaître un peu les conditions de fonctionnement. Puisqu'un certain débit d'air est fourni sous pression, le simple fait de sustenter l'appareil va coûter de la puissance qu'il est d'ailleurs facile de chiffrer. Appelons cette puissance P . Dans le système M Kp S on aura :

$$P = Q \Delta p$$

Q = débit volume

$p - p_a = \Delta p$ = différence de pression entre le coussin et l'atmosphère.

Le débit est proportionnel à l'intervalle de fuite, h , au périmètre, l , à la vitesse de fuite, V_f , fuite h , au périmètre l , à la vitesse de fuite V_f

$$Q = a h l V_f$$

$$\text{d'où } P = a h l V_f \Delta p$$

Par conséquent, il faudra d'autant plus de puissance que l'appareil volera loin du sol, ce qui est à priori intuitif. Si le sol était parfaitement uni, cet intervalle pourrait être réduit à une fraction de millimètre. Le sol étant toujours irrégulier, il faut que h soit supérieur aux obstacles les plus grands que l'on envisage de franchir. D'autre part, Δp dépend de la taille de la plate-forme, c'est

le rapport entre le poids sustenté (ou la force portante F_z) et la surface portante ; or :

$$\Delta p = \frac{F_z}{S} \text{ ou } F_z = S \Delta p$$

S étant la surface portante, on a s'il s'agit d'un cercle :

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\text{d'où } F_z = \Delta p \frac{\pi D^2}{4}$$

comme $l = \pi D$, la puissance W s'écrira :

$$P = \frac{4 F_z}{\pi D^2} \times \pi D \times \alpha h V_f$$

Et la puissance spécifique sera :

$$\frac{P}{F_z} = 4 \alpha \frac{h}{D} V_f$$

Ces engins sont d'autant plus rentables qu'ils sont plus grands. Comme h est imposé par la hauteur des obstacles, il faut que D soit grand. Or, on ne peut utiliser de grands appareils que si on dispose de grands espaces : les Anglais ont fait essentiellement des engins marins. Sur terre on est limité par le gabarit routier et, en dehors des routes, il ne reste que les déserts et les marécages, c'est-à-dire qu'il y a peu de perspectives d'utilisation à terre.

Mais on a trouvé un remède : c'est la technique de la jupe souple. Imaginons que les parois au lieu d'être métalliques soient en tissus. En leur donnant une forme un peu conique la simple pression les maintient tendues. Mais si un tel engin rencontre un obstacle plus haut que h , la jupe se déforme sur l'obstacle, à condition de ne pas l'accrocher, ce qui est une question de technologie. En pratique h est de l'ordre de 2 à 5 cm et les hauteurs de jupe de 60 cm à 80 cm. On peut passer des obstacles de l'ordre de 80 cm. On obtient ainsi de bons rapports :

$$\frac{h}{D} = \frac{0,75}{3} = \frac{1}{4} = 0,02$$

$$\text{au lieu de } \frac{h}{D} = 0,0067$$

La technique de la jupe souple a changé le problème des appareils terrestres et permis leur réalisation.

La courbe de la figure 7 illustre ce qui précède : un générateur d'air a une pression d'autant plus grande que le débit est plus petit. Quand $\frac{h}{D}$ diminue,

la pression fournie croît, donc la pression sustentatrice augmente. C'est ce qui détermine la stabilité des coussins d'air.

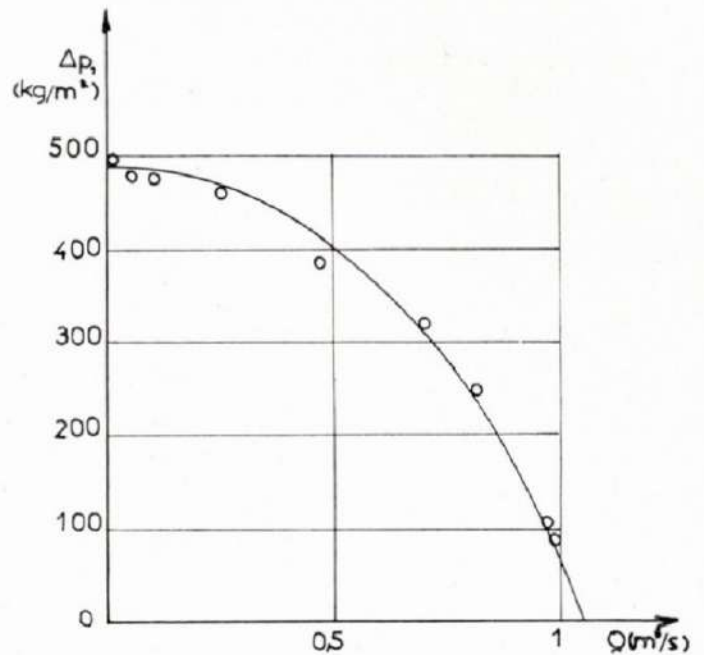


Fig. 7

Caractéristiques du compresseur

— courbe théorique donnée par l'expression analytique : $\Delta p_i = 480 - 422 Q^{2,6}$
 o points expérimentaux

Cette courbe traduit la stabilité en altitude d'un coussin d'air unique : si h diminue, la pression augmente et l'altitude se rétablit. C'est ce qui se passe s'il y a un obstacle, l'appareil le franchit.

S'il y a plusieurs coussins, on obtient de plus une stabilité en tangage et en roulis : j'emploie ces mots pour des véhicules terrestres car ils ont une certaine possibilité d'oscillation donnée par les variations de h .

Ceci permet de voir les possibilités d'emploi des aéroglisseurs et leur place dans le système des transports. Il ne faut pas croire que ce soient des véhicules à tout faire. Ils ne peuvent remplacer ni le camion sur les routes ni le navire sur l'eau pour la raison évidente que le simple fait de la sustentation coûte cher, alors que l'automobile et le navire ne consomment rien quand ils n'avancent pas.

Par contre, ce sont des appareils sans contact avec le sol, donc qui peuvent aller vite puisqu'il n'y a pas de frottement ; mais cet avantage est payé d'un prix assez lourd car il n'y a pas de guidage ; c'est un appareil comparable à une auto sur la glace ; il n'y a pas de stabilité de route. Il faut donc fournir le contrôle de la direction et la propulsion par des moyens annexes. Le coussin d'air est là seulement pour la sustentation ; ce n'est ni un moyen de propulsion, ni un moyen de guidage.

Il faut qu'un système annexe assure le rôle de la roue, ce qui crée une complication et limite l'emploi au cas où les transports habituels ne conviennent pas, c'est-à-dire là où ni les camions ni les bateaux ne peuvent servir : sur les marécages, les terrains inconsistants, et si l'on veut réaliser de grandes vitesses sur l'eau. Les pressions qui règnent dans les coussins sont de 10 à 20 g par cm^2 (50 g au maximum), celle d'un pneu étant de 1,2 à 1,5 kg/cm^2 , on peut donc se déplacer aisément sur des terrains inconsistants. Enfin, ce nouveau moyen de transport serait particulièrement avantageux dans les pays neufs à réseau routier inexistant.

Abordons le cas des grandes vitesses. Sur terre, on a atteint 800 km/h en automobile avec des engins tout à fait inutilisables couramment. Examinons le problème des roues ; il en existe deux types : les métalliques et celles montées sur caoutchouc. Pour ces dernières, les efforts centrifuges sont tels que plus la vitesse augmente plus les pneus sont minces. Pour les grandes vitesses, l'épaisseur est de l'ordre du millimètre, ce qui ne permet pas de faire beaucoup de kilomètres. De plus, les problèmes de suspension sont pratiquement inabornables. Sur pneu, on peut actuellement faire 150 km/h, au-delà les pneus s'usent très vite. Les chemins de fer ont réalisé des vitesses de 330 km/h il y a déjà dix ou douze ans. Cela a simplement prouvé qu'il n'y avait pas d'impossibilité technique ; mais, par contre, il y a des impossibilités économiques. La meilleure preuve en est qu'ayant réalisé cela il y a plus de dix ans les trains en sont toujours à plafonner à 150 km/h. Au Japon, on a réalisé une voie où on espère atteindre 200 km/heure ; cette voie a coûté extrêmement cher : il a fallu faire une infrastructure spéciale et très robuste ; ceci est facile à comprendre car les efforts dus aux défauts de la voie croissent comme le carré de la vitesse : une irrégularité de 1 mm sur une longueur de 10 cm engendre une accélération de l'ordre de 70 g (1) ; autrement dit, les passagers seraient morts s'il n'y avait pas de suspension : c'est elle qui prend tout le choc et c'est pour cela qu'elle dure peu. Il faut donc des voies parfaites qui coûtent cher à établir et à entretenir. Le problème de la suspension est un problème très complexe ; dans un véhicule la suspension est peut-être la chose la plus difficile à réussir. En effet, celle-ci est d'autant meilleure que le rapport masse suspendue (c'est-à-dire la caisse) à la masse non suspendue (la roue) est élevé. Avec le coussin d'air, la partie non suspendue est l'air du coussin qui n'a pratiquement pas de masse ; c'est donc une suspension idéale qui fournit aussi un excellent amortissement.

La suspension sur coussins d'air possède donc les qualités qui doivent permettre de grandes vitesses, même avec une voie qui n'est pas parfaite. En effet, les défauts de la voie inférieure à l'intervalle de fuite sont pratiquement sans effet. Avec les véhicules que nous avons réalisés, nous sommes passés sur des obstacles de l'ordre de 50 cm de haut sans que pratiquement le véhicule ne ressente quoi que ce soit.

Un autre avantage des véhicules à coussins d'air est que la sustentation est répartie sur tout le fond du véhicule. Comme la charge en général est répartie sur le plancher, ceci permet d'avoir des structures très légères, puisqu'il n'y a pas de concentration d'effort comme dans les véhicules classiques : sur un camion, les points d'attache des roues sur le châssis sont des points où tout le poids du véhicule est concentré, il faut donc calculer la structure des poutres en fonction de cette répartition des efforts. Avec les engins à coussins d'air, l'engin est soutenu sur toute sa surface et on peut avoir des structures très légères.

PRINCIPE DU « TERRAPLANE »

Nous avons choisi le coussin à cloche parce qu'il possède la technologie la plus simple et parce que c'était le seul qui permettait l'emploi de jupes souples ; de plus, nous avons fait une plate-forme qui comportait huit coussins, de telle façon que l'on puisse passer sur des obstacles : si un de ces

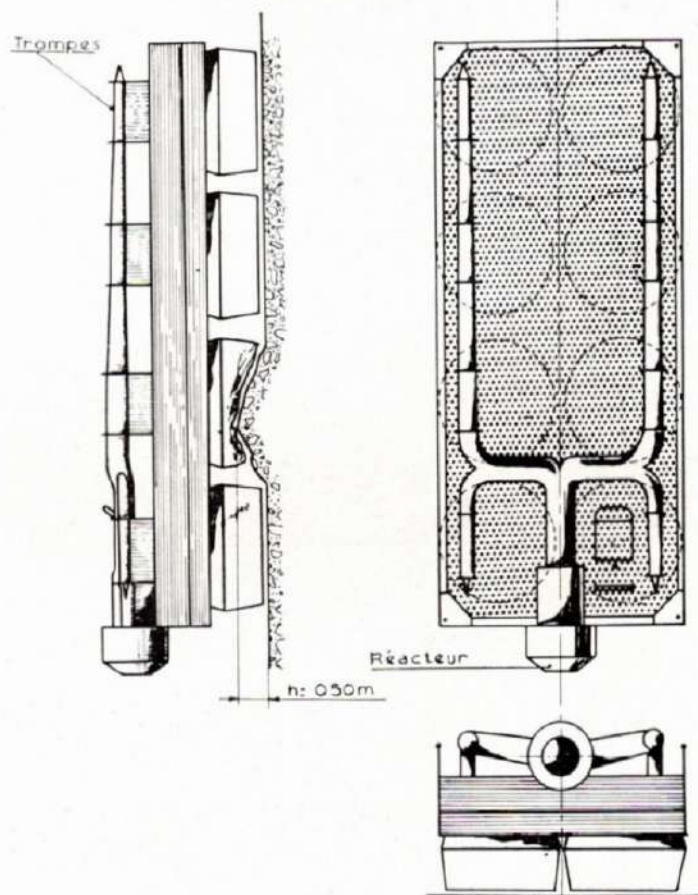


Fig. 8
Plate-forme à trompe

(1) 70 fois l'accélération de la pesanteur.

APPAREILS SUR COUSSINS D'AIR

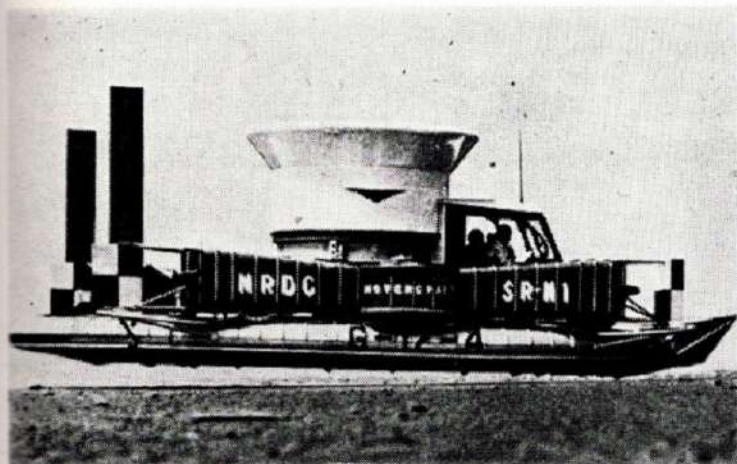


Fig. 2
Le SRN 1

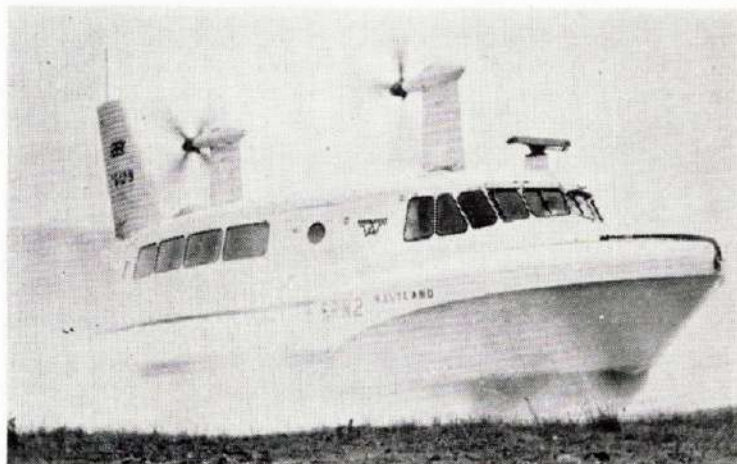


Fig. 3
Le SRN 2

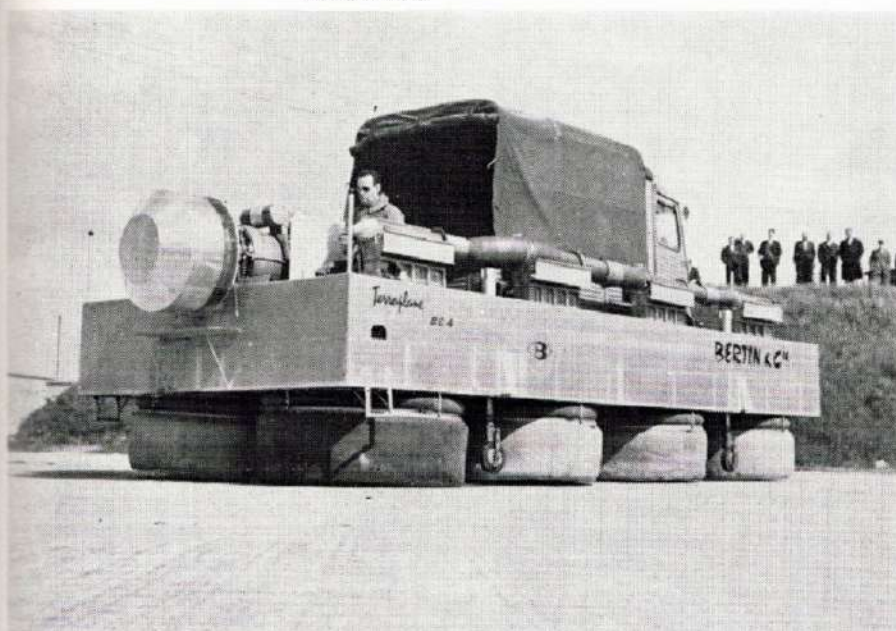


Fig. 4
Terraplane BC 4



Fig. 10
Essai de franchissement d'obstacles



Fig. 15
Terraplane BC 8

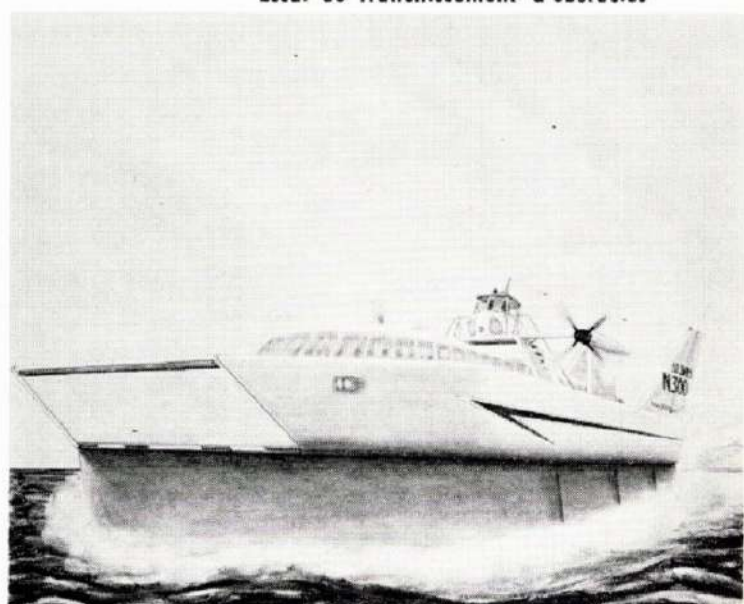


Fig. 16
Maquette du N 300

coussins se trouve sur un obstacle (trou, fossé), la surpression dans ce coussin disparaît, mais le poids du véhicule est reporté sur les autres, grâce au phénomène indiqué précédemment sur la stabilité en altitude. Il en est de même s'il y a une inclinaison sur un côté ; les coussins situés de ce côté voient leur pression augmenter et il naît de ce fait même un couple de rappel qui rétablit le véhicule dans son assiette. On a donc pu faire un véhicule qui avait une très grande stabilité au roulis et au tangage.

La figure 8 montre le schéma du « Terraplane » : chacun des huit coussins a une alimentation indépendante.

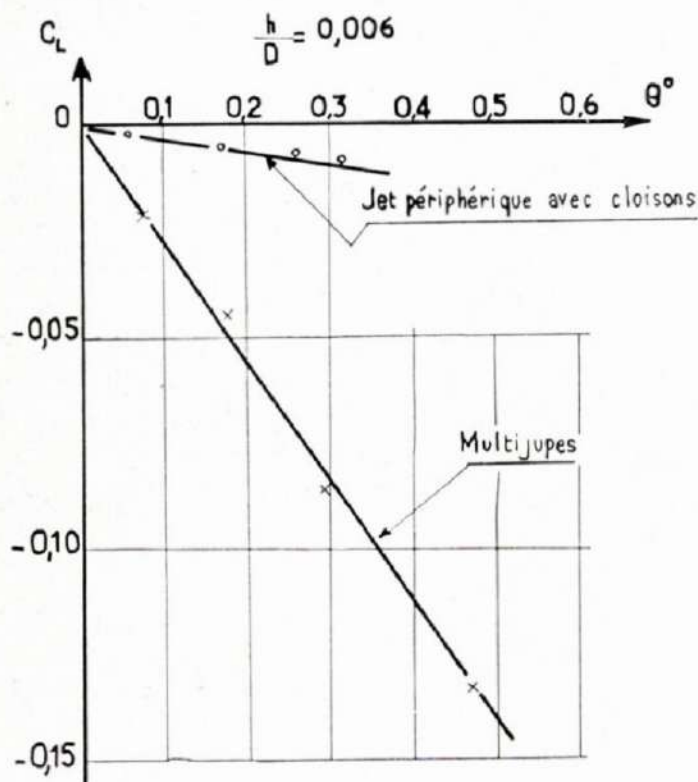


Fig. 9
Stabilité Angulaire

La figure 9 traduit en courbes la stabilité des appareils à cloche et celle des appareils à jet périphérique ; on a porté ici les couples de rappel en fonction de l'inclinaison. On voit que les couples de rappel sont à peu près cinq fois plus grands avec notre appareil.

La figure 10 montre l'aptitude à passer des obstacles : la maquette comporte six jupes souples. La première jupe est soulevée par l'obstacle, elle se déforme très facilement. Pendant tout le passage de l'obstacle, l'assiette de l'appareil n'a pas bougé. Cette vue est un peu à l'origine des aéroglisseurs marins : la vague peut être considérée comme quelque chose de solide qu'il s'agit de franchir.

Le navire qui rencontre des vagues les écarte ou les aplatit avec son étrave et se fraie un chemin

au milieu de l'eau. Pour l'aéroglisseur, la vague est indéformable. La partie inférieure du véhicule va jouer comme une suspension souple et va épouser la surface ou le contour de l'eau.

Les appareils terrestres que nous avons étudié ont une suspension à coussin d'air et un guidage par roues : une roue à l'avant, et une autre à l'arrière, complètement relevables ; elles ne servent pas à la sustentation, elles sont portées par un vérin à pression constante, la roue arrière est propulsive.

L'aérotrain est un véhicule à grande vitesse sustenté par coussin d'air sur une partie horizontale de rail et guidé par coussins d'air disposés de chaque côté d'une arête centrale verticale. Tous ces coussins sont alimentés d'une façon indépendante, cet appareil doit atteindre 400 km/h.

VEHICULES MARINS

Au début, nous nous cantonnions dans le domaine terrestre, jugeant que sur mer la place était prise par les aéroglisseurs anglais. Puis constatant que nos appareils à jupes souples pouvaient passer des obstacles, donc des vagues, et que, d'autre part, les Anglais éprouvaient sur mer quelques difficultés, qui les conduisirent à adopter des jupes souples, nous avons nous aussi étudié des aéroglisseurs marins.

De nombreux essais ont été effectués au Bassin des Carènes pour mesurer la résistance de l'appareil, la tenue des jupes sur l'eau et déterminer la traînée hydrodynamique, ceci avec l'aide du Ministère de la Marine Marchande. On a pu extrapoler les vitesses que l'on pourrait atteindre et il est apparu que le dispositif à jupes souples multiples est préférable au dispositif anglais à jupe unique.

La première maquette, très sommaire, est un simple plateau en contreplaqué avec huit jupes alimentées par huit ventilateurs. Les jupes sont accrochées sur huit cercles disposés sous le plateau.

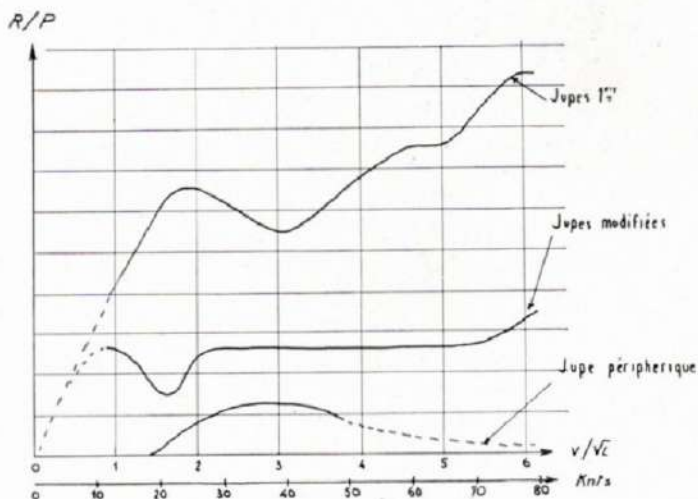


Fig. 11

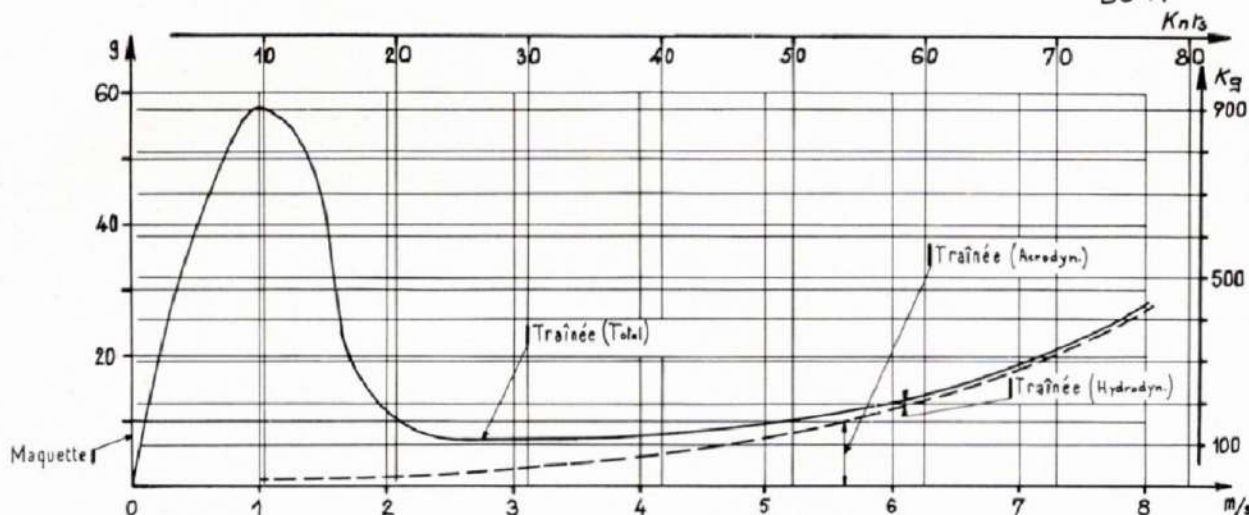


Fig. 12

Trainée d'une jupe en eau calme

Les courbes de la figure 11 donnent la trainée totale rapportée au poids, c'est-à-dire la résistance par tonne, en fonction de la vitesse divisée par la racine carrée de la longueur. Il apparaît une bosse de trainée vers 20 nœuds puis une diminution, après laquelle la trainée augmente de nouveau. Des modifications de jupes ont permis de réduire beaucoup cette trainée. Enfin, on a muni la maquette d'une jupe périphérique qui entoure toutes les autres ; grâce à cette jupe périphérique, on a les avantages de la jupe unique (diminution de trainée et augmentation de surface). La réduction de trainée est assez spectaculaire puisqu'ici elle tend vers zéro.

La trainée d'un engin à coussin d'air sur l'eau a plusieurs causes :

- il y a d'abord la trainée aérodynamique due à la résistance de l'air sur la partie du véhicule dépassant le niveau de l'eau ;

- la trainée de résistance de vagues est liée à l'existence d'une vague qui se forme devant l'appareil ; il existe donc une trainée d'onde comme pour un bateau ;

- il existe enfin une autre trainée : c'est la trainée de captation, qui est égale au débit de quantité de mouvement de l'air de sustentation. Celle-ci est due à la sustentation ; le fait que l'appareil prenne une quantité d'air dans l'atmosphère pour alimenter les coussins et lui communiquer sa vitesse en est la cause.

La trainée hydrodynamique est très importante tant que l'appareil s'enfonce dans l'eau : les jupes trempent dans l'eau, et la résistance due à la partie immergée est grande à cause de la forme de ces jupes circulaires. Mais, ensuite, elle diminue beaucoup car quand l'engin est à grande vitesse les choses se passent différemment : l'eau tend à se comporter à l'égard des jupes comme un solide,

ce qui se comprend facilement. Supposons que l'on ait un premier coussin sous une pression Δp : cette pression s'exerce sur le fond du véhicule mais aussi sur l'eau ; les particules d'eau qui sont sous ce coussin sont soumises à cette pression, elles ont donc une accélération vers le bas. Quand le deuxième coussin va lui succéder et ainsi de suite, il va se trouver sur une surface d'eau déjà abaissée par le premier coussin.

Le véhicule est en permanence dans la situation d'un engin qui monte une pente car, à sa partie avant, l'eau est au niveau normal. Pratiquement, quand la vitesse atteint 30 km/h l'engin ne touche plus l'eau ; il reste au-dessus de la surface qui prend une légère inclinaison, à peine visible du reste. Il n'y a donc plus de trainée de frottement mais seulement une trainée induite due au fait que l'appareil déforme la surface de l'eau, et cela doit se payer par une dépense d'énergie, d'ailleurs très faible.

La figure 12 donne le détail de la répartition des trainées : la trainée globale et les trainées aérodynamique et de captation. On voit que quand la vitesse augmente, la trainée hydrodynamique devient très faible : le véhicule se déplace donc pratiquement sans résistance autre que la trainée aérodynamique et de captation.

Cela est vrai en eau calme ; pour les vagues, les contacts accidentels des jupes avec l'eau engendrent une trainée de frottement. Les jupes se déforment et une partie du tissu traîne sur l'eau ; ce n'est qu'une trainée de frottement car le tissu ne pénètre pas dans l'eau et reste à la surface. Signalons que la sustentation du véhicule n'est pas altérée parce que le coussin reçoit de l'air en permanence ; la pression se maintient dans le coussin quelle que soit la forme du bas de la jupe.

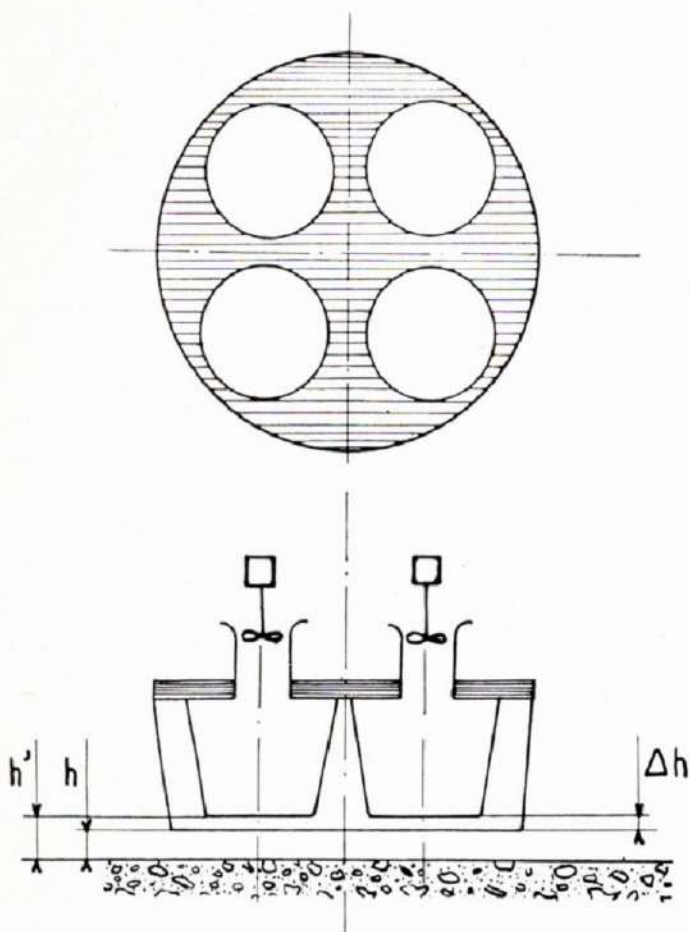


Fig. 13

Plate-forme avec jupe périphérique

La figure 13 montre le dispositif à jupe périphérique. Le fait d'avoir fractionné la surface en quatre ou huit coussins avait pour conséquence que toute la surface n'était pas utilisée et que l'on

avait un grand périmètre de fuite. Pour compenser cela, on a entouré les coussins d'une jupe périphérique ; ceci permet d'utiliser toute la surface, de diminuer le périmètre, et de plus l'air sous pression dans les coussins intérieurs subit une première perte de charge sous la première jupe et une deuxième perte sous la deuxième jupe, si bien que pour une différence de pression entre l'atmosphère et l'intérieur donnée, le débit est plus faible. En pratique, grâce à cette jupe périphérique, on multiplie l'altitude de vol par 2 ou 3 (ou on divise la puissance de sustentation par 2 ou 3 pour une altitude donnée).

La figure 14 donne les courbes de stabilité. Sans jupe périphérique, les couples de rappel sont très grands. Quand on met une jupe périphérique, on diminue cette stabilité. En effet, cette jupe périphérique tend à transformer le coussin multijupe en coussin à jupe unique, donc on se rapproche du coussin à jupe unique. On règle cette stabilité en agissant sur la différence de longueur entre les jupes internes et la jupe périphérique. Avec la même longueur, la stabilité est divisée presque par deux ; avec des jupes intérieures un peu plus courtes, on diminue la stabilité. Il n'est pas intéressant de diminuer la stabilité, mais comme on diminue aussi la traînée hydrodynamique, il y a un compromis à rechercher que l'on pourra déterminer exactement après des essais sur un prototype expérimental.

La figure 15 montre le dernier appareil réalisé par la Société Bertin, le « Terraplane BC8 ». Il a atteint 75 km/h sur l'eau. Il est soutenu par sept coussins d'air alimentés par un réacteur et des trompes ; mais la propulsion est faite par deux hélices à l'arrière du véhicule. L'avant est une grande plate-forme. Cet appareil est représenté ici

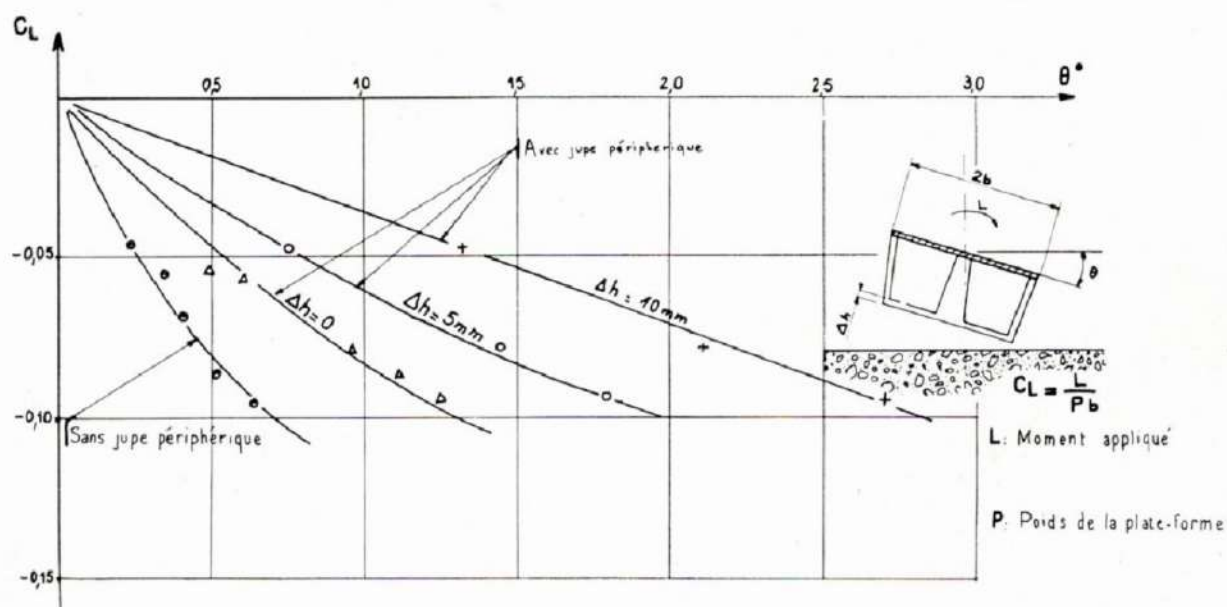


Fig. 14

Maquette du BC 8 (Echelle 1/5)

sans jupe périphérique ; il en sera muni ultérieurement.

La figure 16 montre la maquette de l'appareil étudié en ce moment, le N 300. C'est un appareil de 30 tonnes qui doit transporter une centaine de passagers à 100 km/h.

Nous avons en étude un appareil de 200 tonnes, pour 800 passagers, avec une vitesse de 150 km/h. Cet appareil serait capable de franchir des vagues de 3 à 4 m, avec une réduction de la vitesse à 80 ou 100 km/h.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Les aéroglisseurs marins ne remplaceront pas les bateaux pour le transport des marchandises, ni pour les longues distances (plus de 1.000 km). Ces appareils sont intéressants pour les trajets qui peuvent être effectués en quelques heures, ce qui est possible grâce à leur vitesse. Ils peuvent donc assurer un service rapide de voyageurs. Parmi les applications envisagées, signalons les liaisons à travers la Méditerranée, vers la Corse, et également

à travers la Manche. D'autres applications pourraient être militaires.

Les élèves de cette école ne doivent pas être inquiets du développement de ces navires, car de toutes façons, les sciences enseignées ici feront d'eux des spécialistes désignés pour conduire ces navires, qu'il s'agisse des Officiers mécaniciens ou des Officiers de pont. J'espère donc qu'un jour nous nous retrouverons ensemble, unissant nos efforts pour développer et exploiter les aéroglisseurs marins.

Question : Comment envisagez-vous la manœuvre de ces engins dans des espaces restreints ?

Réponse : Il faudra des moyens annexes. Pour les manœuvres, à faible distance, on peut envisager des moyens marins (gouvernails mobiles, hélices marines). La manœuvre se fera à faible vitesse. A grande vitesse, l'aéroglisseur sera contrôlé comme un avion, par des gouvernes aérodynamiques.

M. GUIENNE,
Ingénieur en Chef
à la Société pour le développement
des Aéroglisseurs Marins.

De leurs mains, ô bon
De leurs mains, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon

Un autre, ô bon
Un autre, ô bon
On y a mis, on y a mis
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon

Un autre, ô bon
Un autre, ô bon
On y a mis, on y a mis
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon

BULLETIN DE LIAISON

des Élèves et Anciens Élèves

Un autre, ô bon
Un autre, ô bon
On y a mis, on y a mis
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon
Vos en cet état
Et les palmiers, ô bon

Yves MONTAUDO

De leurs calmes abris
De leurs rondes tranquilles
Vers un ciel azuré
Et les palmiers gracils,
Tout chargés de leur or
Enivrés de passion,
Ils sont partis encore,
Insoucients, les galions.

☆

Un ancêtre avait dit
Un soir à la veillée :
« On y chante, on y rit
Et la danse endiablée
Le soir sous les étoiles
D'une grâce fragile
Ondulant sous ses voiles
Illumine les Iles
.....
Et fait rêver, nostalgique,
Sous la nuit des tropiques. »

Une voix cependant
S'est élevée du fond,
C'est la voix de l'amant,
C'est la voix du garçon,
C'est le cri de l'époux
Et la plainte du père,
Qui gémit presque fou,
Sur un rocher austère,
.....
Qui gémit torturé,
Aux mains des Boucaniers.

☆

Mais leurs yeux sont si clairs,
Et leurs désirs si grands,
Que pour fuir leurs misères
Et leur laisser leurs tourments,
Tout chargés de leur or,
Oubliant la raison,
Ils sont partis encore,
Insoucients, les galions !...

Yves MEUBRY

Visite à Saclay

La technique, les technocrates sont en marche vers la conquête du monde, gagnant chaque jour un peu plus de place, un peu plus d'importance, rongeant chacune de nos plus vieilles traditions soigneusement dissimulées dans le passé comme des erreurs qui nous feraient honte.

La Marine ne pouvait échapper à ces conquérants après l'invasion barbare de la machine à vapeur, qui, au siècle dernier, massacra les mâts couverts de voiles ; sa soumission à l'électronique et à l'énergie atomique est déjà certaine. Le vieux bastion du traditionalisme n'est plus qu'une muraille lézardée.

L'intrusion de la hute technique à bord des navires ne pouvait pas ne pas entraîner une modification profonde de la nature même des hommes qui les conduisent. L'homme de la mer fait place peu à peu au technicien et déjà sa formation a dû subir de nombreuses métamorphoses.

Depuis 1965 un cours d'Energie Nucléaire est enseigné aux Capitaines au long cours. Cette matière n'est pas au programme de l'examen mais il est permis de penser que, dans un avenir certainement proche, son importance sera considérablement augmentée pour clôturer ce cours. Une visite au Centre d'Etude Nucléaire de Saclay a été organisée. La Science Nucléaire est un peu comme une alchimie moderne. En plus de l'intérêt scientifique d'une telle visite, on ne peut nier une certaine curiosité à pénétrer dans ce qui reste encore un temple du mystère. C'est sans doute ces deux pôles d'attraction qui ont fait se retrouver le Professeur en chef, M. Joly et ses élèves Capitaines au long cours, à la porte de Saclay.

C'est le 18 octobre 1945 que le Général de Gaulle, alors Président du Gouvernement Provisoire, créait le Commissariat à l'Energie Atomique dont Frédéric Joliot-Curie devenait le Haut Commissaire.

Il appartenait à cet organisme de donner à la France les moyens nécessaires à son développement dans la science nouvelle. Pour réaliser ce programme, le C.E.A. entreprit l'installation d'un grand centre d'études nucléaires à Saclay qui devait être construit après celui de Fontenay-aux-Roses, créé dès 1946.

C'est à la fin de l'année 1949 que fut posée la première pierre de ce Centre, situé sur le plateau de Saclay près de la vallée de Chevreuse. Une superficie disponible de plus de 170 hectares a permis la construction de vastes bâtiments entourés de verdure. Moins de trois ans plus tard, en 1952,

les premiers chercheurs venaient s'y installer et commencer leurs travaux.

Saclay est d'abord un Centre d'Etudes et de recherches. C'est un vaste laboratoire équipé d'appareils puissants aux spécialisations aussi diverses que nombreuses. Les services y sont multiples et on ne doit pas oublier, à côté de ceux ayant un rapport direct avec l'énergie nucléaire tels que les services de neutronique, de physique-mathématique, etc, ceux qui concernent plus particulièrement les applications connexes comme la chimie des solides, la radio-métallurgie, la biologie, la radio-pathologie ou la protection contre les radiations.

Parallèlement à ce Centre de recherches, le Commissariat s'est attaché à former des spécialistes indispensables pour poursuivre les recherches et donner à l'industrie nouvelle les cadres dont elle a besoin. Pour atteindre ce but le 18 juin 1956 a été créé l'Institut National des Sciences Techniques Nucléaires (INSTN) chargé d'assurer, en liaison avec les Universités, l'enseignement des sciences et techniques nucléaires.

La porte franchie, le premier service visité fut... celui de la police !!! En effet un contrôle sévère de l'identité de chacun d'entre nous est effectué par les gardes spécialement affectés au Centre et chaque visiteur fut tenu d'agrafer à son veston un petit carton portant un numéro. Tout le personnel est d'ailleurs soumis à pareil contrôle à chaque entrée et sortie. Ces formalités terminées nous sommes invités à monter dans nos autocars, flanqués de deux gardes, (un dans chacun d'eux), qui ne nous quitteront plus d'une semelle pendant toute la visite du Centre.

Tous nos déplacements s'effectueront de cette manière, la disposition horizontale et l'importance de sa superficie ayant permis une grande dispersion de chaque département. Ce moyen de transport évitera une trop grande perte de temps.

La première étape nous propose la projection d'un film, dans une salle de cinéma faisant également fonction de salle de conférence et disposant notamment de casques d'écoute de traducteurs pour les auditeurs étrangers. Ce film nous présente le Centre de Saclay, sa structure, son équipement, ses réalisations. Il permettra de mieux situer, lors de la visite, les différents départements rencontrés.

Après cet exposé du programme de la journée, la visite proprement dite commence par le département d'électronique. Ce n'est pas un des objectifs du CEN, c'est un service connexe mais indispen-

sable aux réalisations nucléaires. Sa raison d'être est de procurer à tous les chercheurs du Centre les appareils électroniques, les montages spéciaux nécessaires au fonctionnement des autres services. La recherche n'est pas pour autant absente de ce laboratoire puisqu'il s'agit justement de créer tous les appareils que l'industrie ne peut fournir.

Un des ingénieurs attaché à ce service nous explique précisément tous les problèmes qui se posent à ce laboratoire, mettant l'accent sur l'un des plus importants de toute l'énergie atomique : le comptage des impulsions.

Nous avons pu toucher du doigt, dans ce domaine, les progrès considérables de l'électronique pendant ces dernières années par l'examen de trois types de compteurs d'impulsions successivement à tubes, à transistors et à circuits intégrés, ce dernier beaucoup plus petit que ses prédécesseurs et possédant des performances infiniment plus grandes.

Au département électronique devait succéder le laboratoire de chimie des radio-éléments. Là encore nous sommes accueillis par un ingénieur de ce service qui nous commente les buts et les réalisations de ce laboratoire. C'est ici que nous furent présentés les premiers télémanipulateurs que nous ayons vus. Derrière une vitre, de près d'un mètre d'épaisseur, encastrée dans une paroi de béton et de plomb, l'expérimentateur effectue à distance, grâce à ces étonnants appareils, toutes les opérations que réclame la chimie. Dans ce même laboratoire d'autres produits, moins radioactifs, sont manipulés dans des cages de plastique où l'on a réalisé un vide partiel. Toutes les difficultés des manipulations des produits radioactifs sont mises ici en évidence et on se rend mieux compte des problèmes posés à la technologie lorsqu'il s'agit d'appliquer en pratique les découvertes des théoriciens. La visite de ce secteur devait terminer la matinée et on nous conduisit, toujours en autocars et toujours accompagnés de nos gardiens, au restaurant du Centre, prendre un déjeuner reconstituant.

Le café à peine bu, nous prîmes le chemin d'une des grandes piles en activité qui symbolise peut-être mieux que toutes les autres réalisations le nom d'énergie nucléaire donné au Centre. Un technicien de ce département nous expliqua en détail son fonctionnement.

EL3 est une pile à haut flux neutronique destinée aux essais des matériaux pour les réacteurs de puissance. Commencée en avril 1955, elle divergea au milieu de l'année 1957. Le flux de neutrons thermiques au centre de la pile atteint 10^{14} n/cm²/sec soit dix fois plus que EL2. Le combustible utilisé est de l'uranium faiblement enrichi, tandis que de l'eau lourde sert de modérateur. Le premier réflecteur est également constitué d'eau lourde, le second étant en graphite.

La réfrigération principale se fait par circulation d'eau lourde, elle-même refroidie par l'eau légère. La réfrigération secondaire est faite par air atmosphérique.

La pile elle-même est un polygone de quatorze côtés dont chaque face est accessible aux expérimentateurs. Elle est installée dans un bâtiment cylindrique, de construction métallique, ressemblant à un réservoir d'hydrocarbures. Une seconde cloche, cylindrique elle aussi mais plus petite, est reliée au bâtiment principal par un tunnel métallique et permet le stockage des barres d'uranium actif retirées de la pile.

Ces deux enceintes sont étanches et une pression légèrement inférieure à la pression atmosphérique y est maintenue pour éviter une éventuelle contamination extérieure dans le cas, très improbable, d'accident dans la pile et d'apparition de gaz radioactifs.

La pile EL3 est destinée à réaliser toutes les expériences nécessitant un grand flux de neutrons et de nombreux canaux ont été prévus qui permettent d'atteindre le cœur même de la pile, le réflecteur à eau lourde ou celui à graphite. Le fonctionnement de la pile est contrôlé à partir d'un poste de commande où sont centralisés tous les appareils nécessaires à sa mise en œuvre.

Après EL3 il était logique de poursuivre notre visite par le laboratoire où sont effectuées les manipulations chimiques, physiques ou même métallurgiques des éléments irradiés que l'on a extrait de la pile. Ce laboratoire présente une certaine analogie avec celui visité le matin. Comme lui, il utilise les télémanipulateurs qui permettent de faire toutes les opérations des expériences en cours. Les appareils situés dans la zone active ne peuvent, en aucun cas, être approchés sans avoir subi au préalable une désactivation et l'on comprend aisément tous les problèmes que peut poser leur entretien et plus particulièrement leur réparation. Pour réduire au minimum les risques de détérioration des appareils employés en zone de haute activité, les télémanipulateurs sont toujours utilisés par la même personne. Les chercheurs qui désirent telle ou telle opération sur tel ou tel corps doivent donner leurs instructions aux expérimentateurs sans qu'il leur soit permis de toucher eux-mêmes aux appareils.

On nous expliqua les nombreuses difficultés de sécurité du personnel causées par la très forte radioactivité des produits manipulés. Ces mesures de sécurité sont pourtant remarquables et c'est ainsi que nous apprîmes que pendant notre visite nous avions reçu moins de radioactivité que si nous avions passé le même temps dans une maison en granit.

Après la chimie des radio-éléments nous allions revenir à la physique nucléaire pure en rendant

visite à Saturne, l'un des appareils expérimentaux les plus remarquables, conçu et réalisé par le CEN.

Saturne est un accélérateur électromagnétique à accélérations multiples. Les particules sont des protons obtenus très simplement à partir d'atomes d'hydrogène. Ces particules décrivent un très grand nombre de révolutions, atteignant en fin de parcours une énergie de 2 à 3 millions d'électrons-volts. Un chercheur attaché à ce service nous expliqua les difficultés de réalisation d'un tel appareil, sachant que la précision mécanique doit atteindre le milliardième et qu'il est nécessaire d'obtenir un champ magnétique puissant et variable en parfait synchronisme avec le déplacement de la particule.

L'aimant, dont la carcasse doit être feuilletée, a un rayon de 8,419 mètres pour un poids total de 1.000 tonnes. Le champ maximum atteint 14.900 Gauss exigeant une intensité de 4.450 Ampères. La puissance dissipée est alors de 1.000 KW. Cet appareil ne peut admettre au départ des particules sans vitesse initiale, aussi a-t-on disposé un injecteur de particules qui n'est autre qu'un accélérateur électrostatique Van de Graff qui délivre, à chaque début de cycle, des protons animés d'une vitesse déjà élevée. Ces protons, après avoir parcouru près de deux millions de révolutions, frappent la cible avec une énergie de 1.750 MeV pour un champ de 10.000 Gauss; cette énergie atteint 2.940 MeV lorsqu'on donne au champ magnétique sa valeur maximum de 14.900 Gauss.

A chaque cycle, qui se répète toutes les 3,2 secondes, une photographie est prise pour matérialiser la trace des trajectoires des particules qui s'échappent de la cible frappée par les protons-projectiles.

Saturne était en fonctionnement et notre visite ne put qu'être partielle. Par contre, nous fûmes à même d'observer des expérimentateurs au travail dans la salle de contrôle où tous les appareils de mesures sont centralisés. Plusieurs clichés, trajectoires de particules, nous furent présentés; mais il faut avouer que seuls des spécialistes peuvent en apprécier toute la valeur.

Un dernier département était prévu au programme de notre journée. Beaucoup plus terre à terre que les autres, mais non sans problème, le service des déchets radioactifs a mission de débarrasser le Centre de tous les produits solides et

liquides, rebuts des expérimentations mais restant cependant des sources de radiations plus ou moins puissantes. Les résidus solides sont enfermés dans des containers de béton très épais, puis entassés dans un dépôt situé dans le Centre même. Les liquides subissent deux traitements différents suivant leur origine et leur radioactivité.

Tous les déchets des laboratoires de zone active sont conservés dans de vastes cuves souterraines en acier inoxydable de manière à éviter toute infiltration dans le sol de ces produits dangereux. Quant aux eaux industrielles très peu radioactives, comme celles utilisées dans les échangeurs des piles, elles doivent subir un très minutieux traitement de désactivation et ce n'est que lorsqu'on se sera assuré qu'elles ont perdu toute radioactivité qu'elles seront déversées dans les égouts.

En plus des déchets provenant du Centre de Saclay lui-même, le service traite les résidus de celui de Fontenay-aux-Roses qui sont transportés dans des camions-citernes spéciaux, extrêmement bien protégés, et pour les produits les plus dangereux, dans de petits containers d'une capacité de quelques litres seulement mais qui n'en pèsent pas moins plus d'une tonne en raison de la masse protectrice de plomb.

Ces questions primordiales sont aggravées par la situation géographique de Saclay très proche de Paris. La France a voulu prendre un maximum de précautions contre le danger de la radioactivité que d'autres pays n'ont pas prises. Ce système lourd à manier, coûteux, est cependant sûr et efficace.

Cette visite du CEN de Saclay fut évidemment très incomplète malgré toute une journée passée au Centre. Il n'était pas question de visiter tous les laboratoires, toutes les piles, tous les accélérateurs de particules, mais nous en avons vu l'essentiel et les plus belles réalisations. Nous avons été très aimablement accueillis par les ingénieurs de chaque service qui nous ont donné les nombreuses explications que nous souhaitions. Nous tenons ici à les en remercier.

Des expérimentations sur EL3 et autres piles sortiront sans doute un jour les réacteurs qui équiperont les futurs navires de commerce. Peut-être avons-nous, ce jour-là, soulevé un peu, le voile de notre avenir.

Jacques NICOLLET.
C. L. C.

Résultats Scolaires

Ont été reçus aux examens de fin d'année :

Section E.L.C.

MM. Arnaud, Bontoux, Desson, Dupont, Gellf, Huguët, Jordan, Le Cunff, Le Meur, Mirabaud, Muller, Peyre, Plessis, Rigollet, Roels, Souliman, Tassel, Theret, Tieng Bui Hong, Vandenberghe.

Section E.O.L.C.1

MM. Armengaud, Aubert, Audren, Barberon, Bignault, Boutiron, Charpentier, Chatagnon, Chomard, Constantin, Courtin, D'Aumale, Deckers, Deniau, Deyres, Dutilleul, Faily, Feret, Floch, Foret, Gaillot, Garçon, Gouin de Roumilly, Jolivet, Tallec, Delarue, Fichepoil, Paturet.

Section E.O.L.C.2

MM. Cuburu, Deram, Dhainaut, Emo, Gahagnon, Girard, Guerrier, Guessend, Guez, Hervouët, Jean, Lebreton, Legouas, Le Héron, Lenormand, Leriche, Leroy, Lidou, Lombard, Lopinot, Marron, Masson, Mboum, Michel, Monot, Orjabin, Pelge, Perdoux, Rostand, Thoreau, Puluhen.

Section E.O.L.C.3

MM. Andriantsheno, Averty, Blanc, Blandin, Bonnefoy, Cam, Cozanet, Garde, Gibert, Guercy, Guillou, Huchon, Le Berre, Maquin, Mosser, Noël, Quesnel, Renaudat, Renault, Renson, Rivoalen, Rougeot, Segur, Sellier, Sevellec, Thépaut, Thirion, Tual, Vercelino, Verdier, Le Dez, Reithler.

Section C.L.C.1

MM. Audic, Audren, Bailly, Bellego, Blanche, Bonzon, Bossard, Brelay, Breton, Campion, Drieux, Drouet, Ernault, Faury, Galichère, Gourlaouen, Gueret, Guillotel, Hubert, Keranflec'h, Le Blouch, Le Bras, Le Drezen, Le Mapihan, Le Moing, Lodeho, Maréchal, Morel, Plotton, Quef, Saint Jalmes, Savarit, Sempe, Traonouil, Trembleau, Vervén, Ygouf.

Section C.L.C.2

MM. Ballière, Bargain, Bescond, Briand, Brousey, Donnard, Dumas, Ferec, Gentric, Guillot, Guillou, Hangard, Henry, Kergoat, Lacour, Le Bihan Penanros, Le Callonec, Le Fur, Le Huede, Le Levier, Le Loch, Lemée, Leroy, Letessier, Le Vaillant, Lijour, Morvan, Mouly, Mouton, Namy, Perrot, Quemener, Rabuteau, Refour, Rustuel, Trochet, Trouvé.

Section C.L.C.3

MM. Artigues, Begou, Bejaud, Berland, Bousoul-dou, Cormerais, De Kervasdoue, De Seze, Dupont, Eudier, Fournier, Genel, Grandsir, Heudier, Isidore, Joncour, Kernavannois, Kuster, Larroque, Le Pape, Lotode, Mataguez, Meubry, Nicolle, Ollivier, Orain, Pauthier, Pierru, Poisson, Pouget, Prod'homme, Quesnel, Retif, Rolet, Royer, Saget, Soviche.

Section E.C.Q.

MM. Antonio, Baddha Maurady, Barbereau, Cadran, Cammas, Ebran, Gueran, Lauwick, Le Barh, Lefebvre, Marcel, Ollier de Marichard, Sellier.

Section E.M.M.M.

MM. Allard, Belloir, Botte, Dupont, de Gaufridy de Dortan, Georges, Lambelin, Lecomte, Le Fort, Leguet, Limare, Lesieur, Loisel, Marty, Parent, Pen-sec, Refeuil, Rivoallan, Tetreau, Scuto, Walczack.

Section E.O.M.1

MM. Arlais, Ballut, Basset, Blavec, Bourse, Calliat, Cariou, Cauchois, Chevalier, Clarot, Clément, Coudure-Tuquet, Dars, Dreau, Drevet, Dudon, Fabiao, Godest, Grissonnanche, Guyader, Hamon, Helouët, Jokumsen, Le Goupil, Le Touze.

Section E.O.M.2

MM. De Cibon, Galin-Chene, Gaultier, Gillot, Guinet, Jannot, Joubert, Journe, Julliard, Lagard, Lagattu, Lanuque, Le Friec, Lehuby, Le Tallec, Le Thiec, Le Turluer, Levavasseur, Libat, Loizelet, Madel-mont, Marceau Gilis de Cumont, Papeil-Lalande, Parodi, Perrin, Perrocheau, Perrono, Pichard, Pom-mier, Richard, Robelet, Terrier, Loonis.

Section E.O.M.3

MM. Bedoui, Berthelot, Boursier, Charreteur, Corre, Couzon, Ducaunes-Duval, Fruneau, Galindo, Jolivet, Laribi, Le Bonhomme, Le Guyader, Le Hoerff, Le Pape, Manaute, Momy, Mulier, Piat, Pichavant, Poirier, Quevillon, Raimbault, Reynaud, Richard, Robin, Rousset, Sauget, Soustelle, Tanguy, Thébault, Vacher, Zacchello.

Section E.O.M.4

MM. Bailet, Berroncle, Bouliou, Brel, Charriaud, Chevalier, Ducoux, Fioleau, Foucher, Gingat, Goala-bre, Gouedard, Grusse d'Agneaux, Hamon, Keromes, Le Hegarat, Lejeune, Lemoine, Le Roux M., Le Rouzic, Lesage, Loquet, Luquet, Mazurier, Merour,

Mocquillon, Perrot, Poïmiroo, Prezelin, Rehel, Roussel, Roux, Tabourel, Willième, Zouacoui.

Section O.M.2 Théorie

MM. Auzou, Beley, Bertteram, Bettencourt, Blondel, Blondel, Bonnamy, Bougant, Bringault, Caldwell, Donda, Dutheil, Flodrops, Le Coquiec, Lepillier, Leroux, Paon, Philippe.

Section O.M.2 Application

MM. Benoist, Bescond, Cassan, Cavan, Clerivet,

Delmer, Deshayes, Devaux, Dautreleau, Ducoux, Fohet, Forlacroix, George, Hamel, Jouanneau, Laborie, Le Cerf, Mammaux, Manivel, Maréchal, Maréchal, Maze, Miramont, Omnès, Ordonnaud, Perrault, Poix, Puyrenier, Renault, Souveton, Sylla, Thoumire, Torck, Van Hille, Zonnequin, Dupont, Orhan.

Section O.M.3

MM. Beziers, Deporte, Derrien, Ferec, Fichet, Gode, Lamourette, Le Gall, Le Poupon, Maltrud, Mevel, Grenouilleau.

Notre Carnet

NAISSANCES

C'est avec plaisir que nous faisons part de la naissance de :

Patrick, au foyer de M. et Mme GAREL, le 5 juillet 1966.

Yannick, au foyer de M. et Mme LODEHO, le 11 juillet 1966.

Valérie, au foyer de M. et Mme RENARD, le 16 octobre 1966.

Nous souhaitons à tous bonheur et prospérité.

MARIAGES

Nous avons le plaisir de faire part des mariages de :

M. JOURNE Gildas et de Mlle Jacqueline NICOLAS, le 13 juillet 1966, à Saint-Nazaire.

M. DAVID Xavier et de Mlle Françoise PIEDAGNEL, le 8 octobre 1966, à Fécamp.

Tous nos compliments et nos meilleurs vœux aux jeunes époux.

DECES

Nous avons eu le regret d'apprendre le décès accidentel de M. SERPAGGI Pierre (EOM 64-65) survenu le 6 novembre 1966.

Nos bien sincères condoléances vont à ses parents et amis.

INFORMATION

L'International Harvester France, 1, avenue McCormick, Ris-Orangis (Seine-et-Oise) désire pourvoir à deux postes de chef d'équipe (convenant à des 3^{me} classes) et trois postes d'inspecteurs (2^{me} classe).

DISTINCTIONS

Nous avons relevé au J.O. :

Le 11 mai 1966 : la concession de la Médaille Militaire à M. Jean BOURSIER, instructeur technique (E.N.M.M. Le Havre).

Le 2 juin 1966 : la nomination de M. Pierre LACOSTE, professeur en Chef de 2^{me} classe de l'Enseignement Maritime au Grade de Chevalier du Mérite National.

Le 8 juin 1966 : les nominations au Grade de Chevalier du Mérite Maritime de MM. Pierre PONTOIZEAU, professeur en Chef de 2^{me} classe de l'Enseignement Maritime (E.N.M.M. Le Havre) ; Louis FORTIN, professeur en Chef de 2^{me} classe de l'Enseignement Maritime (E.N.M.M. Le Havre), Robert CARTON, professeur principal de l'Enseignement Maritime (E. N. M. M. Nantes) ; Louis CHEDOT, OMI, professeur chargé de cours à l'E.N.M.M. du Havre.

Le 28 juillet 1966 : la promotion au Grade de Professeur général de 1^{re} Classe de l'Enseignement Maritime de M. Joseph SENECHAL, Inspecteur général de l'Enseignement Maritime.

Le 12 août 1966 : la nomination au Grade de Chevalier de la Légion d'Honneur de M. Roger GUEGAN, professeur principal de l'Enseignement Maritime (E.N.M.M. Le Havre).

Le 19 août 1966 : la nomination au Grade de Chevalier des Palmes Académiques de M. Jacques CHAUFFAILLE, professeur en Chef de 2^{me} classe de l'Enseignement Maritime (E.N.M.M. Le Havre).

Le 7 octobre 1966 : la promotion de M. Jean JOLY, professeur principal, au Grade de professeur en Chef de 2^{me} classe de l'Enseignement Maritime (E.N.M.M. Le Havre).

Et la promotion de M. Louis MADEC, Officier d'administration de 1^{re} classe au Grade d'Officier d'administration principal (E.N.M.M. Le Havre).

A tous, la revue « Marine d'aujourd'hui » exprime ses bien vives félicitations.

Avis aux Lecteurs

Cette revue est destinée à servir de lien sur le plan professionnel et amical à tous les anciens élèves de l'E.N.M.M. du Havre. Elle n'atteindra son but que si chacun y participe, en la lisant d'abord, en s'y abonnant ensuite, enfin et surtout en y collaborant, c'est-à-dire en faisant parvenir au secrétariat de la revue des articles, des faire-parts, des suggestions et même simplement une carte postale à l'occasion d'une escale.

(A détacher et à retourner à Revue « MARINE D'AUJOURD'HUI » E.N.M.M., Route du Cap, 76-STE-ADRESSE)

Le

(Nom et adresse)

déclare souscrire abonnement(s) de un an à la Revue « MARINE D'AUJOURD'HUI »

Ci-joint un ☐ chèque postal de Francs.

☐ chèque bancaire de Francs.

☐ mandat de Francs.

Au nom de Monsieur l'Intendant de l'E.N.M.M. - Route du Cap, 76-STE-ADRESSE.
C.C.P. 8410 60 A ROUEN

Représentant :

a) le prix de abonnements (1)

b) une participation de soutien de Francs.

(1) Prix de l'abonnement annuel : 8 F.

sommaire

	Pages
M. R. HERVIEU, Directeur de l'E.N.M.M.	—
« Marine d'aujourd'hui »	5
Administration et corps enseignant de l'E.N.M.M. du Havre	6
M. P. PONTOIZEAU, Sous-Directeur de l'E.N.M.M.	
La vie de l'Ecole	7
M. R. HERVIEU, Directeur de l'E.N.M.M.	
Du théorème de Bernoulli à certain mode d'action, en apparence paradoxal, de la tuyère transversale avant d'un navire	9
M. HORRÉARD, Professeur de Français à l'E.N.M.M.	
Les termes maritimes	13
M. CHAUFFAILLE, Professeur en Chef de 2 ^{me} classe	
Les principes de la régulation automatique	15
M. CALBOURDIN, Professeur en Chef de 2 ^{me} classe	
Gouvernail actif et tuyère de l'avant	26
M. GUIENNE, Ingénieur à la S.E.D.A.M.	
Les aéroglisseurs marins	33
M. Yves MEUBRY, C.L.C.	
De leurs calmes abris	45
M. NICOLLET, C.L.C.	
Visite à Saclay	46
Résultats scolaires	49
Notre Carnet	50