

Octobre 1941

6francs

# la Science et la Vie



Voir page 195



**UNE RÉVOLUTION**  
**DANS L'ART MÉNAGER...**

sa

# CUISINIÈRE à ACCUMULATION

SE BRANCHE SUR TOUS LES COMPTEURS  
NE CONSOMME QUE 450 WATTS-HEURES  
CHAUFFE PLUS VITE QUE LE GAZ  
SE RÈGLE AUSSI FACILEMENT

*Comporte :*

TROIS PLAQUES CHAUFFANTES  
UN FOUR DE GRANDES DIMENSIONS  
UN CHAUFFE-EAU DE 15 LITRES



*Tous renseignements sur demande :*

**FOIRE DE LYON - Galerie 8 - Stands 10 à 12**

**CONFORT RATIONNEL PAR L'ÉLECTRICITÉ**

**CUIRE** (Rhône)

1, rue Claude-Baudrand, 1

Téléphone 155.01 - inter 155.57

**PARIS** (VIII<sup>e</sup>)

65, Champs-Élysées, 65

Téléphone Elysées 48.76

**APPAREILS ÉLECTRO-MÉNAGERS - CHAUFFAGE**

**BREVETS D'INVENTION  
MARQUES DE FABRIQUE  
DESSINS ET MODÈLES  
FRANCE ET ÉTRANGER**



**J. BÉGUÉ**

13. RUE CROIX-BARAGNON 13

TÉL. 258-99 -- TOULOUSE

**"Sésame"**  
BREVETÉ S.G.D.G.

**LE PORTE-MINE  
AUTOMATIQUE  
DÉMONTABLE**

LA PLUME INOXYDABLE



**GROS : Les Fils de Ch. VUILLARD  
St-CLAUDE (Jura)**

CEYBE, publicité.

**COMMERÇANTS...  
INDUSTRIELS...**

à l'heure actuelle, notre Revue est la seule en zone libre qui vous permette de diffuser vos produits parmi une vaste clientèle sélectionnée.



**UTILISEZ**  
les pages d'annonces de  
**" la science  
et la vie "**

**RENTÉE**  
*d'octobre*

**ROUTE DE L'AVENIR**

*...pensez à l'avenir  
augmentez votre capital  
" CONNAISSANCES "*

ET APPRENEZ LE DESSIN EN  
**10 MOIS PAR LA NOUVELLE  
METHODE MARC SAUREL**

**" LE DESSIN  
FACILE "**

\* Cours par correspondance pour adultes et enfants - Aucun préjudice pour les autres études: 2 heures par semaine suffisent.

\* 26 ans d'expérience. Procédés modernes inédits. 800 modèles photos et dessins. Leçons à l'essai. Prix accessibles à tous.

Valorisez-vous par le dessin - de belles carrières s'ouvrent à vous (illustration, publicité, mode, etc...)  
Demandez aujourd'hui notre brochure illustrée GRATUITE  
**" LE DESSIN FACILE "** Serv. SV4. BANDOL (Var)

# CECI INTÉRESSE

tous les jeunes gens et jeunes filles et tous les pères et mères de famille

Une occasion unique de vous renseigner de la façon la plus complète sur toutes les situations quelles qu'elles soient et sur les études à entreprendre par correspondance pour y parvenir vous est offerte par

## L'ÉCOLE UNIVERSELLE par correspondance de Paris

Elle vous adressera gratuitement sur demande celle de ses brochures qui vous intéresse :

**BROCHURE N° 17.085.** — CLASSES PRIMAIRES ET PRIMAIRES SUPÉRIEURES COMPLÈTES, depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Certificat d'études, Bourses Brevets, C. A. P.

**BROCHURE N° 17.086.** — CLASSES SECONDAIRES COMPLÈTES, depuis la onzième jusqu'à la classe de Mathématiques spéciales incluse, Examens de passage, Diplôme de fin d'études secondaires, Baccalauréats.

**BROCHURE N° 17.087.** — TOUTES LES GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES : Agriculture, Industrie, Travaux publics, Mines, Commerce, Armée et Marine, Enseignement, Beaux-Arts, Assistance.

**BROCHURE N° 17.088.** — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES.

**BROCHURE N° 17.089.** — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS : Ingénieur (diplôme d'Etat), Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de chantier, Contremaître, etc.

**BROCHURE N° 17.090.** — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE, du Génie rural, etc.

**BROCHURE N° 17.091.** — CARRIÈRES DU COMMERCE : (Administrateur commercial, Secrétaire, Correspondancier, Sténo-dactylo, Représentant, Services de publicité, Expert-comptable, Teneur de livres), de l'INDUSTRIE HÔTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.

**BROCHURE N° 17.092.** — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE.

**BROCHURE N° 17.093.** — LANGUES VIVANTES (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Russe, Portugais, Arabe, Annamite), TOURISME (Interprète), etc.

**BROCHURE N° 17.094.** — AIR, RADIO, MARINE : Pont, Machines, Commissariat, T. S. F., etc.

**BROCHURE N° 17.095.** — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, JOURNALISME (Rédaction, Administration, Direction), etc.

**BROCHURE N° 17.096.** — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Instruments de jazz, Professorats, etc.

**BROCHURE N° 17.097.** — ARTS DU DESSIN : Dessin pratique, Anatomie artistique, Dessin de Mode, Illustration, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Fusain, Pastel, Professorats, Métiers d'art, etc.

**BROCHURE N° 17.098.** — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE : Petite main, Seconde main, Première main, Vendeuse, Retoucheuse, Coupeur, Coupeuse, Modéliste, Professorats, etc.

**BROCHURE N° 17.099.** — CARRIÈRES FÉMININES dans toutes les branches de l'activité.

**BROCHURE N° 17.100.** — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ : Coiffeuse, Manucure, Pédicure, Masseur, etc.

GRACE AUX COURS PAR CORRESPONDANCE DE L'ÉCOLE UNIVERSELLE, chacun peut acquérir CHEZ SOI, quelle que soit sa résidence, à ses heures de loisir, quelles que soient ses occupations, facilement, quelles que soient ses études antérieures, avec le minimum de frais et dans le minimum de temps toutes les connaissances utiles pour occuper la situation dont il se sent digne. Ceux des cours par correspondance de l'École Universelle qui préparent aux examens et aux concours publics assurent chaque année à leurs élèves

### DES MILLIERS DE SUCCÈS.

Outre la brochure qui vous intéresse, demandez tous les renseignements et conseils spéciaux dont vous pouvez avoir besoin. Ils vous seront fournis à titre absolument gracieux et sans aucun engagement de votre part.

## ÉCOLE UNIVERSELLE

12 place Jules-Ferry, LYON -- 59 boulevard Exelmans, PARIS

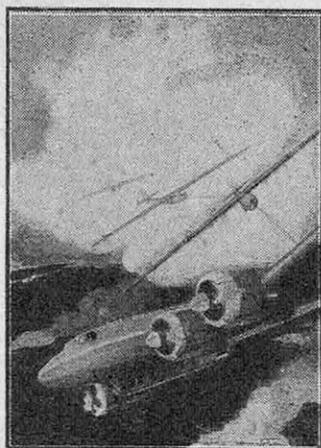
# la Science et la Vie

Tome LX — N° 290

## SOMMAIRE

Octobre 1941

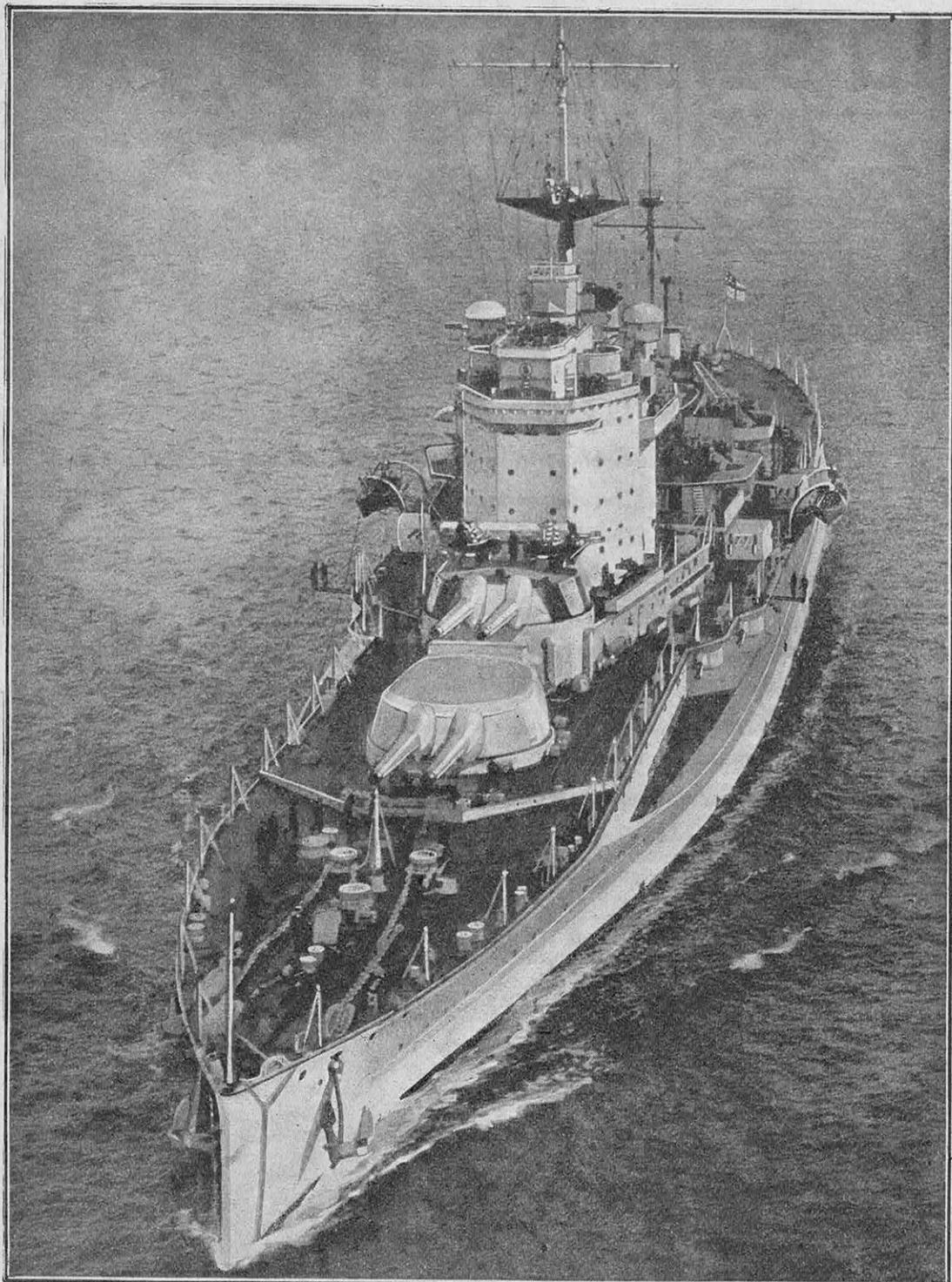
- ★ Où s'arrêtera la course au tonnage du cuirassé ? par Camille Rougeron . . . . . 183
- ★ L'arme nouvelle de la campagne de Crète . . . . . 194
- ★ Le bombardement en piqué, par Pierre Dublanc . . . . . 195
- ★ Où en est le cinéma en relief ? par Pierre Hémardinquer. 203
- ★ De toutes les machines thermiques, les armes à feu ont le rendement le plus faible, par L. Houllévigie . . . . . 210
- ★ La guerre germano-russe (1<sup>er</sup> août - 1<sup>er</sup> septembre 1941), par X X X . . . . . 215
- ★ Le chimiste peut-il trouver des explosifs plus puissants que les explosifs actuels ? par Henri Muraour . . . . . 222
- ★ L'électricité au service de la propulsion des navires : puissance, souplesse, maniabilité, par Pierre Devaux . . . . . 229
- ★ Paul Sabatier et la catalyse, par Marcel Patry . . . . . 236
- ★ Les A-côté de la Science, par V. Rubor . . . . . 230



T. W. 12662

L'île de Crète a été conquise, dans un délai remarquablement court, par l'aviation. Des effectifs relativement considérables furent amenés par avions de transports, débarqués par parachutes et déposés par des planeurs. La couverture du présent numéro représente un « train » de ces planeurs allemands remorqué par un quadrimoteur transatlantique des plus récents, le Focke Wulf « Kurier ». La défense d'une île au voisinage du continent s'est ainsi avérée très difficile en face de la puissance offensive de l'avion ; elle exige la mise en œuvre de moyens beaucoup plus puissants que par le passé, qui trouvent d'ailleurs leur justification dans l'importance stratégique de ces possessions insulaires, considérablement accrue, elle aussi. Une île n'est plus seulement une base navale, c'est une sentinelle surveillant la mer, c'est un nid pour les avions corsaires qui menacent les communications de l'adversaire et une base avancée pour les bombardiers lourds. (Voir page 194.)

« La Science et la Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne, rédigé et illustré pour être compris de tous. Rédaction, Administration, Publicité : actuellement, 22, rue Lafayette, Toulouse. Chèque postal : numéro 184.05 Toulouse. Téléphone : 230-27.  
Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by « La Science et la Vie », cent treize mil neuf cent quarante et un. Registre du Commerce : Seine 116.654.  
Abonnements : France et Colonies, un an : soixante francs ; six mois : trente-deux francs.



LE CUIRASSÉ RAPIDE « WARSPITE »

T W 12409

Le Warspite, qui coula en mer Ionienne, dans la nuit du 28 au 29 mars dernier, les deux croiseurs Fiume et Zara, était, en 1914, le type du « cuirassé rapide » réunissant un armement de VIII 381 mm, une cuirasse de ceinture 330 mm et une vitesse de 25 nœuds. Il était de deux nœuds plus rapide que les « cuirassés » mis en chantier à la même époque, les Royal Sovereign de 23 nœuds, mais nettement plus lent que les derniers « croiseurs de bataille » de 1914, les Queen Mary de 29 nœuds. C'est ce type de bâtiment qui est le plus voisin de celui communément adopté aujourd'hui par les différentes marines.

# OU S'ARRÊTERA LA COURSE AU TONNAGE DU CUIRASSÉ ?

par Camille ROUGERON

*En refusant de souscrire, en 1936, aux limitations qualitatives édictées à la Conférence de Londres, le Japon a rouvert, après treize ans de répit, la course au tonnage des bâtiments de ligne. La marine japonaise a, croit-on, construit des cuirassés de 40 000 tonnes, tandis que les autres puissances navales s'en tenaient aux 35 000 tonnes (North Carolina, King George V, Bismarck, Richelieu). Pour répondre aux navires de la marine japonaise, les Etats-Unis viennent de mettre en chantier des cuirassés de 45 000 tonnes. Des 55 000 tonnes suivront sous peu, qui surclasseront tous les bâtiments actuellement réalisés. Comment sera utilisée l'énorme augmentation de tonnage du navire de ligne? Les récentes rencontres navales en Méditerranée et dans l'Atlantique ont prouvé une fois de plus qu'il est intéressant de donner aux pièces d'artillerie le calibre maximum compatible avec le déplacement du bâtiment. Elles ont, par contre, montré que la vitesse est une caractéristique secondaire pour le cuirassé, en face d'un adversaire aussi rapide que l'avion. Le navire, s'il veut résister à l'avion, devra améliorer considérablement sa protection active et passive, et accumuler les armes de défense antiaérienne rapprochée sous une cuirasse à l'épreuve des plus lourdes bombes d'avion. Et l'on peut penser que le navire de ligne de demain ressemblera plus au « cuirassé-tortue » de 1914 qu'au bâtiment rapide et peu protégé de 1940.*

## Les poussées successives de la course au tonnage

IL semble extraordinaire qu'il ait fallu attendre la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle pour que les marines de guerre s'aperçussent enfin des avantages que l'on trouve à faire choix d'un déplacement plus grand que l'adversaire, lorsqu'on veut en surclasser les navires.

Nos ancêtres avaient bien quelques excuses. Historiques d'abord : les navires géants de la marine des Ptolémées n'avaient pas donné grand'chose ; les vaisseaux français de 100 à 120 canons n'avaient guère prouvé leur supériorité sur les bâtiments britanniques d'armement et de tonnage moindres. Techniques, ensuite et surtout : les vaisseaux avaient depuis longtemps dépassé les dimensions qui suffisaient à l'installation des plus puissants canons que l'on pût utilement employer à la mer ; tous ceux qui, comme Napoléon, auraient aimé voir monter sur les navires des calibres de plus de 36 (1), étaient arrêtés par « la difficulté de lever le boulet », à une époque

(1) Le calibre s'évaluait alors par le poids du boulet exprimé en livres.

où les monte-charge et refouloirs mécaniques n'avaient pas encore pénétré à bord ; l'argument le plus sérieux, la supériorité de protection des navires de fort tonnage, n'existait pas, faute de protection ; la maniabilité d'une voilure se ressentait fâcheusement de ses dimensions ; il ne restait du tonnage que les inconvénients quant au poids de coque, particulièrement sensibles sur une charpente en bois.

Cependant, le succès de certaines nouveautés comme les grandes frégates américaines type *Constitution* qui menèrent, en 1811, la vie si dure aux vaisseaux et frégates britanniques que les Etats-Unis obtinrent rapidement une paix très honorable, aurait bien dû ouvrir les yeux. Mais c'était à qui trouverait les meilleures raisons de repousser la construction métallique, le blindage, la cuirasse, la propulsion à vapeur et les tourelles « à la Paixhans » (1).

Quand toutes ces nouveautés finirent

(1) Le commandant Paixhans proposa vers 1820 le remplacement de l'artillerie tirant par sabords par un petit nombre de pièces de très gros calibre en tourelles, et doit être considéré comme le précurseur de la « course au calibre ». La tourelle marine porta longtemps son nom à l'étranger.

par être admises, rien ne s'opposait plus à l'accroissement dans de très larges limites du tonnage des navires de ligne. L'ascension fut cependant lente et son histoire est celle d'une opposition entre les défenseurs raisonnables des tonnages « modérés » et quelques énergumènes qui l'emportaient pour un temps.

La stabilité relative jusque vers 1905 s'explique par le fait que, des deux marines principales, celles de la France et de la Grande-Bretagne, la dernière était parvenue à s'assurer une supériorité aisée par l'adoption d'un déplacement d'une quinzaine de mille tonnes, quand, dans la première, les défenseurs des navires de plus de 10 000 tonnes voyaient repousser leurs propositions de « mastodontes ». La marine britannique n'avait donc aucune raison de mener une course que la marine française ne suivait pas. C'est en vain que Bertin, avant qu'il fût appelé à la direction des Services techniques des constructions navales, essayait de prouver qu'il manquait au cuirassé fran-

çais 2 000 à 3 000 tonnes pour remédier aux quelques défauts qu'il lui trouvait et dont la plus grave était l'insuffisance de hauteur de la cuirasse de ceinture. Il réunissait contre lui à la fois les partisans du juste milieu qui ne voyaient pas la nécessité de compliquer la vieille notion de perforation par celle de « stabilité après avaries de combat », et ceux de la « jeune école » qui, eux, ne concevaient pas l'utilité des navires de plus de 50 tonnes.

Au fond, la thèse de Bertin était insoutenable. Il avait tous les torts du révolutionnaire timide. Pourquoi 2 000 ou 3 000 tonnes de supplément et pas 20 000 ? En vertu de quelle loi le navire de ligne devait-il réunir, pour être parfait, le calibre de 305 mm, la cuirasse de grande hauteur de 250 mm et la vitesse de 19 nœuds ? Pourquoi tout ce qui dépassait ces chiffres devait-il être qualifié d'exagéré ?

La révolution ne pouvait venir que d'un révolutionnaire véritable, qui fut

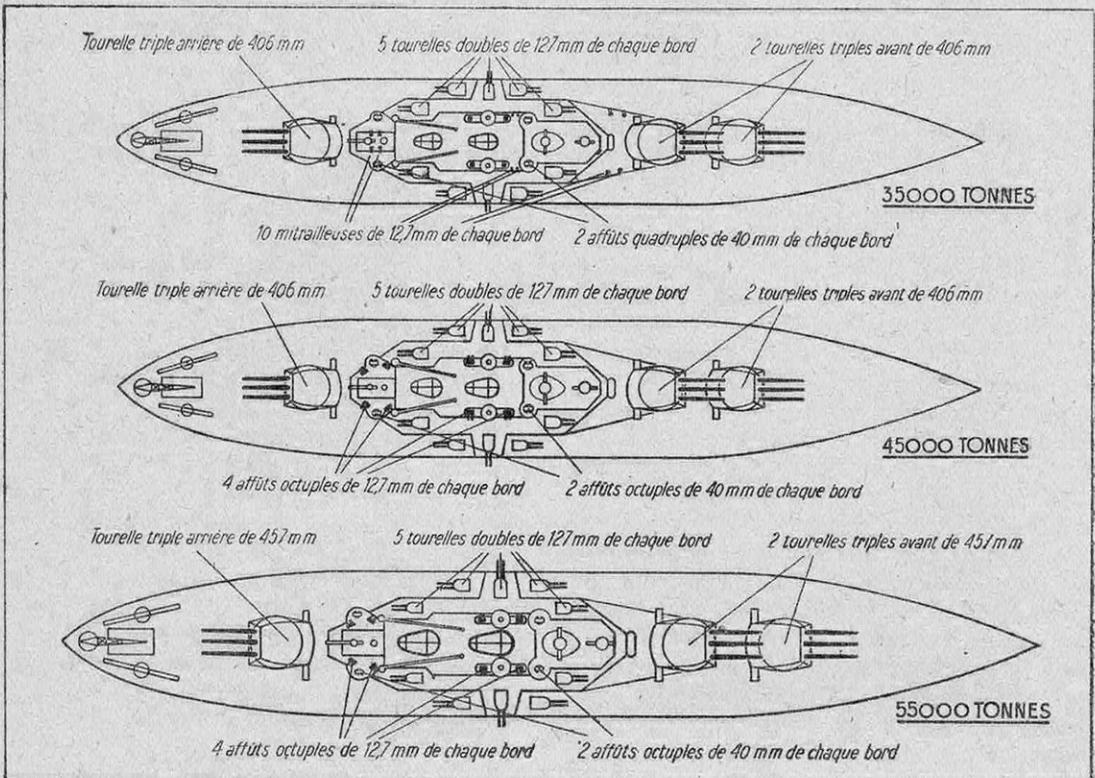
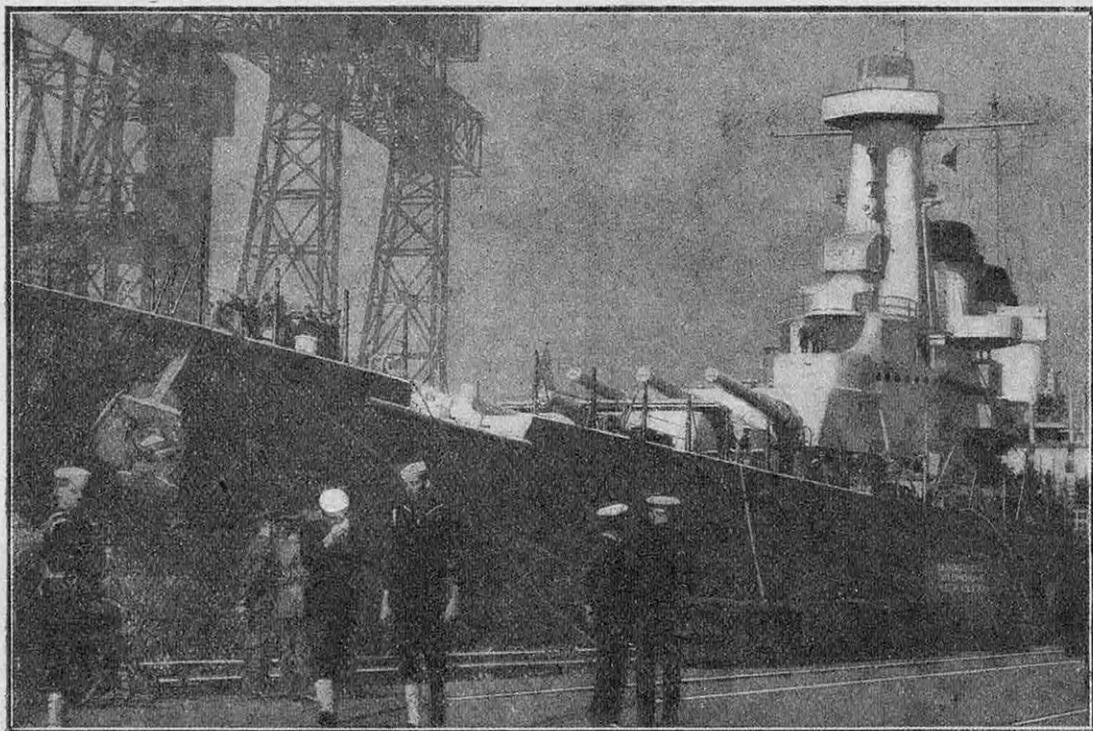


FIG. 1. — SCHEMA DES NAVIRES DERIVES DU « NORTH CAROLINA »

Le « North Carolina », le premier d'une série de six cuirassés de 35 000 t, est entré en service en avril 1941 ; les schémas ci-dessus se rapportent à ce bâtiment et à ceux qu'on pourrait en dériver en 45 000 t et 55 000 t, suivant les caractéristiques données dans le tableau I. L'artillerie de défense de ces deux derniers navires est supposée répartie en six affûts octuples de chaque bord.



T W 12410

FIG. 2. — LE CUIRASSE AMÉRICAIN « NORTH CAROLINA »

Le « North Carolina », le plus récent des cuirassés de 35 000 t américains, vient d'entrer en service.

Fisher, à son arrivée à l'Amirauté britannique en 1905.

Nul mieux que lui ne comprit vraiment qu'il n'y avait pas de tonnage « raisonnable », que la seule « raison » était la rapidité de conception et d'exécution qui permettait de sortir des navires de 25 000 tonnes quand l'adversaire en était encore à 15 000 tonnes. La marine britannique pouvait ainsi montrer des croiseurs de bataille à 28 nœuds armés de canons de 343 mm quand d'autres achevaient lentement leurs programmes de croiseurs cuirassés à 23 nœuds, porteurs de canons de 194 mm. Fisher introduisit dans la question du tonnage l'élément dynamique, la notion de « course ». Prenant le navire de ligne à 15 000 tonnes, à son arrivée à l'Amirauté en 1905, il laissait cinq ans plus tard les plans d'un *Incomparable*, non exécuté, de 35 000 tonnes. Si l'on juge de la valeur des conceptions militaires d'après le résultat, aucune n'a connu de succès plus brillants. C'est à elle que la Grande-Bretagne dut sa maîtrise navale de 1914 à 1918; ce sont les mêmes navires qui n'hésitent pas à affronter aujourd'hui les bâtiments les plus récents. A part un *Hood* coulé

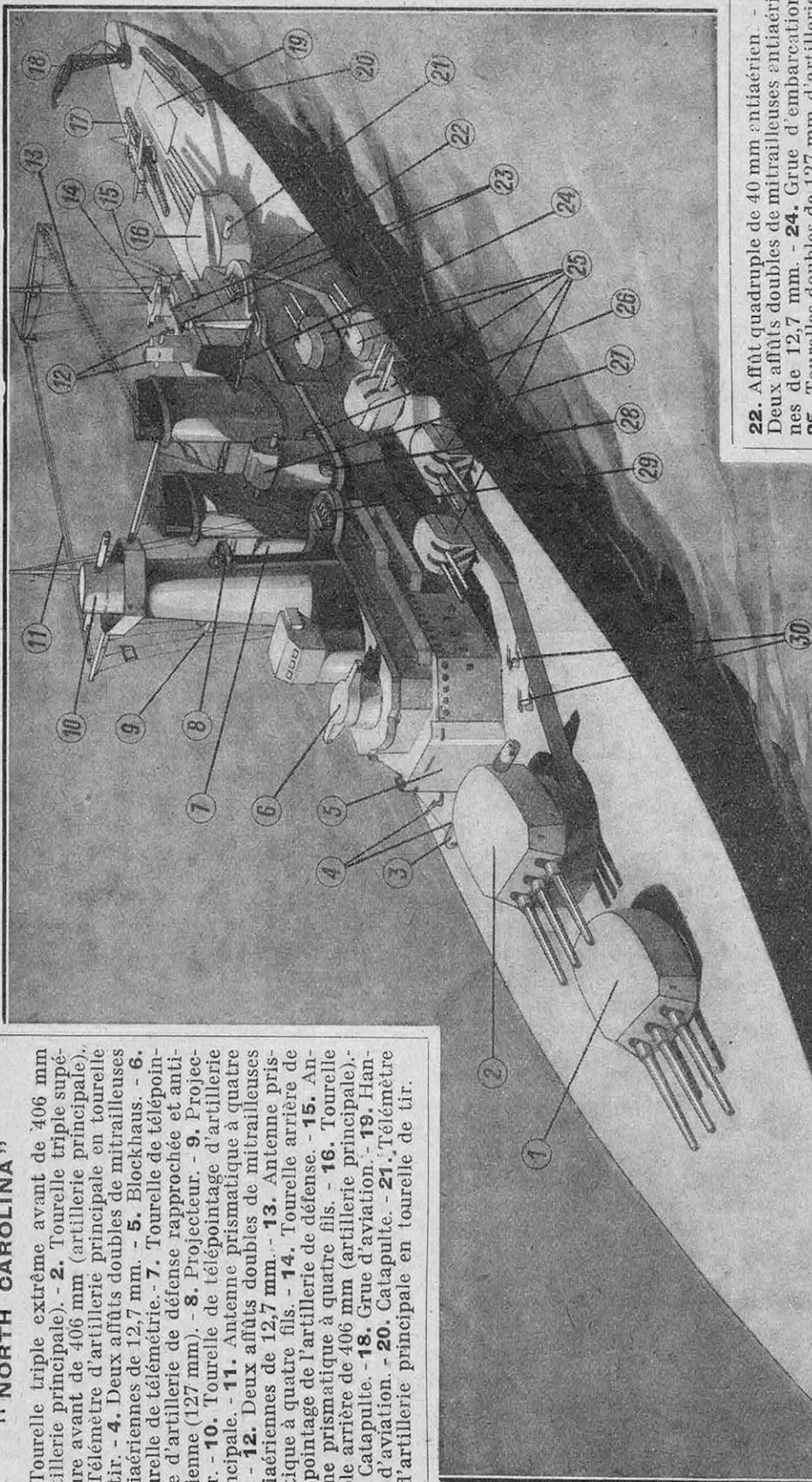
par un *Bismarck*, le résultat n'est, somme toute, pas si mauvais.

Il est même si extraordinaire que le génie de Fisher ne suffit pas à l'expliquer. Il fallait, ayant commencé la course, et pris une avance considérable, imposer aux autres de renoncer à la poursuite. Ce fut là le triomphe des diplomates anglo-saxons pendant les vingt années qui suivirent 1918. Les limitations quantitatives du traité de Versailles et de l'accord de Washington interdisaient pour longtemps les constructions nouvelles; les limitations qualitatives les empêchaient de surclasser les navires anciens.

La limitation volontaire du tonnage des navires de ligne et la suprématie des marines anglo-saxons devaient être mises en péril pour la première fois, en décembre 1935, à Londres, lorsque la délégation japonaise, n'ayant pas obtenu le plafond commun avec les marines anglo-saxons, se retira. La marine japonaise reprit sa liberté d'action, et se mit à construire des navires de ligne dont on suppose que les deux premiers, lancés en novembre 1939 et janvier 1940, ont un déplacement d'environ 40 000 tonnes;

## LE GUIRASSÉ AMÉRICAIN "NORTH CAROLINA"

1. Tourelle triple extrême avant de 406 mm (artillerie principale). - 2. Tourelle triple supérieure avant de 406 mm (artillerie principale). - 3. Télémètre d'artillerie principale en tourelle de tir. - 4. Deux affûts doubles de mitrailleuses antiaériennes de 12,7 mm. - 5. Blockhaus. - 6. Tourelle de télémétrie. - 7. Tourelle de télépointage d'artillerie de défense rapprochée et antiaérienne (127 mm). - 8. Projecteur. - 9. Projecteur. - 10. Tourelle de télépointage d'artillerie principale. - 11. Antenne prismatique à quatre fils. - 12. Deux affûts doubles de mitrailleuses antiaériennes de 12,7 mm. - 13. Antenne prismatique à quatre fils. - 14. Tourelle arrière de télépointage de l'artillerie de défense. - 15. Antenne prismatique à quatre fils. - 16. Tourelle triple arrière de 406 mm (artillerie principale). - 17. Catapulte. - 18. Grue d'aviation. - 19. Hangar d'aviation. - 20. Catapulte. - 21. Télémètre d'artillerie principale en tourelle de tir.



22. Affût quadruple de 40 mm antiaérien. - 23. Deux affûts doubles de mitrailleuses antiaériennes de 12,7 mm. - 24. Grue d'embarcations. - 25. Tourelles doubles de 127 mm d'artillerie de défense contre torpilleurs et contre avions. - 26. Projecteur. - 27. Tourelle de télépointage d'artillerie de défense rapprochée et antiaérienne (127 mm). - 28. Projecteur. - 29. Affût quadruple de 40 mm antiaérien. - 30. Deux affûts doubles de mitrailleuses antiaériennes de 12,7 mm.

le déplacement devait passer à 43 000 tonnes au moins sur les trois suivants.

La réaction de la marine britannique ne fut pas très rapide. Trop heureuse d'avoir pu entraîner l'Allemagne à signer un accord de limitation, elle conserva le déplacement de 35 000 tonnes et même le faible calibre de 356 mm (qui était celui de l'accord de Londres de 1936) sur les *King George V* mis en chantier en 1937. La marine américaine fut presque aussi prudente; elle conserva les 35 000 t sur les *North Carolina* mis sur cale à la même époque, mais en portant le calibre à 406 mm, comme celui des navires japonais. La guerre devait donner un élan nouveau aux constructions navales américaines; aux six cuirassés type *North Carolina* s'ajoutaient quatre navires de 45 000 tonnes; puis, en 1940, on voyait la construction de sept autres navires de 55 000 tonnes qui, selon les déclarations de l'amiral Stark, chef de bureau des opérations, seraient armés de canons de 457 mm et feraient 33 nœuds.

En quatre années, les déplacements des navires de ligne américains et japonais en construction lors de la conférence de Washington, et détruits sur cale, sont très largement dépassés; les 45 000 à 50 000 tonnes de l'époque se rapportaient à un « déplacement normal » qui atteint près de 60 000 tonnes pour un navire de 55 000 tonnes de « déplacement Washington » (1). A aucune époque de la concurrence navale anglo-allemande de 1907-1914, l'accroissement relatif des tonnages n'a été aussi rapide.

### Les raisons de la supériorité des navires de fort déplacement

Il est bien évident que le navire de 55 000 tonnes portera plus de canons ou une cuirasse plus épaisse que le navire de 35 000 tonnes. Mais l'explication de la supériorité des navires de gros tonnage n'est pas aussi simple. Les navires se payent à la tonne, et la question est, en réalité, de savoir si, à tonnage total et dépense totale donnés, on obtiendra une puissance supérieure avec un nombre faible d'unités de gros tonnage, ou

(1) Le déplacement standard défini pour l'application de l'accord de Washington ne comprend ni le combustible, ni l'eau des chaudières, ni l'eau de réserve; il est d'ailleurs toujours possible d'embarquer en surcharge des projectiles ou autres articles non fixés à demeure; c'est ce que l'on a fait notamment au cours de cette guerre, pour les munitions de D.C.A. rapprochée.

avec un nombre plus élevé d'unités de tonnage moindre. La réponse n'est pas douteuse.

Il est évident, tout d'abord, que le gros navire peut porter des canons plus puissants que le petit. Mais l'explication ne convient pas, car on a bien rarement cherché à monter sur un navire le calibre maximum qu'il puisse porter, et les accords de Washington et de Londres, en même temps qu'ils limitaient les déplacements, prenaient soin de limiter davantage encore les calibres. Certaines constructions allemandes comme les « cuirassés de poche » type *Deutschland*, avec du 280 mm sur coque de 10 000 tonnes, ou les contre-torpilleurs de 1918, dont l'un fut longtemps en service dans la marine française sous le nom d'*Amiral Sénès*, avec du 150 mm sur une coque d'environ 1 500 tonnes, montrent qu'il n'est pas besoin de 6 000 tonnes pour porter du 155 mm ou de 35 000 tonnes pour porter du 406 mm. Au reste, on a une idée approchée du déplacement indispensable pour le 457 mm dont la marine américaine doit armer ses 55 000 tonnes, d'après l'une des rares tentatives faites pour monter sur un navire le calibre maximum qu'il puisse porter; le calibre de 457 mm fut précisément choisi par Fisher, en 1915, pour l'armement de croiseurs de bataille transformés par la suite en porte-avions. On s'accorda à trouver (Fisher parti) que les coques étaient un peu faibles pour le calibre; mais elles n'atteignaient même pas la moitié du déplacement des 55 000 tonnes américains.

La supériorité de protection est l'effet principal de l'accroissement de tonnage. Elle tient à ce que le poids de protection, à épaisseur donnée, augmente seulement comme la surface, donc moins vite que le volume ou le déplacement. Dans le cas de la cuirasse de ceinture, le poids de protection augmente même moins vite que la surface, car il n'est pas nécessaire de faire croître la hauteur de ceinture comme les autres dimensions linéaires. Si l'on consacre à la protection une même fraction du déplacement, on pourra donc augmenter l'épaisseur des blindages à mesure que le déplacement croît.

Le même raisonnement s'applique au rayon d'action; c'est l'argument que présentait la marine américaine pour se refuser, au cours des conférences de limitation des armements navals, à une

réduction du déplacement des croiseurs peu compatible avec les exigences de leurs missions dans le Pacifique.

Il y avait jusqu'ici une seule ombre au tableau; c'était l'accroissement de fraction du déplacement exigé par ce poids mort qu'est le poids de coque, à mesure que le déplacement croît. L'objection, pour des raisons multiples, a beaucoup perdu de son importance. Tout d'abord, elle en a évidemment d'autant moins que les progrès de la technique navale permettent de construire des coques plus légères; c'est ce qui arrive par l'adoption de systèmes de construction « longitudinaux » où les membrures travaillent à l'effort principal, celui de la flexion longitudinale du navire soulevé par la houle, par l'emploi d'aciers spéciaux plus résistants, par la substitution de la soudure au rivetage. D'autre part, on a examiné de plus près les hypothèses d'où résultait la proportionnalité du moment de flexion à la longueur et qui supposaient que le navire était placé sur une houle dont le rapport du « creux » à la longueur entre crêtes était constant. On a trouvé qu'elle exagérait la fatigue réellement supportée par les très grands navires. Enfin, la croissance du poids de coque avec le déplacement suppose que l'on compare des navires semblables, ce qui ne correspond pas à l'état actuel des bâtiments en service et en projet. Pour obtenir économiquement les vitesses de 30 à 32 nœuds, on a été amené à donner aux navires de ligne de 35 000 tonnes des longueurs de 240 mètres environ, très supérieures aux 190 mètres qui suffisaient aux cuirassés lents de déplacement voisin, par exemple les *New Mexico* améri-

CARACTÉRISTIQUES	North Carolina	45 000 t	55 000 t	
Longueur.....	228 60 m	228 60 m	260 m	
Largeur.....	32 90 m	35 90 m	38 20 m	
Tirant d'eau.....	8 15 m	9 55 m	9 70 m	
Armement principal.....	IX 406 mm	IX 406 mm	IX 457 mm	
Armement de défense.....	XX 127 mm XVI 40 mm XX 12,7 mm	XX 127 mm XXXII 40 mm LXIV 12,7 mm	XX 127 mm XXXII 40 mm LXIV 12,7 mm	
<i>Protection :</i>				
Ceinture.....	406 mm	508 mm (20")	457 mm (18")	
Pont blindé supérieur.....	152 mm	203 mm (8")	190 mm (7,5)	
Pont blindé inférieur.....	102 mm	127 mm (5")	114 mm (4'5)	
Puissance.....	160 000 ch	210 000 ch	250 000 ch	
Vitesse.....	31 n	31 n	33 n	
Densité des poids	Coque et accessoires..	11 200 t (31,4 %)	13 200 t (29 %)	17 800 t (32 %)
	Armement.....	8 250 t (23,2 %)	11 000 t (24 %)	13 900 t (25 %)
	Protection.....	14 200 t (40 %)	19 000 t (41,5 %)	21 200 t (38 %)
	Propulsion.....	1 950 t (5,4 %)	2 500 t (5,5 %)	3 000 t (5,4 %)
	Total (tonnes métriques).....	35 600 t	45 700 t	55 900 t

TABLEAU I. — CARACTÉRISTIQUES DE NAVIRES DÉRIVÉS DU « NORTH CAROLINA »

Le tableau ci-dessus indique, à partir des caractéristiques du North Carolina, celles des navires de ligne qu'on pourrait en faire dériver, en 45 000 et 55 000 t, en supposant, pour le premier, que tout le supplément de poids est appliqué à la protection (sauf une légère partie consacrée à l'artillerie de défense rapprochée) et, pour le deuxième, qu'il est réparti entre une augmentation de calibre (de 406 à 457 mm) et de vitesse (de 31 à 33 nœuds). On voit que dans les deux cas on est conduit à des épaisseurs de protection considérables : elles sont même telles, pour le 45 000 tonnes, qu'on utilisera probablement l'augmentation de tonnage d'une autre manière (protection des extrémités, par exemple).

cains de 33 400 tonnes; pour augmenter la résistance aux explosions sous-marines, et d'une manière générale la stabilité, on leur a donné de même une largeur très grande, qui atteint 36 mètres sur les *Bismarck*; il a donc fallu réduire le tirant d'eau, par suite la hauteur d'âme de la poutre résistante formée par les fonds et les ponts supérieurs, au moment même où l'effort appliqué augmentait avec la longueur. Il ne semble pas que les nouveaux bâtiments soient plus rapides que les anciens; on conservera donc une longueur et une largeur voisines en augmentant surtout le tirant d'eau. La fraction du poids de coque consacrée au déplacement croîtra donc moins vite que ne l'indiquent les règles de la similitude; il se peut même qu'il y ait diminution relative du poids de coque.

### Le choix du calibre : du 356 mm au 609 mm

Ainsi que nous venons de le faire remarquer, on a rarement cherché à monter sur un navire de ligne le calibre maximum qu'il puisse porter. Il n'est cependant pas douteux que ç'aurait été

là une des utilisations les plus intéressantes du tonnage et que le remplacement d'un 35 000 tonnes armé de 406 mm par un 45 000 tonnes armé de 508 mm — Fisher n'aurait pas hésité à mettre du 609 mm — déclasserait entièrement toutes les flottes de ligne en service ou en achèvement. « Il y a autant de différence entre un 343 et un 305, disait Fisher, qu'entre un 305 et une sarbacane. » Ses successeurs ont pu en faire l'expérience quand les canons de 356 mm du

(fig. 4), c'est-à-dire que le calibre croît comme la racine cubique du déplacement. C'est la simple similitude géométrique qui, pour la même pression dans l'âme, conduit à la même fatigue sur les pièces de l'affût, et, d'une manière générale, de ce prolongement d'affût qu'est le navire. On voit que, même en s'en tenant à cette règle sanctionnée par une longue expérience, il reste une marge considérable d'accroissement de calibre sur les navires de 55 000 tonnes, pour lesquels le

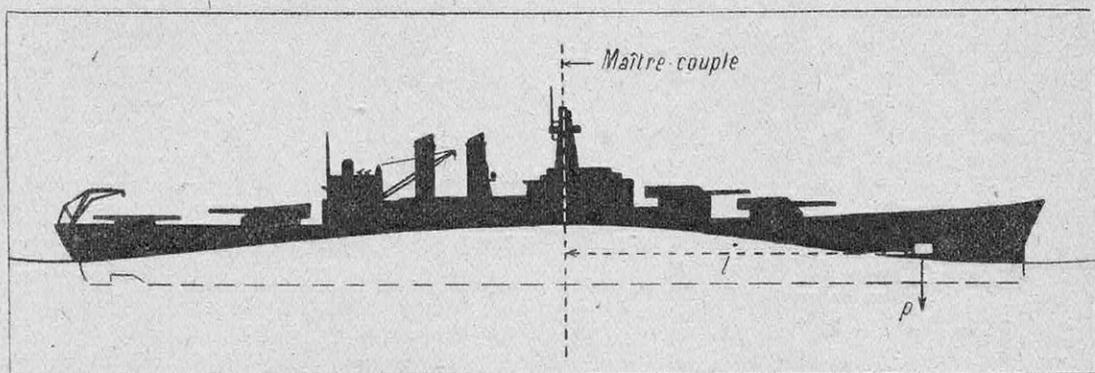


FIG. 3. — FATIGUE DU NAVIRE SUR HOULE

La fatigue principale du navire est celle que supporte la charpente lors des flexions alternées dans les longues houles. Tout élément du navire de poids  $p$  provoque dans la section maîtresse un moment de flexion proportionnel à ce poids  $p$  et à la distance  $l$  de l'élément au maître couple. La somme se traduit, pour des navires semblables sur des houles semblables, par un moment de flexion proportionnel au poids du navire et à sa longueur, donc à la quatrième puissance des dimensions linéaires. Or, le module de résistance du navire, comme celui de toute poutre, ne croît que comme le cube des dimensions linéaires. Il faudra donc augmenter l'épaisseur des matériaux de navires semblables plus que ne le demanderait la similitude géométrique, pour que le métal soit chargé au même taux; le poids de charpente absorbe ainsi une fraction du déplacement d'autant plus élevée que le navire est plus grand. Le même raisonnement, appliqué à des navires de même longueur et de déplacement différent, montre au contraire que le poids de charpente diminue quand le déplacement augmente, car le « creux » (distance des fonds au pont supérieur) augmente la hauteur d'âme de la poutre résistante formée par le navire.

*King George V* se trouvèrent opposés aux 380 mm du *Bismarck*; il y avait longtemps qu'un navire de ligne britannique n'avait dû rompre un combat engagé contre un seul navire de même déplacement. En Norvège, un *Renown* avait obligé un *Scharnhorst*, cependant plus jeune de vingt ans, à se retirer; mais celui-là pouvait opposer du 381 mm aux 280 mm de celui-ci.

Il n'y a pas plus de calibre « raisonnable » convenant à un bâtiment de déplacement donné qu'il n'y a de déplacement « raisonnable ». Il y a une limite supérieure des calibres installés jusqu'ici.

L'expérience montre que cette limite supérieure, rapportée au déplacement, suit la loi de la courbe I du diagramme

457 mm doit être considéré comme très modéré. On verra peut-être des navires de 55 000 tonnes armés de six ou huit pièces de 508 mm, ce qui absorberait au plus 20 à 25 % du déplacement.

Même si l'on renonce à tirer parti de la possibilité d'installation de très gros calibres, ce qui serait cependant l'emploi le plus utile qu'on puisse faire de la fraction de déplacement consacrée à l'artillerie, il n'est pas difficile de montrer que la répartition du tonnage global entre le nombre minimum de navires de tonnage unitaire maximum donne la plus grande puissance d'artillerie.

Supposons qu'on soit satisfait du calibre de 406 mm que porte un *Nelson*, ainsi que de la protection et de la vitesse

de ce type de bâtiment. Chaque tourelle triple d'un *Nelson* pèse environ 2 500 tonnes. Si l'on veut ajouter une quatrième tourelle triple aux trois autres, en conservant protection, vitesse... « l'équation des poids » montre que, pour la propulser, pour protéger l'emplacement de coque qu'elle occupe (le poids du blindage de l'assise et du cuirassement mobile est compris dans la tourelle), le déplacement doit être augmenté de 2,5 fois environ (1) le poids de la tourelle ajoutée, soit 6 250 tonnes. Comme chaque tourelle d'un *Nelson* (33 600 tonnes) « revient » à 11 200 tonnes, on économise donc presque la moitié du poids à accroître le tonnage du *Nelson*, au lieu de renforcer sa flotte en construisant des *Nelson* supplémentaires. Un 45 000 tonnes porterait 5 tourelles triples de 406 mm.

La course au tonnage est donc le résultat d'une gestion économique des crédits consacrés à la construction navale.

### La protection contre l'obus, la bombe d'avion et la torpille

Tant que les navires n'étaient exposés qu'à rencontrer des adversaires de surface, on pouvait hésiter entre la protection qui permet d'accepter le combat offert ou imposé avec le maximum de chances de succès, et la vitesse, qui permet de refuser ce combat. L'une et l'autre conceptions se défendaient; celle du navire puissamment protégé convenait mieux, et s'imposait même, pour un convoyeur; celle du navire rapide pour un raider.

Le raid heureux du *Scharnhorst* et du *Gneisenau*, poursuivis dans l'Atlantique par plusieurs escadres de cuirassés et de croiseurs de bataille britanniques, et parvenant à rentrer à Brest après exécution de leur mission, a été le dernier succès à l'actif de la conception du navire rapide. La poursuite et la destruction, au Cap Matapan, avec l'aide de l'avion, de l'escadre des *Zara* par une escadre de *Warspite* de 10 nœuds moins

(1) Ce chiffre de 2,5 se rapporte à des bâtiments de vitesse modérée.

rapides commença à montrer la fragilité de la vitesse; la perte du *Bismarck* en Atlantique, dans des conditions analogues, la confirma. L'avion, qui ira toujours plus vite que le plus rapide des navires, remet la protection à la mode.

Ce n'est pas qu'elle eût jamais été négligée depuis vingt ans. Les cuirasses de ceinture des plus rapides 35 000 tonnes

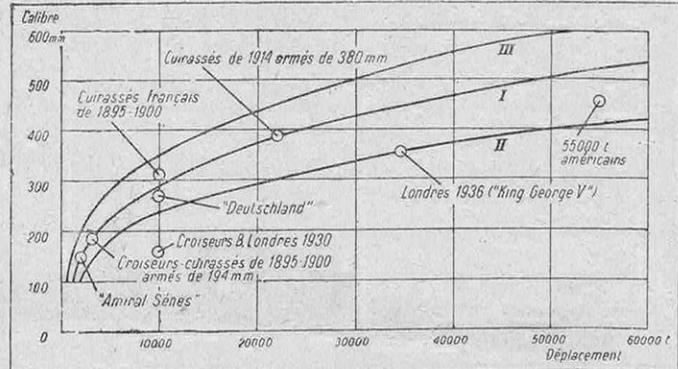
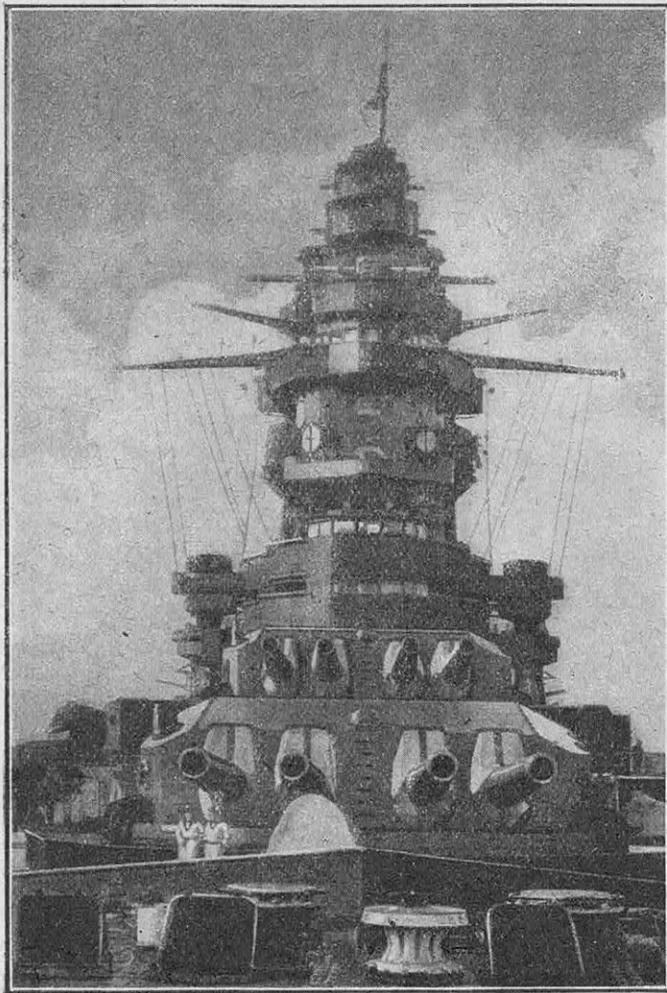


FIG. 4. — LOIS DE CROISSANCE DU CALIBRE DE L'ARTILLERIE AVEC LE DÉPLACEMENT DES NAVIRES DE GUERRE

On a représenté ci-dessus trois lois de croissance du calibre avec le déplacement, toutes trois suivant la règle de la similitude géométrique, c'est-à-dire de la proportionnalité du calibre à la racine cubique du déplacement. La première correspond aux bâtiments les plus puissamment armés d'avant 1918 (cuirassés allemands et anglais de 1914 armés de 380 mm, cuirassés français de 1900 armés de 305 mm, croiseurs cuirassés de 3 000 à 4 000 tonnes, de la même époque, armés de 194 mm); elle exigerait, sur les 55 000 tonnes, des canons d'environ 500 mm. La deuxième est celle de l'accord de Londres de 1936, qui n'a été appliquée que sur les « King George V » (35 000 t, 356 mm). La troisième est celle admise par Fisher en 1915; elle nécessiterait quelques renforcements sur la plupart des coques; elle correspond à un calibre de 600 mm environ sur un 55 000 t.

d'aujourd'hui valent celles des cuirassés les plus lents d'avant 1914; les ponts blindés qui n'atteignaient pas 100 mm au total à cette époque passent à 180 mm environ sur les navires de ligne actuels, et même à 254 mm, un pont de 152 mm et un autre de 102 mm, sur les *North Carolina*, plus lents et mieux protégés que les autres 35 000 tonnes; une protection sous-marine efficace contre les plus grosses torpilles complète cette protection contre l'attaque « aérienne » du projectile d'artillerie ou de la bombe d'avion. L'expérience du *Bismarck* résistant à une concentration de feux de navires armés de 381 et 406 mm, et coulé finalement par des salves de torpilles d'un croiseur, montre le degré d'efficacité de la protection actuelle.

Elle sera cependant sûrement accrue, et dans une proportion considérable; on



Cliché Sérurier

T W 12412

FIG. 5. — LES TOURELLES QUADRUPLES DU « STRASBOURG »

La marine française a été la première à monter sur ses cuirassés l'artillerie principale en tourelles quadruples, avec les « Flandre » de 25 000 t, en construction en 1914, qui devaient porter 12 pièces de 340 mm en trois tourelles quadruples. Cette solution a l'avantage de permettre une protection plus épaisse des tourelles pour un poids total consacré à l'artillerie. Elle facilite, en outre, l'aménagement général des superstructures, et notamment l'installation, avec des champs de battage dégagés, de la nombreuse artillerie de défense contre avions.

peut s'attendre à voir des navires de 55 000 tonnes porter la moitié de leur poids en cuirassements.

L'explication la plus simple est qu'il faut bien faire quelque chose du déplacement choisi. Si l'on ne juge pas utile d'accroître sérieusement le calibre, ni même le nombre des pièces (les 45 000 tonnes américains ne porteraient, croit-on, que les mêmes trois tourelles triples de 406 mm que les *North Carolina*), si l'on trouve que la vitesse n'a plus le même intérêt depuis les progrès de l'aviation, le renforcement de la protection est le

seul débouché possible du déplacement ajouté.

Si le navire de ligne d'aujourd'hui est largement protégé contre le calibre d'artillerie qu'il porte, on avait un peu trop facilement accepté l'idée qu'il était par cela même protégé contre l'avion. L'exemple du *Bismarck* montre qu'il ne suffit pas de recouvrir de ponts blindés épais l'appareil propulsif et les soutes à munitions, si l'on tolère, sur l'avant et l'arrière, des extrémités décuirassées exposées à la bombe et à la torpille d'avion. Des avaries au gouvernail et aux lignes d'arbres aboutissent au même résultat qu'une bombe dans la machine. Il faudra certainement, ensuite, examiner à nouveau le problème de la protection contre la torpille légère et s'occuper de la « protection de la vitesse ». Vingt mille tonnes y trouveront aisément leur emploi.

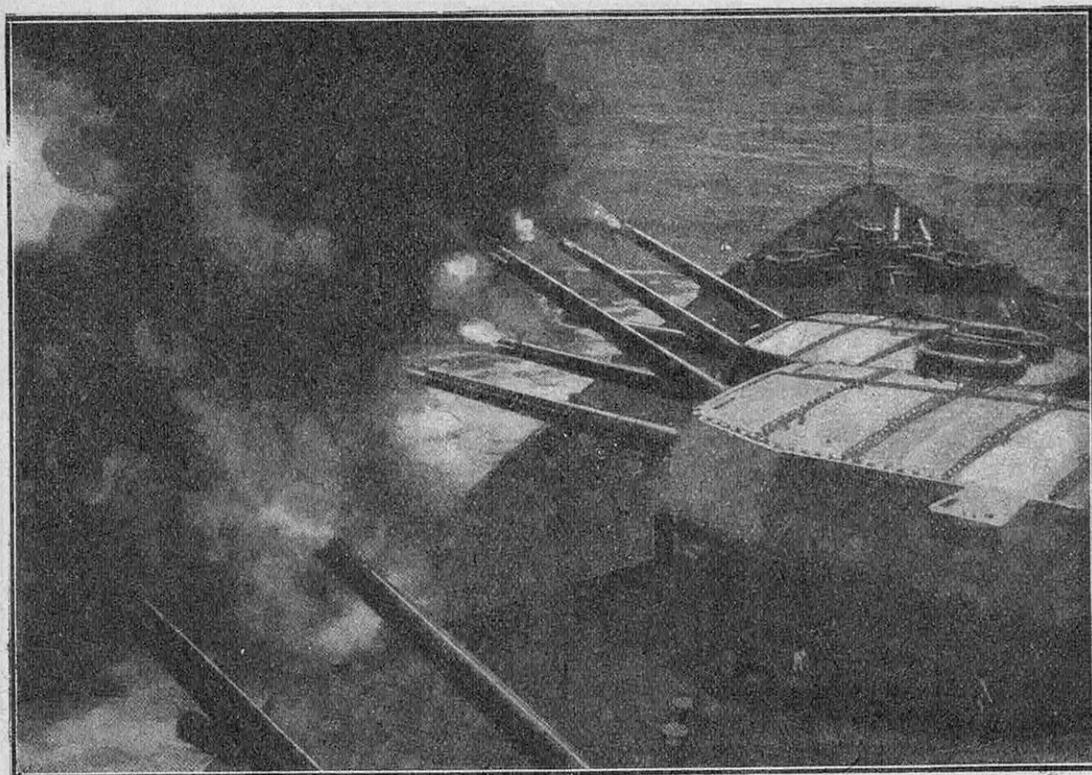
### La vitesse

L'accroissement de tonnage peut être appliqué aussi bien à un gain de vitesse qu'à un renforcement de protection.

Le poids au cheval des appareils propulsifs avec chaudières à petits tubes et turbines à engrenages ne dépasse guère aujourd'hui une dizaine de kilogrammes au cheval de puissance maximum sur les navires de 2 000 à 3 000 tonnes; il est un peu plus élevé et atteint une douzaine de kilo-

grammes au cheval sur les navires de ligne. Non pas qu'ils soient, ou aient besoin d'être, plus robustes sur un grand bâtiment que sur un petit; mais les hélices plus lentes et les lignes d'arbres plus longues absorbent rapidement un ou deux kilogrammes au cheval. A ce poids, l'appareil propulsif ne représente plus qu'une fraction très faible du déplacement, 2 000 tonnes environ sur 35 000 pour les navires de ligne les plus récents.

Il ne faudrait pas en conclure que la vitesse n'est pas si chère qu'on le croit et qu'on ne gagnera pas grand'chose à



T W 12411

FIG. 6. — LA PLAGE AVANT DU « RODNEY »

L'artillerie du « Rodney », IX 406 mm en trois tourelles triples, est concentrée sur sa plage avant. Le « Rodney » est, avec le « Nelson », le plus puissamment armé des navires de ligne britanniques; ce sont les seuls bâtiments britanniques portant du 406 mm. On sait que, malgré la puissance de son feu, le « Rodney », engagé contre le « Bismarck », ne suffit pas à le couler; il fallut achever le cuirassé allemand à la torpille.

la réduire. Au facteur vitesse doit être, en effet, imputé, en bonne justice, une fraction notable de la charpente et de la cuirasse. C'est que l'exigence de vitesses de 30 à 32 nœuds impose au navire un allongement qui est aussi coûteux par le poids de charpente que par le poids de cuirasse nécessaire pour recouvrir les ponts d'un navire aussi long.

En effet, ce n'est que par une approximation très grossière que l'on peut admettre une loi de résistance du navire à l'avancement proportionnelle au carré de la vitesse. La résistance de frottement suit bien une loi régulière de cet ordre, mais la résistance « de rencontre », celle qui tient aux vagues soulevées par le navire, est beaucoup plus variable. Lorsque la vitesse croît, on constate, pour une valeur bien déterminée (1), une montée brusque de la résistance de rencontre.

(1) Telle que  $\frac{V}{\sqrt{L}} = 2,05$ , V étant la vitesse en nœuds, L la longueur en mètres.

Jusque-là, elle variait comme le carré de la vitesse; l'exposant passe ensuite à 4 ou 5. Même avec les appareils propulsifs actuels, très légers, on trouve intérêt sur les navires de ligne à allonger le navire plutôt que d'accepter l'augmentation de puissance. C'est pourquoi tous les navires de ligne dont la longueur est voisine de 240 mètres ont très sensiblement la même vitesse maximum voisine des 32 nœuds qu'indique l'équation précédente. Les *North Carolina*, un peu moins longs (228,60 m) doivent faire environ un nœud de moins (1).

(1) On indique pour ces navires une puissance « normale » de 115 000 ch et une vitesse « normale » de 27 à 28 nœuds. On n'attribuera à ces indications qu'une valeur modérée, tout comme à l'évaluation officielle de 27 nœuds pour la vitesse « normale » du *Bismarck* dont personne ne doute qu'elle approchait 32 nœuds. Toute la question est de savoir quelle marge on se réserve entre la vitesse normale et la vitesse maximum, qui peut être soutenue pendant toute la durée d'un combat et qui est donc la seule intéressante. On peut être assuré que la marine américaine n'a pas construit des coques de 230 mètres pour le

Si on ne veut pas augmenter la vitesse, ou si on ne veut l'augmenter que modérément, l'avantage des gros déplacements sera de donner cette vitesse plus économiquement, l'économie ne tenant pas alors à la réduction (relative) de puissance de l'appareil propulsif, mais à l'abandon d'un type de navire de longueur disproportionnée par rapport à son déplacement. Le navire de 55 000 tonnes, en 250 mètres, sera semblable aux cuirassés britanniques et allemands de 1914, qui donnaient 23 nœuds avec 190 mètres de longueur et un déplacement d'environ 23 000 tonnes; tandis que les coques des 35 000 tonnes actuels sont semblables à celles des croiseurs de bataille si décriés de cette époque, d'une *Queen Mary* britannique par exemple.

### L'avenir du navire de ligne

Vingt mille tonnes supplémentaires permettront certainement de surclasser d'une manière absolue, dans un combat naval, tous les navires de ligne en service ou en construction. Permettront-elles aux nouveaux bâtiments de résister à l'aviation? C'est une autre question, seul plaisir de faire une économie de mazout dans la navigation à 28 nœuds, sans prendre garde au supplément de poids de coque et de protection qu'exige un navire de cette longueur. Les coques de 35 000 tonnes à 28 nœuds existent; ce sont celles des *New Mexico* de 190 m, construites 20 ans plus tôt, et auxquelles on avait raison à cette époque de ne pas donner cette vitesse, car les appareils propulsifs pesaient alors au moins 35 kg par cheval. Depuis 1918, un seul type de navire de ligne a eu une vitesse inférieure à celle qu'indique la règle ci-dessus; c'est le *Nelson* de 216 m pour 24 nœuds. Ce fut une des rares grosses erreurs techniques de la marine britannique, qui aurait dû monter une machine pour 30 nœuds sur un navire de cette longueur, ou donner une longueur réduite à un navire de cette vitesse. Il n'y a aucune raison de supposer que la marine américaine ait renouvelé cette erreur.

En réalité, le problème du choix de la vitesse en fonction de la longueur est un peu plus compliqué; il fait intervenir en outre le déplacement, par l'intermédiaire du « coefficient de finesse globale » ( $L^3/\sqrt{V}$ ). Le chiffre donné par la règle indiquée doit être considéré seulement comme un minimum, dépassé par les navires de déplacement faible pour leur longueur (tels le *Scharnhorst* et le *Gneisenau* de 26 500 tonnes ou les croiseurs de 10 000 tonnes).

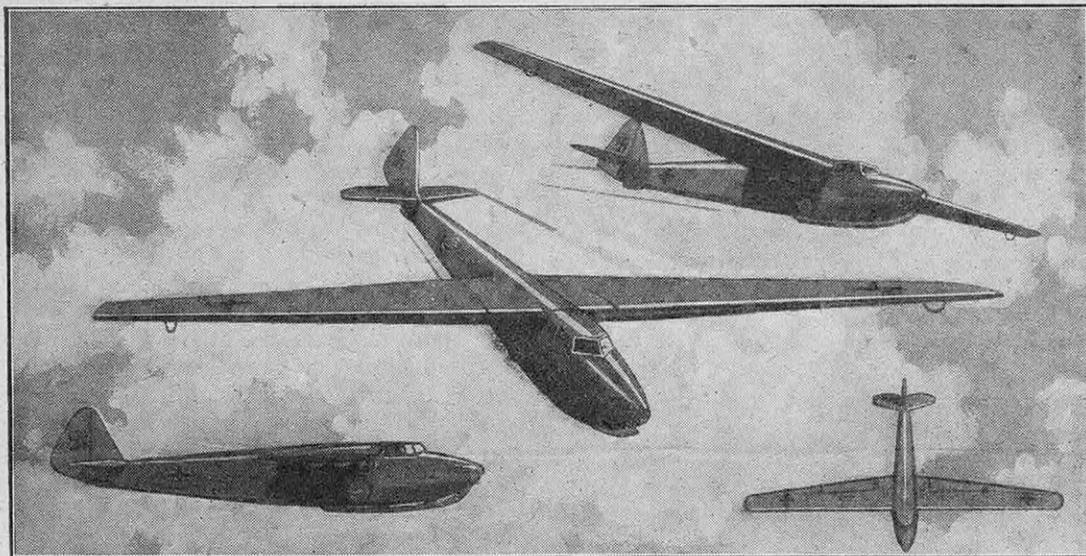
qui dépend uniquement des progrès que réalisera celle-ci pendant les quatre ans consacrés à la construction de ceux-là.

Il n'y a pas deux ans, l'aviation allemande fit un gros progrès en appliquant à l'attaque du navire, au lieu d'hydravions Heinkel He-115, des Junkers Ju-87 de moins de 4 000 kg en charge qui venaient de faire leurs preuves sur le front de Pologne. Les résultats, bien qu'intéressants, parurent encore insuffisants; l'aviation allemande emploie aujourd'hui, pour l'attaque en piqué des navires de guerre, des Junkers Ju-88, de 11 500 kg en charge, qui font 465 km/h au lieu de 350, et emportent 1 800 kg de bombes. Mais le Ju-88 est un appareil déjà démodé; n'est-ce pas en juillet 1939 qu'il battait des records de vitesse, avec 2 tonnes de charge utile, sur 2 000 km, par plus de 500 km/h? Le bombardier dernier cri de 1941, c'est le Heinkel He-119, avec ses deux moteurs DB-605 de 24 cylindres et de 2 100 ch. Est-ce à lui qu'auront affaire les 55 000 tonnes américains dont on achève en ce moment les plans? Comment peut-on penser que les moteurs de 24 cylindres de 1944 donneront encore 2 100 ch, quand les 12 cylindres dont ils dérivent donnent en pointe, en 1941, 1 700 ch? Le moindre « Stuka » bimoteur de 1944, avec ses 24 cylindres de 4 000 ch chaque, pèsera 25 tonnes, fera 750 km/h, et lâchera en piqué des bombes de 2 500 kg, dont les 2 000 kg de penthrite couperont aussi aisément en deux les cuirassés de 55 000 tonnes que les 350 kg d'une mine magnétique coupaient en deux le cargo qui la rencontrait par petits fonds.

Mais peut-être n'y aura-t-il pas besoin de bombes de 2 500 kg pour venir à bout d'un cuirassé dernier modèle, et les salves de torpilles à 150 kg de charge dans les hélices et le gouvernail y suffiront-elles. Car l'expérience la plus ancienne montre qu'il faut plus de quatre ans aux navires de ligne pour changer à la fois de moyens de propulsion et d'évolution.

Camille ROUGERON.

# L'ARME NOUVELLE DE LA CAMPAGNE DE CRÈTE



Le transport des troupes par trains de planeurs remorqués

**S**ous la forme d'un monoplacement extrêmement fin et léger, le planeur était employé bien avant la guerre actuelle, particulièrement en Allemagne, en U.R.S.S. et en Pologne, comme engin de sport. L'attrait exercé sur la jeunesse allemande par le vol à voile n'a pas peu contribué à lui donner le goût de l'aviation et à faciliter son entraînement au pilotage. On peut donc dire que c'est au planeur que la Luftwaffe doit d'avoir pu recruter sans difficulté les énormes effectifs des armées aériennes auxquelles l'Allemagne est redevable de ses succès. Depuis quelques mois, le planeur est devenu un engin militaire au même titre que le chasseur ou le bombardier. Remorqué par de gros appareils de transport, il a mission de déposer des troupes chez l'ennemi en passant par-dessus les lignes ou par-dessus la mer, mission jusqu'ici réservée au parachutiste ou à l'avion de transport.

Le dessin ci-dessus représente le type de planeur utilisé au cours de ces opérations d'un genre absolument inédit. Cet appareil, d'une envergure de 21,3 m et de 27 m<sup>2</sup> de surface portante, est capable de transporter huit soldats et pèse 900 kg avec son équipage. Sa charge alaire est donc très faible et, abandonné à lui-même, sa vitesse de descente à pleine

charge n'est que de 1,22 m/s. Cette faible vitesse lui permet de manœuvrer avant de se poser et de choisir dans d'assez larges limites son point d'atterrissage, ce que ne peut faire le parachutiste. Sa faible vitesse d'atterrissage lui permet de se poser à peu près n'importe où sur une quille à ressort. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, un train de planeurs ne diminue pas sensiblement la vitesse de l'appareil qui le remorque. Au cours de la campagne de Crète, les avions remorqueurs de ces trains étaient des Junkers 52.

Le Junkers Ju 52, appareil commercial très répandu avant la guerre, est un trimoteur dont la version civile pouvait transporter dix-sept passagers. Il a été employé en Norvège, en Hollande pour des transports de troupes, et en Libye pour le ravitaillement des armées Rommel. Il est capable de remorquer un train de trois à six planeurs, ce qui représente 24 à 48 hommes en supplément.

Le quadrimoteur à grand rayon d'action Focke Wulf « Kurier », qui prend une part très active dans l'Atlantique à la lutte contre les convois britanniques, peut, lui, remorquer huit à dix planeurs, soit un supplément de 64 à 80 hommes.

# LE BOMBARDEMENT EN PIQUÉ

par Pierre DUBLANC

*En 1918, le navire de guerre était un des objectifs les plus difficiles à atteindre pour un bombardier, car la puissante artillerie antiaérienne de l'adversaire interdisait à l'avion le lancement horizontal à faible vitesse et faible altitude, le seul qui fût d'un rendement acceptable sur un objectif de dimensions restreintes. C'est pour remédier à l'impuissance du bombardier contre le navire que l'on eut l'idée de pratiquer le lancement en piqué et en semi-piqué, méthode qui s'est révélée très précise, et qui rend inefficaces les canons de défense éloignée. Le bombardement en piqué n'a pas tardé à devenir le procédé de lancement le plus couramment employé dans les attaques de jour contre toutes sortes d'objectifs (bateaux de commerce, chars, usines, etc.). En même temps, les appareils qui le pratiquent se sont adaptés à leur mission, et ont été munis de dispositifs propres à améliorer la précision (freins de piqué) et à faciliter considérablement le travail du pilote (lancement semi-automatique). Le bombardier en piqué commence seulement à donner la mesure de ses possibilités. Toutes les autres armes (navires, chars) doivent désormais compter avec lui, et consacrer une grande part de leur puissance de feu à la lutte contre ses attaques rapprochées.*

**L**ES opérations de guerre, depuis deux ans, ont consacré l'efficacité du bombardement en piqué. Sait-on que l'origine de ce mode de bombardement est française et date de 1918? Un médecin de la marine, du nom de La Burthe, pilote aviateur à l'escadrille de chasse maritime de Dunkerque, s'en était fait le protagoniste. Le lieutenant de vaisseau Teste adopta l'idée et entreprit quelques essais à Saint-Raphaël en 1920. Teste modifiait un peu l'idée primitive; il utilisait le piqué comme manœuvre de présentation et lançait sa bombe en vol rasant au cours du palier consécutif au piqué. Ce n'est que vers 1927 que l'aviation navale américaine reprit l'idée du lancement au cours du piqué lui-même, et deux biplans furent spécialement réalisés dans ce but : le Curtiss biplace F. 8. C. 4., dit « Helldiver », moteur Wasp de 450 ch, porteur d'une bombe de 105 kg, et le Martin « diving-bomber » XT 5. M 1, biplace également, moteur Hornet de 525 ch et porteur d'une bombe de 450 kg. A l'époque, le Curtiss donna aux essais de meilleurs résultats que le Martin, et finalement, en 1930, le porte-avions *Saratoga* fut équipé d'une escadrille de Curtiss « Helldiver ».

Vers la même époque, en Allemagne, à l'instigation de Udet, des essais de « Sturzbomber » furent effectués au

moyen d'un Junkers K 47 construit en Suède. En France, c'est vers 1933 que quelques essais furent entrepris à Saint-Raphaël qui aboutirent, en 1938, à la réalisation du Loire-Nieuport LN 40. En 1936, l'efficacité des premiers Sturzbomber allemands du type Henschell 123 fut confirmée au cours de la guerre civile d'Espagne, et l'expérience acquise donna naissance, en 1937, au remarquable « Stuka », Junkers Ju 87 de l'ingénieur Pohlmann, construit en grande série et qui se révéla en Pologne, en Norvège et au cours de la campagne de France de 1940. En Grande-Bretagne, on vit sortir, en 1939, le Blackburn « Skua » destiné aux porte-avions. Tous ces appareils étaient des monomoteurs. C'est peut-être au Hollandais Fokker que l'on doit, dès 1936, la première réalisation d'un bimoteur de bombardement en piqué : le Fokker G. 1. Le 16 mai 1937, l'attaque du *Deutschland* à Ivica fut menée en piqué par des bimoteurs légers de construction russe du type SB, dits « Katiouska ». Le 26 septembre 1939, le porte-avions anglais *Ark Royal* fut atteint de près par un Heinkel 111 lançant en semi-piqué. En 1940-1941, on voit la Luftwaffe étendre la tactique du bombardement en piqué aux bimoteurs Junkers Ju 88, « super-Stuka ». Le bombardement en piqué est devenu aujourd'hui le mode de bombar-

dement le plus employé de jour; le bombardement en ligne de vol horizontal étant de plus en plus réservé pour les attaques nocturnes.

### Le lancement en piqué réduit la durée de trajet de la bombe à moins de 5 secondes

Un bombe lancée à l'altitude de 3 500 m, en ligne de vol horizontal, met environ 27 secondes pour atteindre le niveau de la mer, où elle parvient à une vitesse de 250 m/s. Lancée suivant la même méthode à l'altitude de 1 000 m, elle ne mettra que 15 secondes, et parviendra au niveau de la mer avec une vitesse de 140 m/s. Supposons que l'avion, se trouvant à l'altitude de 3 500 m, piqué presque à la verticale jusqu'à l'altitude de 1 000 m et lance sa bombe à ce moment. Admettons que la vitesse atteinte au cours de ce piqué soit de 400 km/h seulement (110 m/s), il en résulte que la bombe larguée à 1 000 m possédera au départ une vitesse de 110 m/s qui s'ajoutera aux 140 m/s résultant de la chute libre.

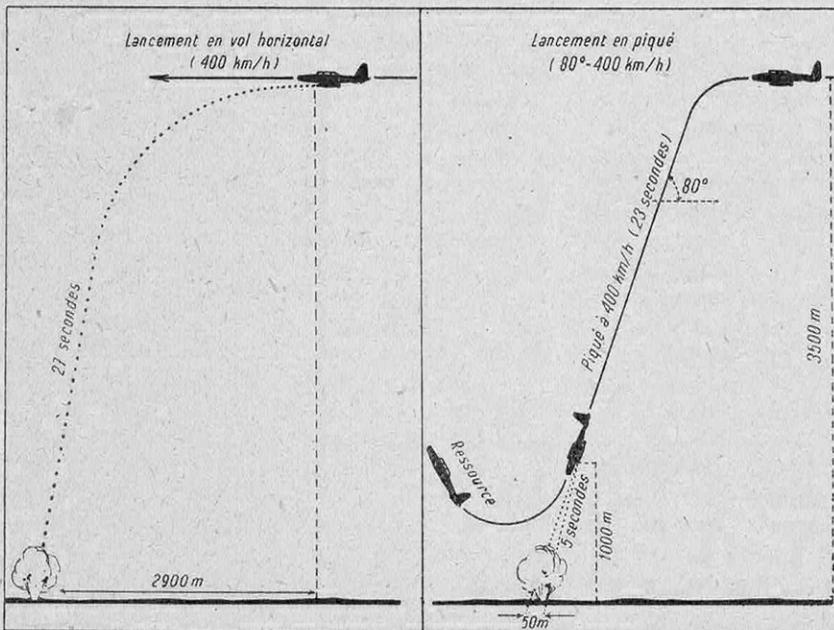


FIG. 1. — LANCEMENT EN VOL HORIZONTAL ET LANCEMENT EN PIQUÉ

Lâchée en vol horizontal d'une altitude de 3 500 m, l'avion volant à 400 km/h, la bombe met 27 secondes pour atteindre le sol (de 1 000 m, elle mettrait 15 secondes). Lâchée en piqué à 1 000 m du sol, elle suit une trajectoire presque rectiligne, et le temps de chute est ramené à 5 secondes, valeur pratiquement indépendante de l'angle de piqué (80, 85 ou 90°).

Angle de piqué	Ecart en direction en mètres		Ecart en portée en mètres	
	à 360 km/h	à 540 km/h	à 360 km/h	à 540 km/h
80°	3,10	3,60	17,50	21
85°	1,50	1,80	"	"
90°	0	0	"	"

TABLEAU I. — ÉCARTS EN DIRECTION ET EN PORTÉE DANS LE LANCEMENT EN PIQUÉ

Ces écarts sont calculés pour une erreur angulaire de pointage de 1 degré, soit latéralement (« cap »), soit dans le sens vertical, le lancement étant supposé effectué d'une hauteur de 1 500 m au-dessus de l'objectif (d'après Rougeron, « L'aviation de bombardement »).

La vitesse d'arrivée au niveau de la mer atteindra 250 m/s, tout comme si la même bombe avait été lancée en chute libre de l'altitude de 3 500 m, mais avec cette différence qu'au lieu de mettre 27 secondes à tomber de 3 500 m, elle n'aura mis que 5 secondes seulement.

### La précision du lancement

La réduction de la durée de trajet de la bombe est particulièrement intéressante pour atteindre des buts mobiles, tels que des navires à la mer, parce qu'elle interdit toute manœuvre de dérobement.

En outre, la trajectoire du projectile se rapproche de la ligne droite, ce qui permet un pointage direct à l'œil. En dehors de l'influence du facteur altitude, l'expérience a montré que la précision et la justesse des impacts se ramenaient à la précision et à la justesse du pilotage au cours du piqué lui-même. Un avion de bombardement en piqué doit donc rester facile à piloter même en volant à la verticale, et surtout précis quant au pilotage dans le

plan de symétrie de l'appareil. La principale erreur, en effet, dans le bombardement en piqué ou semi-piqué, résulte d'une erreur de pilotage dans le sens vertical et non dans le sens latéral, ainsi qu'il ressort des chiffres du tableau page 196 (1).

Il faut noter que le lancement n'a pas besoin d'être effectué en piqué à la verticale rigoureuse. L'avantage de réduction de trajet et de précision est sensiblement le même pour un lancement en piqué à 80° ou 70° ou même 65° (lancement en semi-piqué), au cours duquel la trajectoire sera peu incurvée par la pesanteur, car le temps de chute est pratiquement indépendant de l'angle de piqué si celui-ci est voisin de 90°.

L'avion bombardier est en

(1) Aux écarts résultant de ces erreurs, il faut ajouter ceux provenant du temps mort qui s'écoule entre le pointé du pilote et le déclenchement de la bombe. Pour deux dixièmes de seconde seulement, cet écart atteint 5,20 m pour une vitesse de lancement de 540 km/h et un angle de piqué de 80°.

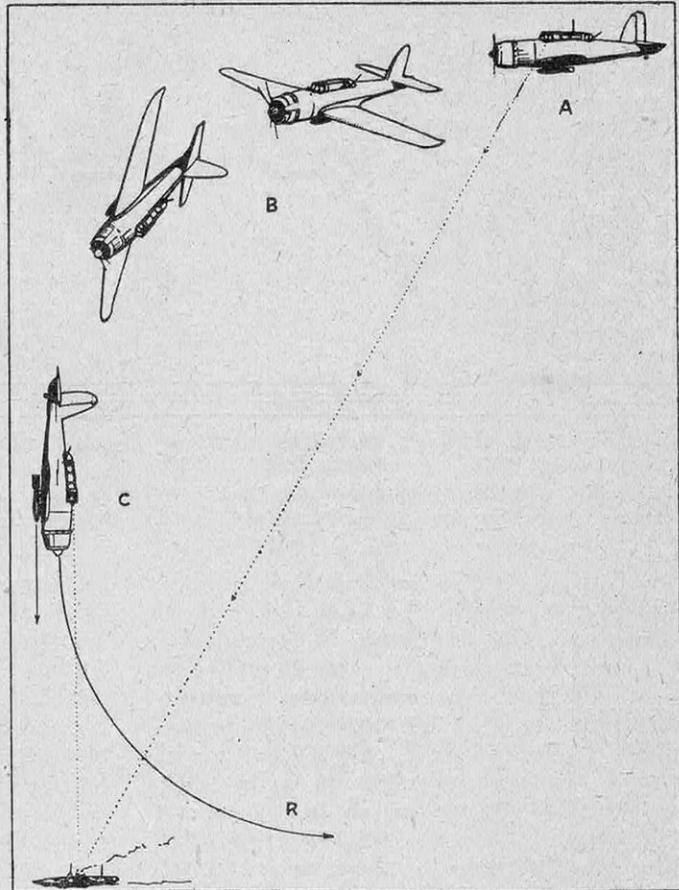


FIG. 3 — MANŒVRE DE PIQUÉ A LA VERTICALE D'UN AVION MONOMOTEUR

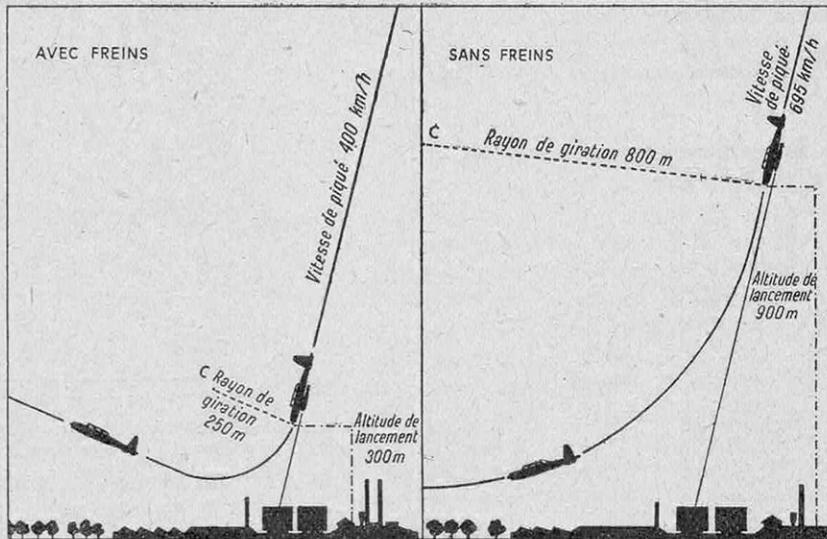


FIG. 2. — LES FREINS DE PIQUÉ PERMETTENT UN LANCEMENT A PLUS FAIBLE ALTITUDE, DONC PLUS PRÉCIS

Sans freins, le Junkers 87 ferait 695 km/h et le rayon de la ressource devrait atteindre 800 m; avec freins, la vitesse est réduite à 400 km/h et le rayon de la ressource peut être réduit à 250 m sans inconvénient pour le pilote.

Tandis qu'avec un Stuka bimoteur le pilote peut repérer son but dans l'axe de l'appareil et effectuer immédiatement la manœuvre de piqué dans un plan vertical, avec un monomoteur, le pilote repère son but latéralement. Supposons que l'appareil se présente en vol horizontal en A et que le pilote voie sur la gauche le but à atteindre; il vire sur l'aile gauche en B, passe à la verticale en C, lâche sa bombe et se dégage par la ressource R.

quelque sorte un canon volant, la vitesse initiale du projectile étant égale à la vitesse de vol de l'avion. Si le projectile est

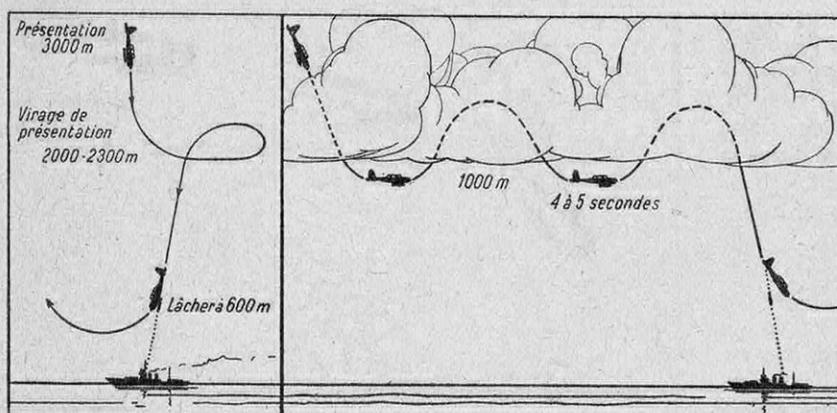


FIG. 4. — DEUX MÉTHODES GÉNÉRALES D'ATTAQUE EN PIQUÉ PAR TEMPS CLAIR ET PAR TEMPS COUVERT

Par temps couvert, l'avion prend la vue pendant 4 ou 5 secondes, puis retourne dans les nuages et en ressort au voisinage de la verticale de l'objectif.

lancé en ligne de vol horizontal, la courbure de la trajectoire sous l'effet de la pesanteur sera maximum. Si le projectile est lancé à la verticale, cette courbure est nulle, et la trajectoire devient rigoureusement rectiligne. La supériorité de précision du lancement en piqué vient précisément de la suppression ou de la faible valeur de l'incurvation de la trajectoire.

Plus l'altitude de lancement sera faible, plus la durée de trajet sera réduite, et, dans le cas d'un lancement en semi-piqué, moins la trajectoire sera arquée. Or, l'altitude minimum de lancement est fonction du rayon de la ressource effectuée par l'avion après son piqué, et cette ressource dépend de la vitesse acquise par l'avion au cours du piqué.

### Le problème de la ressource : Le piqué doit être freiné

Dès le début des exercices de piqué, on s'aperçut que l'avion lancé à la verticale prenait une trop grande vitesse, de l'ordre de 600 à 700 km/h, selon la finesse de l'avion (1). Le moteur s'emballait; les commandes devenaient dures et le pointage difficile. Lors de la ressource consécutive au piqué, les accélérations centrifuges pouvaient atteindre des valeurs dépassant quatre et cinq fois l'accélération de la pesanteur. Bien entendu, les avions de bombardement en piqué sont construits pour résister aux efforts du piqué et des ressources, avec un coefficient de sécurité élevé. Mais la machine humaine n'a pas été étudiée pour subir de telles

(1) En 1939, un Curtiss « Hawk » 75 A atteignit en piqué la vitesse de 925 km/h.

accélérations qui produisent parfois la perte de conscience du pilote.

Telles furent, entre 1930 et 1935, les grosses objections faites au bombardement en piqué.

Le problème fut résolu à partir de 1936 en limitant la vitesse de piqué à une valeur convenable au moyen de freins aérodynamiques. Le premier avion muni de ce genre de frein de piqué pa-

raît avoir été le bimoteur Fokker G. 1 de 1937 qui limitait la vitesse à 470 km/h. Sur le Junkers Ju 87, dit « Stuka », les volets de freinage limitent la vitesse de piqué à 400 km/h, alors que, sans frein, le Ju 87 atteindrait en piqué 695 km/h. Or, à 700 km/h, le pilote devrait, sous peine d'être « sonné », commencer à redresser à 800 m, ce qui impliquerait une altitude de lancement de 900 m. Avec une vitesse de piquée de 400 km/h, l'avion peut être redressé à 250 m et le lancement de la bombe peut être ef-

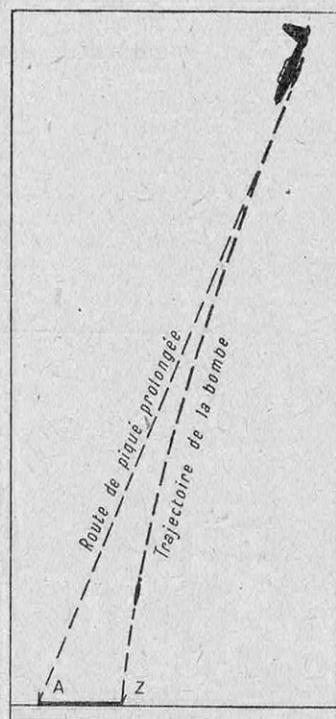


FIG. 5. — ÉCART EN PORTÉE DANS LE LANCEMENT EN SEMI-PIQUÉ

Sous l'action de la pesanteur, la trajectoire de la bombe est incurvée. L'écart  $\angle A$ , pour un angle de piqué de  $80^\circ$  et une altitude de lancement de 1500 m, atteint 53 m à 540 km/h et 88 m à 360 km/h; il est encore de 30 m à 540 km/h, et 50 m à 360 km/h dans le cas d'un lancement à 500 m sous  $80^\circ$ .

fectué à l'altitude de 300 m, ce qui permet de profiter des avantages de trajectoires très peu incurvées et de durées de chute réduites à 2 ou 3 secondes.

Aujourd'hui, tous les avions de bombardement en piqué sont munis de freins de types divers, intrados, extrados, volets de bord d'attaque type Ju 87 et volets type Ju 88, dont la surface de freinage est en forme de grille.

### Dispositif de lancement pour bombe centrale à bord d'un monomoteur

Le résultat de ce freinage de

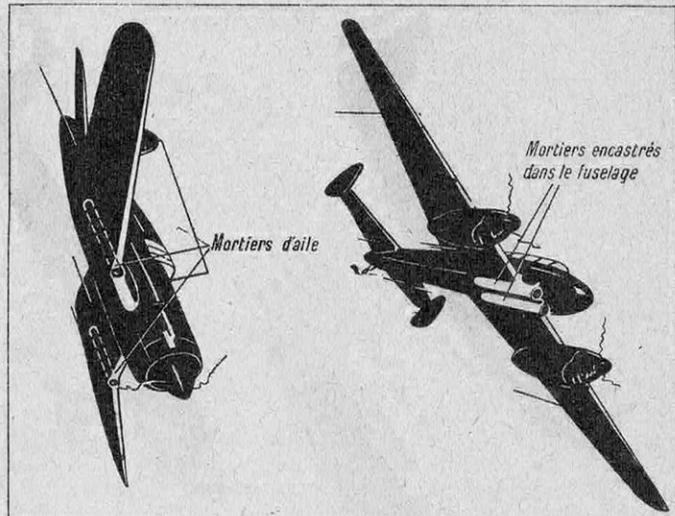


FIG. 7. — DEUX DISPOSITIONS POSSIBLES POUR DES MORTIERS LANCE-BOMBES A BORD D'UN AVION

A gauche, cas d'un monomoteur; à droite, cas d'un bimoteur. Le mortier lance-bombes pourrait être l'appareil de lancement des bombardiers en piqué de demain, à moins que ce ne soit la bombe fusée. Ces procédés s'imposeront un jour, du fait de la limitation des vitesses de piqué au moyen de freins, aux alentours de 400 km/h.

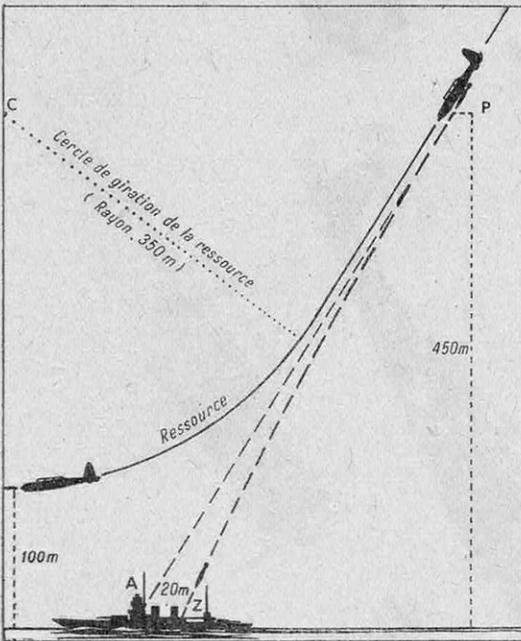


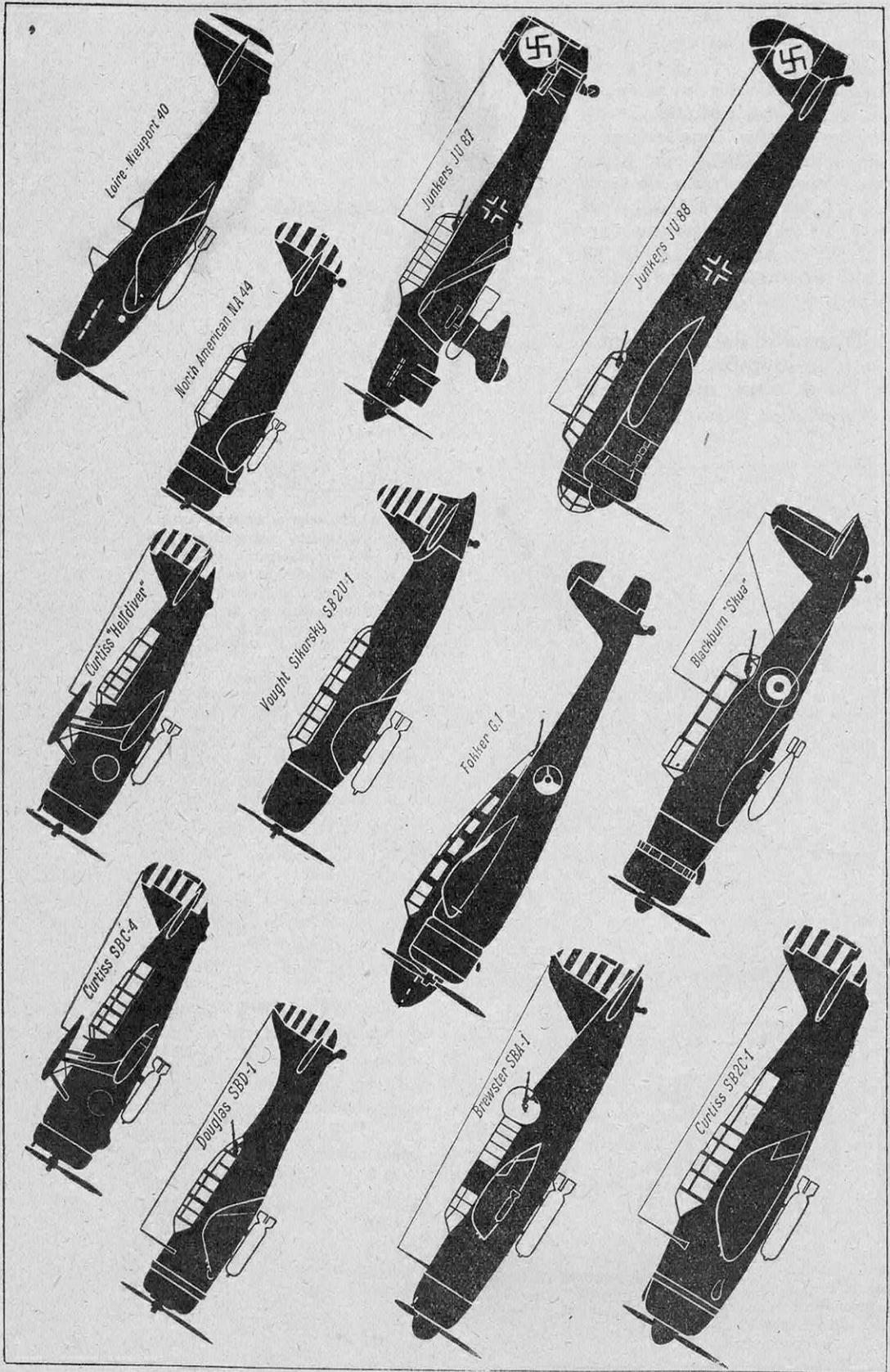
FIG. 6. — UN MORTIER LANCE-BOMBES PEUT-IL AMÉLIORER LE LANCEMENT EN PIQUÉ ?

Le « Stuka », freiné à une vitesse de piqué de 400 km/h (110 m/s), lâche sa bombe en P, à l'altitude de 400 ou 500 m, sous un angle de 80° par exemple. S'il n'y avait pas de pesanteur, la bombe parcourrait le trajet PA en 4,5 secondes. En fait, la bombe acquiert du fait de la pesanteur une vitesse supplémentaire de 90 m/s environ. Elle arrive donc à une vitesse de 200 m/s et la durée de trajet est réduite à 3 s environ. La trajectoire est incurvée et la distance AZ est de l'ordre de 20 m. Si la bombe pouvait être éjectée de l'avion avec une vitesse de 50 m/s, la vitesse d'arrivée passerait à 250 m/s, la durée de trajet serait réduite de 3 à 2 s, et la distance AZ diminuerait de 25 %. c'est-à-dire tomberait approximativement de 20 à 15 m dans le cas considéré.

l'avion au cours de son piqué est que la bombe, aussitôt lâchée, tend à dépasser l'avion. Dans le cas d'un monomoteur dont la bombe est suspendue sous le fuselage, elle risque donc d'accrocher l'hélice. L'inconvénient fut éliminé par un dispositif dégageant la bombe du fuselage au moment du lancement (dispositifs Junkers en Allemagne et Schuyler et Miles aux Etats-Unis). Ce dispositif consiste en une fourche basculante qui accompagne le projectile avant sa libération définitive qui a lieu sous grand angle.

### Les dispositifs semi-automatiques de pilotage et de lancement en piqué

Le « Stuka » Ju 87 dispose d'un appareil de pointage et de pilotage automatiques pour effectuer la manœuvre du piqué et celle de la ressource. Le pilote se présente au-dessus de son objectif en ligne de vol horizontal, le reconnaît et le prend dans son viseur (probablement un viseur où la verticale est donnée par un gyroscope). Puis le pilote règle son appareil pour une altitude de lancement déterminée : 350 m par exemple. Dès lors, il n'a plus qu'à presser sur un bouton. Une minuterie précise au dixième de seconde se met en route, commandant la



## LES PRINCIPAUX TYPES D'AVIONS POUR LE BOMBARDEMENT EN PIQUÉ

**Le Loire-Nieuport 40 français.** — C'est un avion de bombardement en piqué destiné à équiper les porte-avions. Sa construction est métallique et les ailes sont repliables le long du fuselage. Envergure 14 m ; longueur 9,75 m ; poids total 2 500 kg. Il est équipé d'un moteur Hispano-Suiza de 690 ch. Sa vitesse maximum au sol est de 320 km/h et à 4 000 m de 380 km/h. Il monte à 4 000 m en 10 minutes.

**Le Junkers 87 allemand.** — Cet appareil qui a fait ses preuves sur tous les théâtres d'opérations et même contre les navires, est aujourd'hui bien connu. Il est équipé d'un moteur Jumo 211 de 1 000 ch ; sa faible vitesse et l'infériorité relative de son armement de défense, constitué par une seule mitrailleuse mobile, le rendent vulnérable aux attaques des chasseurs ; mais sa maniabilité est remarquable. Pour le bombardement en piqué, il est équipé de freins aérodynamiques qui ramènent la vitesse maximum de l'appareil de 695 à 400 km/h. Il peut emporter une bombe de 500 kg sous le fuselage, accrochée à un dispositif spécial destiné à permettre le lancement sans que la bombe vienne heurter le cercle de l'hélice ; il emporte, en outre, deux bombes de 50 kg sous l'aile. Envergure 13,80 m ; longueur 10,80 m ; poids à vide 2 760 kg ; poids total 4 250 kg. La vitesse maximum à 4 000 m est de 390 km/h, la vitesse minimum est de 107 km/h ; le rayon d'action varie entre 550 et 800 km suivant la charge utile.

**Le Junkers 88 allemand.** — Cet appareil conçu comme avion de combat a été adapté par la suite au bombardement en piqué, en particulier par l'adjonction de freins aérodynamiques. L'équipage comprend trois hommes : le pilote, le bombardier et le radio-mitrailleur. L'armement comprend une mitrailleuse mobile dans le fuselage, une mitrailleuse dans la tourelle inférieure et 4 mitrailleuses dans le dôme de la carlingue. Le poids total est de 11 500 kg et la vitesse maximum de 465 km/h. Il emporte 16 bombes de 50 kg à l'intérieur du fuselage, dans une soule placée immédiatement derrière le poste d'équipage ; 8 bombes de 50 kg dans la soule arrière ; 4 bombes de 250 kg dans les porte-bombes situés sous l'aile.

**Le Blackburn « Skua » anglais.** — C'est un chasseur-bombardier en piqué équipant les porte-avions de la flotte britannique. Il est monoplace dans la formule chasseur et biplace dans la formule bombardier. Les ailes sont repliables le long du fuselage lequel comporte des compartiments étanches pour le cas de chute à la mer. Le « Skua » est équipé d'un moteur Bristol « Perseus » XII à refroidissement par air, de 900 ch. Envergure 13,85 m ; longueur 10,55 m ; poids à vide 2 490 kg ; poids en charge 3 700 kg ; vitesse maximum 387 km/h ; autonomie 852 km. Les volets d'atterrissage à fente au bord de fuite sont utilisés comme freins de piqué.

**Le Fokker G.1 néerlandais.** — C'est un bimoteur bifuselage dont la nacelle centrale est pourvue vers l'arrière d'une coupole rotative en verre plexiglas abritant une mitrailleuse. Envergure 17,10 m ; longueur 10,90 m ; poids à vide 3 450 kg ; poids en charge 5 100 kg ; vitesse maximum 485 km/h. Cet appareil, équipé de volets de freinage pour le bombardement en piqué, peut emporter une bombe de 400 kg dans le fuselage et plusieurs bombes légères sous l'aile. Dans le nez du fuselage peuvent être logées jusqu'à 8 mitrailleuses légères ou 4 canons automatiques de 20 mm.

**Le North American N A 44 américain.** — C'est un bombardier léger en piqué, biplace, équipé d'un moteur Wright « Cyclone ». Envergure 13 m ; longueur 8,80 m ; poids à vide 2 070 kg ; poids en charge 2 800 kg. Sa vitesse maximum est de 400 km/h et sa vitesse de croisière de 360 km/h ; sa vitesse ascensionnelle serait de 9,65 m par seconde et son autonomie de 1 200 à 1 600 km. Il a été construit en petite série pour la marine américaine. Il est généralement armé d'une mitrailleuse mobile à l'arrière et de deux mitrailleuses fixes dans le fuselage, tirant à travers l'hélice. Les bombes peuvent être fixées sous le fuselage ou sous l'aile.

**Le Curtiss « Helldiver » 77 américain.** — Appareil biplace de reconnaissance et bombardement en piqué pour porte-avions, équipé d'un moteur Wright « Cyclone » de 840 ch. Envergure 10,35 m ; longueur 8,40 m ; poids à vide 2 020 kg ; poids en charge 2 720 kg ; vitesse maximum 386 km/h ; vitesse d'atterrissage 106 km/h ; plafond 5 000 m ; autonomie 1 150 km.

**Le Curtiss S B C-4 américain.** — C'est un des derniers représentants de la formule biplan. Ce type d'appareil est destiné à équiper les porte-avions et à effectuer des missions d'éclairage ou de bombardement en piqué. Il est équipé d'un moteur Wright « Cyclone ».

**Le Douglas S B D-1 américain.** — Cet appareil qui est entré en service l'an dernier dans la marine américaine est un bombardier en piqué biplace équipé d'un moteur Wright « Cyclone ». L'armement comprend deux mitrailleuses fixes d'aile et une mitrailleuse mobile à la disposition de l'observateur-bombardier ; les bombes sont placées sous le fuselage ou accrochées à des porte-bombes sous les ailes. Des volets d'intrados à trous servent de freins aérodynamiques pour le piqué.

**Le Vought-Sikorsky S B 2 U-1 américain.** — Cet appareil équipe les porte-avions américains. Il est muni d'un moteur Pratt et Whitney « Twin Wasp » de 750 ch. Son envergure est de 12,80 m. Il peut emporter 450 kg de bombes.

**Le Brewster S B A-1 américain.** — C'est un avion biplace de construction entièrement métallique qui est un des plus récents et des plus rapides appareils américains de bombardement en piqué. Il est équipé de deux canons et quatre mitrailleuses tirant vers l'avant, ainsi que deux mitrailleuses tirant vers l'arrière. Ces deux dernières armes sont montées dans une tourelle commandée mécaniquement qui permet de tirer dans tous les azimuts, même vers l'avant. Cette tourelle est blindée, ainsi d'ailleurs que le reste de l'appareil, et le verre qui la recouvre est à l'épreuve des balles. Envergure 15,40 m ; longueur 12,85 m. Moteur Wright « Cyclone » de 1 600 ch. La charge de bombes serait de l'ordre de 750 kg.

**Le Curtiss S B 2 C-1 américain.** — C'est le plus récent des avions de bombardement en piqué américains, puisque les premiers exemplaires sont apparus au début de 1941. Il est destiné à équiper des porte-avions. Il est de construction entièrement métallique et est équipé d'un moteur Wright « Cyclone » en double étoile, à refroidissement par air de 1 700 ch. L'équipage comprend deux ou trois hommes. Grâce à la puissance élevée du moteur, ce nouvel appareil transporterait une charge de bombes presque double de la charge des appareils du même type et sa vitesse serait supérieure de 160 km/h à celle des modèles actuels. En outre, son rayon d'action serait plus étendu et sa puissance de feu deux fois plus grande.

manœuvre du piqué, l'ouverture des freins, le pilotage en piqué, le lancement de la bombe et la manœuvre de la ressource. Le pilote n'aurait qu'à maintenir au cours du piqué lui-même le but dans son viseur en agissant très légèrement sur les commandes. En somme, la manœuvre serait dégrossie par un servo-moteur, le pilote n'ayant plus qu'à parfaire le pointage lui-même.

Sur le Junkers 88, qui attaque généralement en piqué sous un angle de 40°, le pilote dirige l'axe de l'appareil vers le but et, au moment qu'a calculé le bombardier, il déclenche les manœuvres qui doivent suivre, c'est-à-dire amorce du redressement, rentrée des freins aérodynamiques, lancement des bombes choisies à l'avance.

Il est certain que de tels dispositifs doivent faciliter grandement la tâche du pilote, qui, en quelques secondes, doit accomplir un grand nombre de manœuvres délicates et précises. Le facteur « humain » est, en effet, dans le bombardement en piqué, l'élément gênant. Les freins aérodynamiques ont été adoptés pour atténuer les effets des accélérations centrifuges sur l'organisme humain. Le dispositif de Pohlmann de « mécanisation de pilotage » allège le travail des réflexes du pilote pointeur. En outre, il standardise la méthode d'attaque et facilite considérablement la formation du personnel.

Peut-être un jour arrivera-t-on à rendre encore plus automatique, et en même temps plus précis, le pilotage du bombardement en piqué. Seules les manœuvres

d'approche et de présentation resteront confiées à l'initiative du personnel.

### Les nouveaux avions de bombardement en piqué

Lorsque éclata la guerre de 1939, on comptait en service effectif dans les armées de l'air :

— en Allemagne, le fameux « Stuka » (Junkers 87), construit en grande série depuis 1938, et qui comporte deux versions : la première dite A est celle avec roues « pantalonnées » ; la seconde dite B avec roues « carénées » (1940) ;

— en France, le L.N. 40, réalisé pour l'aviation navale ;

— en Angleterre, le « Skua » (Blackburn), limité à l'usage des porte-avions, et quelques Fairey « Battle », modèle d'ailleurs peu réussi ;

— en Amérique, des Curtiss et des Douglas pour porte-avions.

En 1940, l'Allemagne développe le « Super-Stuka », bimoteur Junkers Ju 88.

En 1941, on voit apparaître, aux Etats-Unis, le Curtiss SB2 C-1, le Vought-Sikorsky SB2U-1 et le tout-récent Brewster 340. L'Allemagne s'oriente vers le bimoteur ; l'Amérique vers le monomoteur ultra-puissant. Différence de tendance qui s'explique par la différence de destination des appareils, les bimoteurs étant basés à terre, les monomoteurs devant pouvoir atterrir sur porte-avions. Quel qu'en soit le type, le règne des « Stukas » ne fait que commencer.

Pierre DUBLANC.

L'augmentation des vitesses ascensionnelles des avions de chasse et des destroyers bimoteurs destinés à opérer à très haute altitude, jusque dans la stratosphère (10 000 m et plus), impose à l'organisme des pilotes des efforts anormaux susceptibles d'entraîner de graves accidents. En particulier, sous l'effet d'une diminution rapide de la pression, les gaz, et notamment l'azote dissous dans l'organisme, tendent à se dégager et provoquent ce que l'on a pu appeler l'« embolie d'altitude ». Pour la prévenir, une méthode a été élaborée en Amérique à l'occasion des essais du destroyer bimoteur Lockheed P. 38 « Lightning » ; elle consiste à réduire la teneur du corps du pilote en azote avant l'envol, en l'alimentant uniquement en oxygène pur pendant les 30 minutes qui précèdent le décollage, en même temps que, par des exercices appropriés, on favorise le départ de l'azote de toutes les parties du corps. Prenant sa place à bord, le pilote doit, sans interrompre ce traitement, adapter son inhalateur et ne plus le quitter jusqu'à la fin du vol. Grâce à ces précautions, les pilotes du Lockheed « Lightning » auraient pu supporter sans dommage apparent les variations d'altitude et par suite de pression les plus fortes et les plus rapides.

# OÙ EN EST LE CINÉMA EN RELIEF ?

par P. HÉMARDINQUER

*Le problème de la projection animée en relief est aussi vieux que le cinéma, et c'est un de ceux qui ont fait déployer le plus d'ingéniosité aux chercheurs. Pourtant, alors que le « parlant » a détrôné le « muet » depuis une dizaine d'années, le cinéma en relief a eu surtout un succès de curiosité et n'est pas encore entré dans le domaine pratique. On verra que, dans le plus parfait des systèmes proposés et expérimentés jusqu'ici, la complication pratique de l'équipement de projection et de prise de vues est telle que sa diffusion, dans les conditions actuelles, doit être différée, bien que cette solution soit en théorie irréprochable.*

## Comment percevons-nous le relief ?

La perception du relief à l'aide des seuls renseignements que nous fournissons nos deux yeux est une opération complexe et qui nécessite un certain apprentissage. Le nouveau-né tend la main vers tous les objets qu'il aperçoit, qu'il s'agisse de son biberon ou de la lune. Un certain nombre d'essais malheureux, l'habitude de se déplacer plus ou moins pour saisir les objets lui apprennent à discerner les objets proches des objets éloignés, et cette appréciation du relief devient tellement habituelle que nous ajoutons subjectivement du relief à une représentation plane de l'espace comme l'est une photographie ou un tableau. Sur quels renseignements nous appuyons-nous pour le faire ?

— Aux très courtes distances, les objets demandent à notre œil, pour s'inscrire nettement sur la rétine, un effort

d'accommodation plus ou moins considérable dont nous avons une conscience diffuse. Mais au delà de quelques mètres, tous les objets peuvent être consi-

dérés comme à l'infini. Cette source de renseignements, utilisable dans l'espace à trois dimensions, ne se retrouve pas sur une représentation plane de l'espace.

— Les objets diminuent de diamètre apparent à mesure qu'ils s'éloignent du point d'où on les voit. Sur une projection plane de l'espace, cette propriété se traduit par les lois de la perspective.

— L'image des objets placés en avant recouvre partiellement celle des objets placés en arrière : entre notre œil et l'infini,

nous distinguons plusieurs plans, et nous établissons ainsi un classement des objets suivant leurs distances.

— L'air n'étant pas parfaitement transparent, les contrastes de couleur et de valeur s'atténuent à mesure que l'on passe des premiers plans au fond du paysage.

— Enfin, quand la représentation plane de l'espace est une projection animée (cas du cinéma), si nous voyons une balle rebondir sur la raquette d'un joueur de tennis, nous savons que pendant un court instant la balle et la raquette sont à la même distance de notre œil.

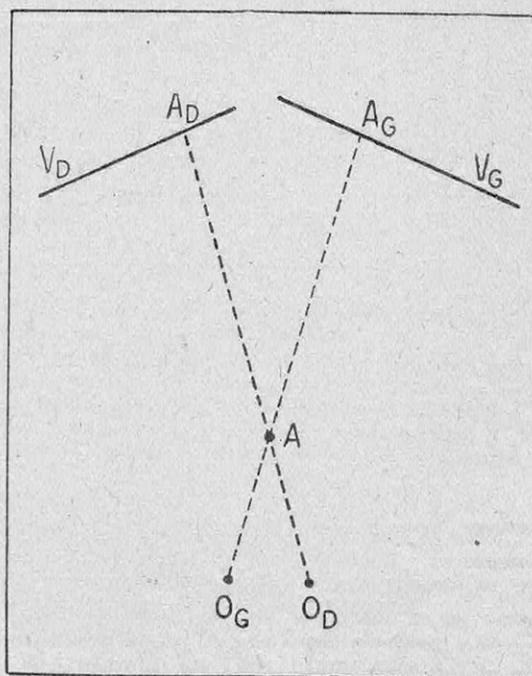


FIG. 1. — SCHÉMA DE PRINCIPE DU STÉRÉOSCOPE  
Les deux vues VD et VG sont examinées respectivement par l'œil droit OD et l'œil gauche OG. Le point A est vu à l'intersection des deux rayons lumineux AD et AG. L'observateur a ainsi la sensation du relief.

Tous ces renseignements, interprétés d'une manière absolument réflexe, constituent ce que l'on pourrait appeler la « sensation de relief du borgne », puisqu'ils pourraient aussi bien nous être fournis par un seul œil. C'est aussi celle que nous fournit le cinéma, et qui, pourvu que les vues aient été prises habilement, est assez correcte pour que nous n'acceptions pas la gêne d'une paire de lunettes pour l'améliorer. Mais la vision à l'aide de nos deux yeux va nous fournir une appréciation beaucoup plus précise des distances et du relief des objets.

### La vision binoculaire et le stéréoscope

Pour fournir de l'espace à trois dimensions une représentation plane complète, il faut le projeter de deux points différents sur deux plans, qui peuvent être distincts ou confondus (la géométrie descriptive est l'une de ces représentations de l'espace).

En possession des deux représentations planes de l'espace, si nous les replaçons dans la position qu'elles occupaient au moment de la projection et si nous joignons les points correspondants des deux représentations aux centres de projection qui ont servi à les faire apparaître, ils se couperont en des points qui reproduiront dans l'espace la figure initiale. Nous aurons opéré une « restitu-

tion » (1). Cette opération géométrique délicate, notre cerveau l'accomplit sans tracer une seule ligne, puisque, avec deux images légèrement différentes qui s'inscrivent sur nos deux rétines, il « restitue », lui aussi, l'espace à trois dimensions ! Le mécanisme de cette appréciation du relief par la vision binoculaire nous échappe encore totalement.

Supposons maintenant (fig. 1) que nous placions devant nos yeux deux vues Vd et Vg d'un même objet, de telle sorte que les rayons lumineux allant de deux points Ag et Ab, images du même point de l'objet, aux yeux correspondants Og et Od se coupent en un point A, et que chaque œil ne voie que l'image qui lui est destinée. Nous avons placé nos yeux dans des conditions semblables à celles où ils se trouvent lors de la vision

binoculaire et nous percevrons l'objet en relief. C'est ce que nous réalisons dans le stéréoscope.

Les vues Vg et Vd sont semblables à celles que l'on obtiendrait avec deux appareils photographiques dont les objectifs coïncideraient avec Og et Od. Pour obtenir Vg et Vd, on exécute donc ces deux photographies et on les examine au travers d'un système optique qui en

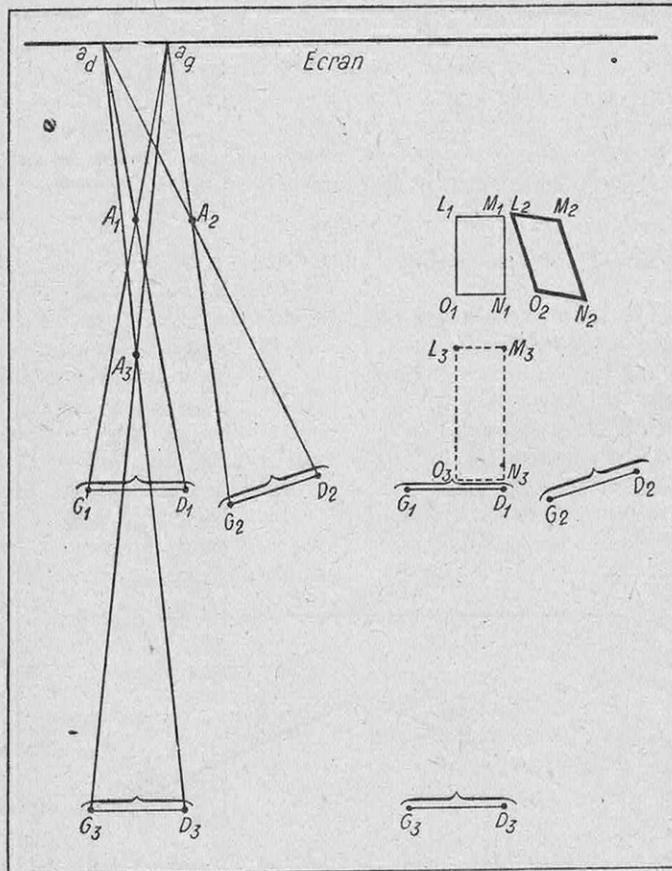


FIG. 2. — LA DÉFORMATION DU RELIEF SUIVANT LA POSITION DU SPECTATEUR

Dans le cas du cinéma en relief obtenu à l'aide de deux images sur un même écran, le relief est correct pour l'observateur I. Pour les spectateurs II et III, un point  $A_1$  est vu en  $A_2$  et  $A_3$  (à gauche). La même construction exécutée pour un rectangle donne le résultat indiqué à droite de la figure.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 260, février 1939.

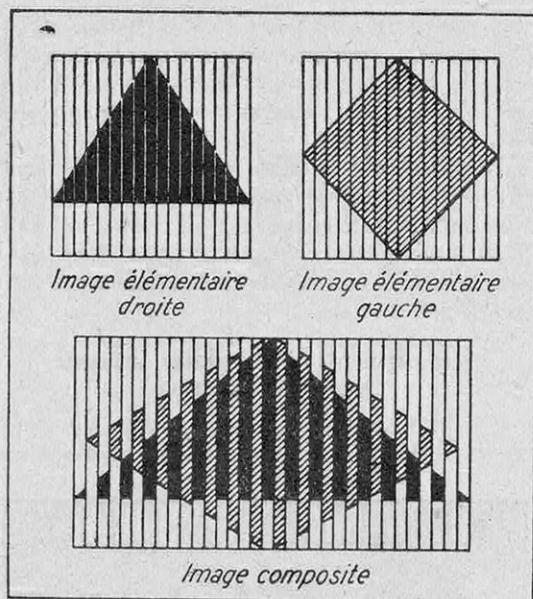


FIG. 3. — LA RÉALISATION D'UNE IMAGE COMPOSITE  
L'image composite est formée en alternant les bandes verticales obtenues par découpage des deux images du triangle noir et du losange gris.

donne des images virtuelles qui ne sont autres que  $V_D$  et  $V_G$ .

Les deux images  $V_D$  et  $V_G$  ne coïncidant pas, il est facile de faire que l'œil gauche ignore ce que voit l'œil droit et réciproquement.

Supposons que  $V_D$  et  $V_G$  soient des images animées, et nous aurons réalisé un stéréoscope cinématographique, ou un cinéma en relief, mais un cinéma pour un seul spectateur!

Le problème que nous nous posons maintenant est de produire ces deux images  $V_D$  et  $V_G$  sur un écran de cinéma, et de faire qu'elles puissent fournir la vision en relief à tous les spectateurs de cette salle. Il faut pour cela que nous puissions séparer les deux images  $V_D$  et  $V_G$  projetées sur le même écran.

### Deux images sur un même écran

Un premier procédé de séparation des deux images  $V_D$  et  $V_G$  consiste à les projeter alternativement et à obturer en même temps l'œil auquel l'image projetée n'est pas destinée. Cela exige un dispositif assez compliqué, forcément fixe, donc gênant pour le spectateur, et qui doit être répété à autant d'exemplaires qu'il y a de spectateurs. Il n'est donc pas d'un grand intérêt pratique.

D'une application beaucoup plus fa-

cile sont les méthodes de séparation qui n'exigent que le port d'une paire de lunettes.

Si nous examinons une image colorée en vert à travers un verre rouge, dont la couleur est complémentaire du vert, la lumière émise par l'image est arrêtée. Au contraire, une image colorée en rouge sera vue sans altération. Un verre vert arrêtera de même l'image rouge en laissant passer l'image verte. Si les deux images sont projetées simultanément sur l'écran et que ces deux images soient telles que  $V_G$  et  $V_D$ , elles sembleront venir du même objet qui sera aperçu en noir et blanc. C'est le principe des *anaglyphes* qui, pour peu qu'on les projette à raison de 24 images doubles par seconde, semblent s'animer. Le cinéma en relief du grand inventeur Louis Lumière n'est pas autre chose que ces anaglyphes animés. Un tel procédé de séparation exclut évidemment la projection en couleur. Il n'en est pas de même pour les procédés que nous décrirons par la suite.

Deux images en lumière polarisée res-

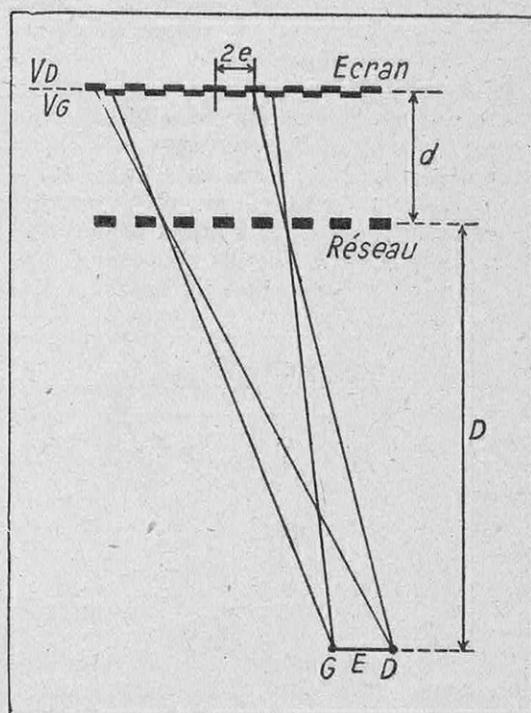


FIG. 4. — LA SÉPARATION DES IMAGES PAR LE PROCÉDÉ DES RÉSEAUX

L'œil droit aperçoit les bandes qui forment l'image  $V_D$ , tandis que l'œil gauche aperçoit les bandes de l'image  $V_G$ . L'image  $V_G$  est cachée à l'œil gauche et l'image  $V_D$  à l'œil droit.

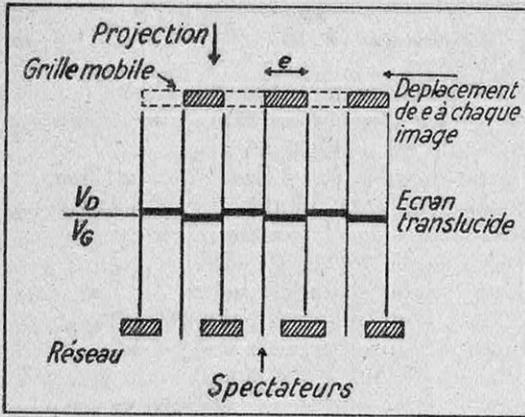


FIG. 5. — LA PROJECTION CINÉMATOGRAPHIQUE EN RELIEF A DEUX IMAGES

Les deux images  $V_G$  et  $V_D$  projetées l'une après l'autre sont découpées en bandes alternées par une grille mobile dont les fentes ont une largeur égale à la moitié de l'intervalle des fentes du réseau, et qui se déplace en synchronisme avec la projection, de telle sorte que chaque déplacement échange les vides et les pleins du réseau.

pectivement dans le sens horizontal et vertical, examinées avec des verres analyseurs également disposés à  $90^\circ$  l'un de l'autre, permettront de même la séparation des deux images.

Ces deux procédés n'assurent en principe une perception correcte du relief que pour un seul spectateur dans la salle, situé dans l'axe de l'écran et à une distance convenable de celui-ci; en effet, quand ce spectateur se déplace, l'image se déforme: s'éloigne-t-il de l'écran, le relief s'accroît; s'en approche-t-il, l'objet a l'air

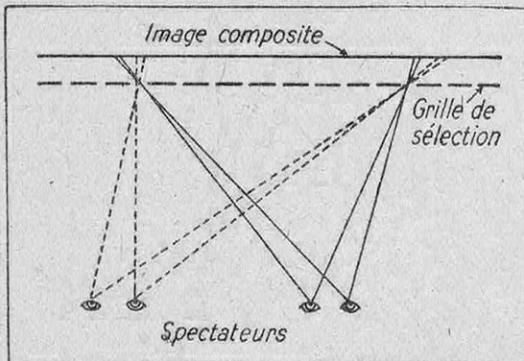


FIG. 6. — PRINCIPE DU PANORAMAGRAMME

Grâce à l'étrécissement des fentes de la grille de sélection, chaque observateur n'utilise qu'une petite portion de la surface de l'écran, composée de fines raies verticales. L'écran peut donc porter des images élémentaires destinées à d'autres spectateurs, pour lesquels la vision en relief sera réalisée également sans déformation.

de s'aplatir. Enfin, s'il se déplace latéralement, l'objet se déforme de telle sorte que les droites perpendiculaires à l'écran ont l'air de « suivre » le spectateur (fig. 2).

Tous ces dispositifs ont l'inconvénient de nécessiter l'interposition entre l'œil du spectateur et l'écran soit d'un verre, soit d'un obturateur. La séparation des images par le système des réseaux supprime cet inconvénient.

### La séparation de deux images par les réseaux

Chacun de nous a sans doute vu à la devanture de quelques opticiens ou pho-



T W 12541

FIG. 7. — UN PANORAMAGRAMME

Cette image est en réalité composée d'un très grand nombre d'images élémentaires imbriquées les unes dans les autres et destinées à tous les spectateurs de la salle.

tographes des panneaux de publicité curieux présentant une série de bandes parallèles verticales.

Suivant la position qu'il occupe par rapport au panneau, l'observateur aperçoit deux images différentes. S'agit-il de la publicité d'un opticien, il verra d'abord une jeune fille qui semble peiner pour lire son journal, puis, en se déplaçant légèrement, la même jeune fille, heureuse d'avoir trouvé la paire de lunettes qui lui corrige la vue; en continuant à se déplacer dans le même sens, il verra reparaitre alternativement un certain nombre de fois les deux images. Comment ce résultat est-il obtenu? Supposons que nous voulions faire apparaître alternativement un triangle noir et un losange

gris. Nous découperons les deux images en bandes verticales de largeur  $e$ , que nous disposerons sur un même support translucide, en les alternant (fig. 3). Devant ce support, nous placerons un réseau à fentes verticales tel que la distance entre deux fentes soit égale à  $2e$  (fig. 4). Si les fentes du réseau sont

suffisamment étroites et si le réseau est assez rapproché du support de l'image composée, l'observateur verra tantôt les bandes d'une image, tantôt celles de l'autre, d'où alternativement deux images striées verticalement par la grille du réseau. Le déplacement latéral qu'il devra exécuter devant l'appareil pour passer d'une image à l'autre sera d'autant plus petit que la distance du réseau au support des images sera plus grande et que lui-même sera plus rapproché du réseau. Pour une certaine

distance  $d$  du réseau au support des images et  $D$  du réseau à l'observateur, ce déplacement atteindra la valeur  $E$ , écartement des deux yeux de l'observateur. Celui-ci verra alors l'une des images avec l'œil droit et l'autre image avec l'œil gauche. S'il exécute un déplacement latéral d'amplitude  $E$  devant l'appareil, les deux yeux échangeront leurs images.

Nous avons donc ainsi un nouveau moyen de séparer les deux images  $Vg$  et

$Vd$  de tout à l'heure, images qui, projetées sur un même écran, nous donneront ainsi la sensation du relief. Nous avons vu cependant que certaines conditions devaient être réalisées entre les distances  $d$  et  $D$ . Dans la pratique, si les fentes du réseau ne sont pas trop larges, on dispose pour placer l'observateur d'une

assez large tolérance.

Nous avons vu que si l'observateur exécute un déplacement latéral d'amplitude  $E$ , les deux yeux échangeront leurs images. A ce moment, au lieu d'une image en relief, il aura une sensation de flou et on ne distinguera plus rien jusqu'à ce que ses yeux s'étant déplacés de  $2E$ , il retombe dans une plage de vision nette.

Le problème, si nous voulons passer à la projection animée, sera de réaliser sur l'écran une image composée. Pour cela, on utilise la persistance des images sur la rétine, et

on projette alternativement sur l'écran  $Vg$  et  $Vd$ , en cachant à l'aide d'une grille mobile se déplaçant en synchronisme avec la projection, tantôt une série de bandes verticales, tantôt l'autre (fig. 5).

Si les bandes sont suffisamment serrées, les stries verticales ne sont pas gênantes pour le spectateur, en raison de cette illusion d'optique qui fait que les taches lumineuses semblent empiéter sur les taches sombres.

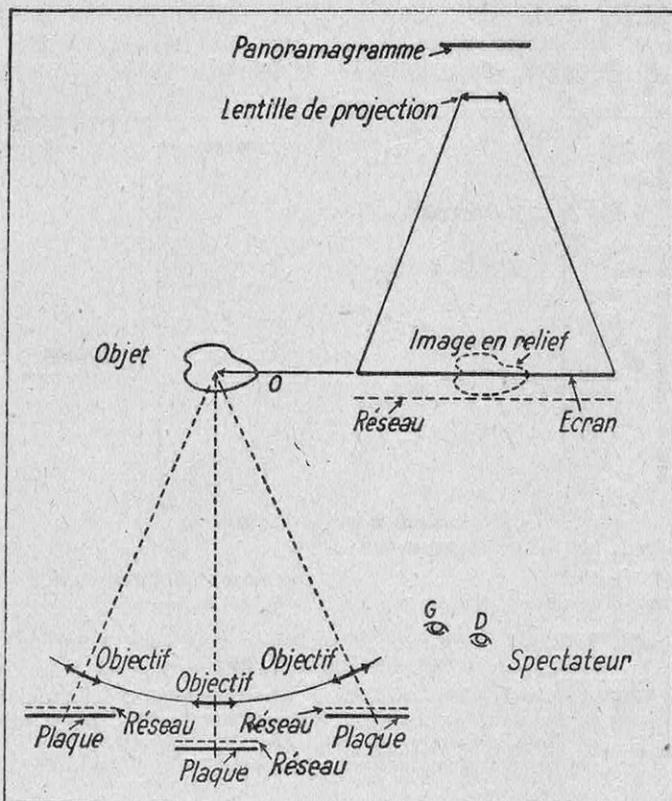


FIG. 8. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA RÉALISATION ET DE L'UTILISATION D'UN PANORAGRAMME

À gauche, la prise de vues : l'appareil photographique se déplace suivant un arc de cercle dont le centre coïncide avec la partie centrale  $O$  de l'objet à représenter. La plaque sensible est derrière un réseau à fentes très fines et reste toujours parallèle à elle-même. Les raies du panoragramme s'inscrivent derrière ces fentes. À droite, l'écran translucide ayant remplacé l'objet, on projette sur lui l'image composée enregistrée sur la plaque. En examinant cette image en relief à partir de n'importe quel point situé devant l'écran,

La tolérance sur la distance de l'observateur au réseau de sélection, encore qu'elle soit assez large, est très loin des rapports de 1 à 10 et plus, que l'on doit admettre pour les distances des spectateurs à l'écran si l'on veut remplir une salle de projection. De plus, le relief subit toutes les déformations que nous avons décrites à la figure 2.

Et cela nous incite à chercher encore mieux; mais avant de passer à la projection animée, cherchons à réaliser une image fixe en relief visible dans toute la salle.

### Le panoramagramme

Si, tout en conservant leur écartement, nous diminuons la largeur des fentes du réseau, chaque spectateur de la salle n'utilisera plus qu'une portion, formée de raies très fines, de la surface de l'écran. Le reste,

formé de larges plages verticales, lui est caché par la grille du réseau. Cette portion qu'il n'utilise pas pourra servir à projeter des images composites pour les autres spectateurs de la salle (fig. 6).

Comment réaliserons-nous sur une photographie l'image extrêmement complexe (fig. 7) formée d'un grand nombre de bandes infinitésimales permettant la vision du relief sous un angle quelconque et à laquelle l'ingénieur américain Herbert E. Ives a donné le nom de *panoramagramme*? Nous allons indiquer le principe de cette opération.

Devant l'objet à photographier, déplaçons, dans le plan horizontal, un appareil photographique dont l'axe optique passera toujours par le centre de l'objet (fig. 8) et dont la mise au point est faite pour ce centre. Nous ferons décrire à l'appareil un arc de cercle autour de O, mais en maintenant la plaque photogra-

phique parallèle à sa direction initiale. Dans ces conditions, la mise au point se conserve sensiblement pendant tout le trajet, si l'on ne balaie pas un angle trop grand. La plaque photographique est ici constituée par une plaque sensible placée derrière un réseau à fentes verticales extrêmement fines. Lorsque l'appareil photographique balaie un certain angle autour de l'objet, la lumière reçue et enregistrée par la plaque sensible est constituée par une infinité de bandes verticales qui forment l'image composite que nous cherchons à réaliser.

Supposons, pour simplifier, que nous conservions à la projection cette même disposition, c'est-à-dire remplaçons l'objet par un écran translucide.

La mise au point de l'appareil photographique n'étant pas modifiée, il peut nous servir à pro-

jecter sur l'écran l'image portée par la plaque (préalablement retournée, l'écran devant être observé par transparence). Du côté spectateur disposons devant l'écran un réseau dont la distance à l'écran et l'écartement des fentes soient, avec les caractéristiques correspondantes du réseau ayant servi à la prise de vue, dans un rapport égal au grossissement.

Dans ces conditions, n'importe quel spectateur placé devant l'écran verra la même image élémentaire que s'il examinait l'objet à travers un réseau à fentes convenablement placées. Cela est évident pour un spectateur dont l'œil se trouverait sur l'arc de cercle correspondant à la prise de vue. Le cristallin remplace alors l'objectif de l'appareil, la rétine la plaque sensible. Sur elle se forme l'image de l'écran et aussi, en pratique, celle du réseau voisin de l'écran. Ainsi se trouvent découpés les mêmes « angles obs-

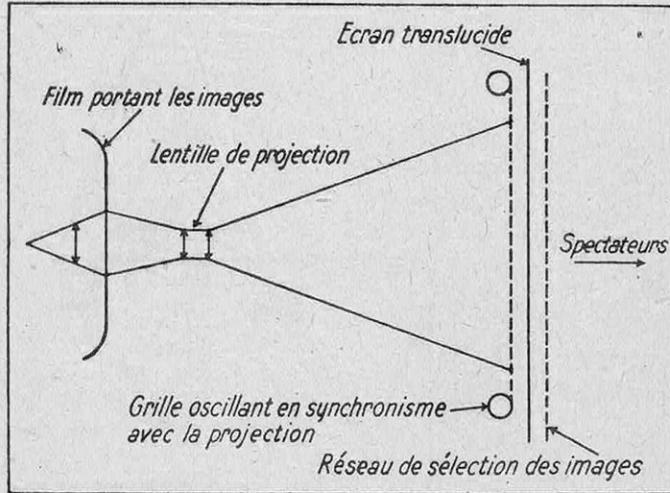


FIG. 9. — LA PROJECTION D'UNE IMAGE COMPOSITE POUR LE PANORAMAGRAMME ANIMÉ

Chaque image correspondant à une position de l'appareil de prise de vues est projetée entière sur l'écran. C'est une grille oscillante en synchronisme avec la projection qui découpe les raies convenables dans cette image.

curs » qu'avec le réseau lors de la prise de vue.

Pour un spectateur qui n'est pas sur cet arc de cercle, nous pourrions recommencer la prise de vue pour l'arc de cercle correspondant à sa distance à O, et la projection sur l'écran. Mais nous serions maîtres, en changeant la convergence de l'objectif, de garder le même grossissement et par conséquent les images reçues sur la plaque seraient identiques aux images reçues au cours de la première opération, et nous n'aurions à modifier ni l'image projetée sur l'écran, ni les caractéristiques du réseau. Cette

identité des prises de vue n'est pas absolument rigoureuse, le contour apparent des objets en particulier se modifiant avec les positions de l'observateur. Mais pour peu qu'on ne soit pas trop près de l'objet, ces changements sont faibles. L'image projetée sur l'écran offre donc à chaque œil l'image élémentaire qui lui convient. Tous les spectateurs auront la vision du relief.

Si nous voulons maintenant passer de la projection fixe à la projection cinématographique, il nous faudra produire sur l'écran 24 images composites à la seconde. Comme il n'est pas question de déplacer alternativement l'appareil de prise de vues à des vitesses énormes, nous serons forcés de placer sur l'arc de cercle un certain nombre d'appareils de prise de vues identiques, munis de pellicules non dissimulées par un réseau.

A la projection, qui s'exécutera avec un seul projecteur, nous ferons alterner dans un ordre toujours le même les vues prises par ces appareils. Les portions inutiles de l'image seront dissimulées par une grille mobile à fentes très fines oscillant en synchronisme avec la projec-

tion du film. Pour peu que le cycle de projection de toutes ces images élémentaires dure moins d'un 24<sup>e</sup> de seconde, chaque spectateur, par suite de la persistance des images sur la rétine, aura l'impression de continuité.

On voit à quelle complication on arrive pour réaliser cette projection en relief.

Mais un autre inconvénient grave est l'énorme perte de lumière qu'entraîne l'utilisation d'une aussi faible portion de l'écran, qui à chaque instant se trouve presque complètement dissimulé au spectateur et au projecteur.

Cette perte de lumière

peut être diminuée par un perfectionnement qui rappelle un peu le passage de l'appareil photographique à simple trou d'épingle à l'appareil à lentille convergente.

Remplaçons le réseau à fente par un ensemble d'éléments optiques prismatiques convergents à axes verticaux, tels que l'écran translucide de projection soit situé dans le plan focal de ces éléments; chaque raie lumineuse de l'écran nous donnera non plus un mince pinceau de lumière, mais un faisceau ayant la largeur des éléments optiques. Du côté spectateur tout au moins, nous aurons utilisé au mieux la lumière du projecteur.

On voit à quelle complication la reproduction pratique d'un phénomène aussi simple en apparence que la vision binoculaire nous a conduits. Si nous songeons, par ailleurs, que le spectateur s'accommode très bien d'une projection plate, on comprendra que le cinéma en relief, du moins sous la forme que les recherches actuelles ont permis de lui donner, ne soit pas près de faire son apparition dans les salles de spectacle.

P. HÉMARDINQUER.

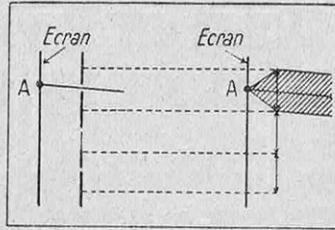


FIG. 10. — UN ÉCRAN SÉLECTEUR FORMÉ DE PRISMES CONVERGENTS

Ces prismes permettent de capturer non plus un mince pinceau émis par le point A de l'écran, mais un faisceau sensiblement plus large, et permettent d'améliorer le rendement lumineux de l'écran.

**la Science et la Vie** est le seul magazine de vulgarisation scientifique et industrielle.

# DE TOUTES LES MACHINES THERMIQUES LES ARMES A FEU ONT LE RENDEMENT LE PLUS FAIBLE

par Louis HOULLEVIGUE

Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille

*L'usure rapide des machines thermiques modernes à régime élevé (turbines, moteurs d'avion) conduira de plus en plus à considérer, au lieu de leur rendement « thermodynamique », qui ne tient compte que de leur dépense en combustible, leur rendement « économique », c'est-à-dire le rapport entre les frais qu'elles occasionnent depuis leur naissance jusqu'à leur mort et le travail utile qu'elles ont fourni pendant ce même temps. A ce point de vue, les machines thermiques dont le rendement est le plus désastreux sont sans conteste les armes à feu. Leur usure, qui les met parfois hors d'usage après quelques centaines de coups, la perte d'énergie du projectile pendant son trajet dans l'air, la faible charge utile emportée par celui-ci et le petit nombre des coups au but au cours d'un tir sont autant de facteurs qui viennent augmenter le prix d'un bombardement par artillerie. On s'explique dès lors que le principal effort industriel des nations belligérantes se porte sur la construction aéronautique, car l'avion, en multipliant la portée des bombardements, en augmentant les charges d'explosifs transportées et la précision des lancements, a prouvé qu'il était un instrument de destruction à la fois plus puissant et plus économique que le canon.*

**B** IEN avant que Sadi Carnot eût introduit la notion du rendement en thermodynamique, les créateurs de la machine à vapeur, à commencer par James Watt, avaient réalisé des expériences plus ou moins précises pour mesurer le travail mécanique fourni par leurs engins, et la consommation correspondante de charbon. Leurs méthodes se sont grandement perfectionnées, et on sait aujourd'hui mesurer avec une précision voisine de 1 pour cent le rendement des machines à vapeur (y compris les turbines), des moteurs à explosion et à combustion interne, c'est-à-dire le rapport de l'énergie mécanique utile produite en marche régulière à l'énergie chi-

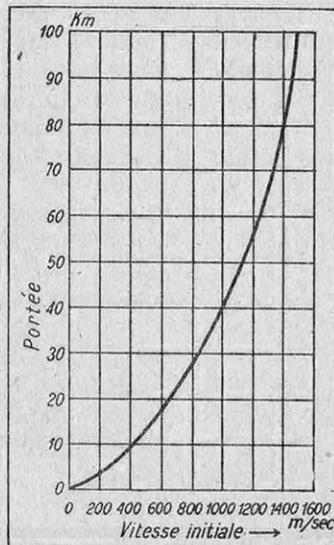


FIG. 1. — LA PORTÉE D'UNE BOUCHE A FEU AUGMENTE AVEC LA VITESSE INITIALE

*La courbe ci-dessus est relative à un projectile de 210 mm tiré sous un angle constant de 45°.*

mique dépensée ; ce rapport varie ordinairement entre 8 et 32 % et on comprend que les constructeurs aient avantage à le présenter d'abord au public, qu'il peut influencer favorablement.

Mais si les nombres ainsi obtenus sont indiscutablement exacts, ils ne présentent qu'un aspect du problème qui se pose dans la réalité, et qui peut s'énoncer ainsi : *quel est, tout compte fait, le prix de revient de l'unité d'énergie utile produite par la machine, kilogrammètre ou kilowatt-heure ?*

Or, le prix de revient dépend de divers facteurs, et en particulier du taux d'amortissement de la machine. Au vieux temps des machines à vapeur, ces engins, fonctionnant à basse pres-

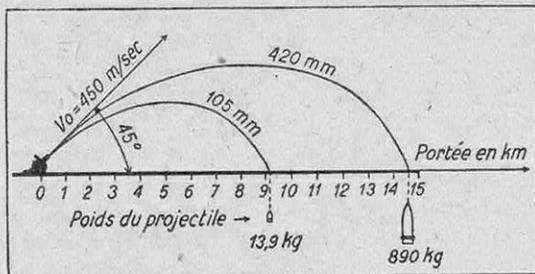


FIG. 2. — LA PORTÉE DES PIÈCES D'ARTILLERIE CROIT AVEC LE POIDS DU PROJECTILE

Les deux projectiles, dont on a représenté les trajectoires, sont l'un un obus de 105 pesant 13,9 kg et l'autre un obus de 420 pesant 890 kg. Tirés tous deux à la même vitesse initiale de 450 m/s sous l'angle de  $45^\circ$ , l'un atteint une portée de 9 km et l'autre dépasse 14 km.

sion et tournant à faible vitesse, étaient presque inusables ; il y a, dans les musées, des machines presque centenaires et qui sont encore en état de fonctionner, et certaines locomotives, vieilles d'un demi-siècle, n'ont pas encore pris leur retraite.

Dans ces conditions, les frais d'amortissement pouvaient être négligés ; mais la situation s'est rapidement transformée ; les machines modernes travaillent à haute pression, à grande vitesse, et leur usure s'accroît à proportion ; de plus, faites avec des matériaux spéciaux, elles sont d'un prix élevé qu'il faut néanmoins amortir pendant leur courte vie. Ceux qui ont affaire aux moteurs d'automobile en savent quelque chose ; le moteur d'avion est plus vite encore hors de service. Ainsi, la valeur du rendement réel doit être fortement réduite, lorsqu'on se place au point de vue économique défini ci-dessus.

D'autre part, il est tout naturel d'assimiler les armes à feu à des moteurs thermiques ; la pression exercée par les gaz

chauds issus de la poudre y pousse le projectile, comme celle de la vapeur ou des gaz brûlés détermine le mouvement du piston. Le problème du rendement se pose donc dans un cas comme dans l'autre, mais, dans ce dernier, avec des caractères spéciaux qui en rendent la solution plus difficile. Ce sont ces caractères que nous devons d'abord étudier.

### Les transformations d'énergie dans les armes à feu

L'unique source d'énergie dont dispose l'arme est fournie par la combustion, ou plutôt la décomposition de la poudre propulsive. Cette énergie peut se mesurer exactement lorsqu'elle apparaît tout entière sous forme de chaleur ; c'est ce qui se produit dans la bombe calorimétrique, où quelques décigrammes d'échantillon, enflammés par une étincelle électrique, se décomposent à volume constant, donc sans produire de travail extérieur. La mesure de cette donnée initiale peut donc se faire avec une grande précision.

Au cours de sa combustion dans l'arme, la poudre produit des effets complexes ; lorsque la pression développée par les gaz chauds atteint un certain palier, le projectile se met en mouvement, en triomphant non seulement de l'inertie, mais de

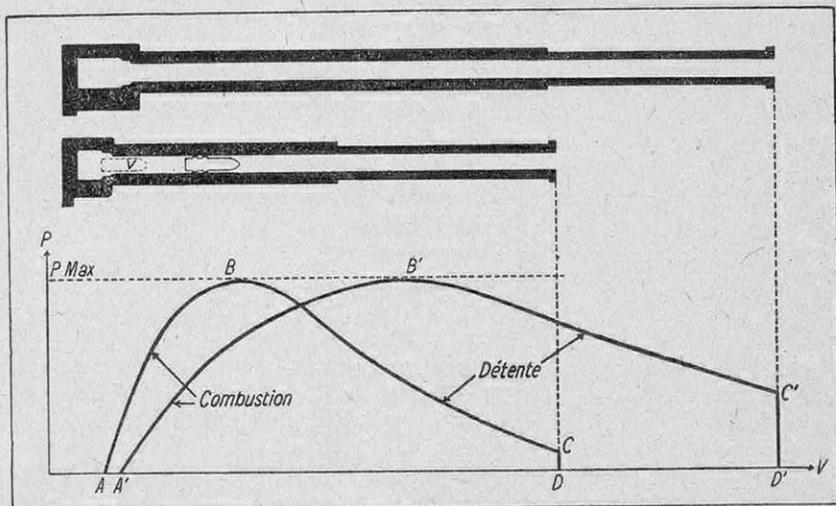


FIG. 3. — LA RECHERCHE DU MEILLEUR RENDEMENT BALISTIQUE D'UNE BOUCHE A FEU

La bouche à feu est établie pour résister à une certaine pression maximum des gaz de combustion de la poudre. Le travail utile (c'est-à-dire transformé en énergie cinétique du projectile) produit par les gaz est mesuré par l'aire ABCD du diagramme de la pression des gaz en fonction du volume qui leur est offert par le projectile. Si l'on veut augmenter le travail des gaz (pour obtenir une vitesse initiale plus élevée) sans augmenter pour cela la pression maximum, il faudra allonger le tube, augmenter la charge de poudre et choisir une poudre de combustion moins rapide ; on obtient ainsi le diagramme A' B' C' D'.

la résistance opposée par le frottement de la ceinture qui s'imprime dans les rayures de l'arme en produisant un mouvement hélicoïdal. À mesure que les gaz brûlent et que s'accroît le volume qu'ils occupent, la pression varie suivant des lois très variables, pouvant atteindre, et même dépasser 4 000 kg par centimètre carré; en tout cas, la *loi de stricte combustion* indique que la décomposition de la poudre doit être achevée avant que le projectile ne soit sorti de l'arme.

Pendant cette première partie du tir, dont la durée dépasse peu le centième de seconde, les gaz comprimés ont agi à la fois sur le projectile, sur le corps de l'arme et sur leur propre substance. Au

canique correspondante à chaque cas, c'est-à-dire l'efficacité du projectile, en admettant qu'il atteigne le but visé. Dans ces conditions, l'évaluation du rendement est soumise à de grandes incertitudes; en tout cas, sa valeur est très inférieure à celle qu'on peut calculer d'après l'énergie au départ.

Quant à l'effet sur le corps de l'arme, c'est celui que produit un choc sur le pendule balistique; pendant le temps très court qui s'écoule avant la sortie du projectile, l'arme acquiert de la vitesse, mais son déplacement est négligeable; ce n'est qu'ensuite que se produit le recul; son énergie, aisément calculable, est absorbée par les freins ou autrement.

Il est beaucoup plus difficile de déterminer la quantité d'énergie emportée par les gaz eux-mêmes. Bien loin de former une masse homogène, ces gaz sont divisés en courants, ou filets, auxquels

	En calories	En kilogrammètres	Répartition en %
Energie de translation de la balle.....	905	384	32,4
Energie de rotation de la balle.....	4	1,7	0,1
Energ. cédée à l'arme sous forme de chaleur.	620	263	22,4
Energie de recul.....	3	1,3	0,1
Energie emportée par les gaz.....	1 230	520	45
Energie contenue dans la poudre (E).....	2 762	1 170	100

TABLEAU I. — BILAN DE L'ÉNERGIE DANS UN COUP DE FUSIL

projectile, ils communiquent un double mouvement de translation et de rotation, c'est-à-dire de l'énergie mécanique sous une double forme; l'énergie de translation peut se déduire de sa masse et de sa vitesse, cette dernière étant mesurée par des méthodes électriques ou optiques (1). Quant à l'énergie de rotation, qui n'est qu'une fraction infime de la précédente, elle se calcule à partir de la forme et de la masse du projectile, de l'inclinaison des rayures, etc.; son évaluation ne comporte pas de grandes erreurs.

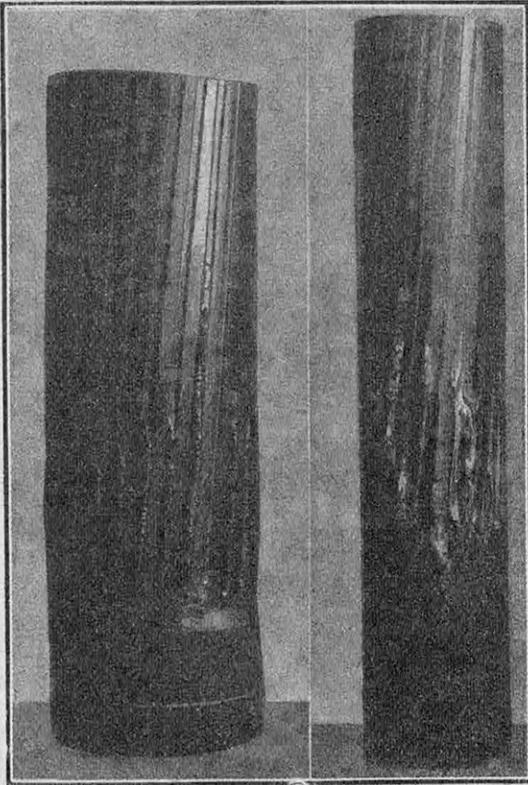
Mais les armes ne tirent presque jamais à bout portant; leur travail *utile* (qu'on devrait bien plutôt appeler *nuisible*) ne se produit qu'à une distance souvent considérable, dont les récentes batailles navales nous ont permis de prendre une idée; et alors intervient la résistance de l'air, qui dépend elle-même d'un nombre considérable de facteurs, forme du projectile, obliquité du tir, conditions atmosphériques, etc., dont aucun ne s'exprime par une loi simple; l'expérience seule, réalisée au polygone de tir, fixera la diminution d'énergie mé-

leur vitesse et leur température communiquent une puissance extraordinaire: ce sont eux qui arrachent les particules d'acier et les transportent au voisinage de la bouche, où elles s'accumulent en formant une sorte de bague, et c'est la principale cause d'usure des armes à feu; en même temps, l'arme s'échauffe fortement au contact de ces gaz, qui sont enfin expulsés violemment après la sortie du projectile; il arrive même parfois que ces gaz, incomplètement brûlés, s'enflamment au contact de l'air à la sortie de la bouche à feu; autant de phénomènes extrêmement rapides, auxquels correspondent des énergies presque impossibles à évaluer, sinon par différence avec les autres termes du bilan.

### Rendement théorique et rendement efficace

Donnons d'abord, à titre d'exemple, les termes de ce bilan, établis par le balisticien allemand Cranz, pour un coup de fusil, tiré avec 3,2 g de poudre, et lançant avec une vitesse initiale de 870 mètres/seconde une balle du poids de 10 grammes; l'énergie sera évaluée en kilogrammètres ou en calories dont chacune vaut 0,425 kgm.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 105, page 221.



T W 12537

FIG. 4. — DEUX STADES DIFFÉRENTS DE L'USURE D'UNE BOUCHE A FEU

Prenons ces chiffres comme base de nos calculs. En les plaçant au point de vue ordinaire de la thermodynamique, ils font apparaître pour le rendement appliqué à la balle la valeur de 32,4 %, égale aux meilleurs résultats donnés par les moteurs Diesel; c'est ce qui a fait dire que les armes à feu, ou du moins certaines d'entre elles, avaient un rendement excellent. Mais regardons les choses de plus près.

Ce n'est pas à la sortie de l'arme que la balle est utilisée, mais à une distance souvent considérable, où celle-ci a perdu une fraction notable de son énergie; à 1 000 mètres, celle-ci est déjà réduite au dixième de sa valeur initiale, c'est-à-dire que le rendement tombe à 3,2 %. Mais le chiffre est encore très exagéré : par suite de l'usure et des accidents de guerre, le « fusil moyen » ne tire pas plus de mille coups, de telle sorte qu'il conviendrait de diminuer le rendement de l'arme du millième du prix d'amortissement, évalué en kilogrammètres. Enfin, les statistiques de guerre ont établi qu'il fallait un nombre considérable de coups pour faire une seule victime, ce qui ramène à

des proportions infimes le rendement, je n'ose dire utile, mais efficace de l'arme.

Le fusil est pourtant une des armes les plus précises qui existent; avec les armes courtes, pistolets, lance-mines, obusiers, la trajectoire est incertaine; une grande partie de la poudre est brûlée inutilement, et le rendement thermodynamique peut descendre à 15 %, voire même plus bas; quant au rendement efficace, on ne saurait, tant il est faible, suggérer de chiffre pour l'exprimer.

Mais il ne saurait être question de passer en revue toutes les armes à feu; nous nous contenterons de quelques observations sur les grosses pièces de marine ou de siège. Elles sont établies de façon à donner à l'obus une trajectoire aussi précise que possible et une puissance de rupture considérable : un obus de 355 mm, du poids de 620 kg, possède au départ une énergie de 28 000 tonnes-mètres, triple de celle qui anime un train de chemin de fer de 300 tonnes, lancé à 90 kilo-

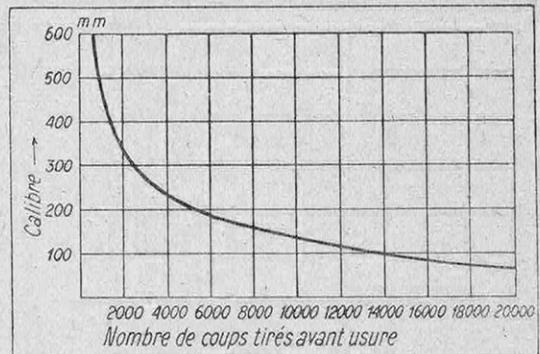


FIG. 5. — LA LONGÉVITÉ D'UNE BOUCHE A FEU DÉCROIT RAPIDEMENT QUAND SA PUISSANCE AUGMENTE

La principale cause de l'usure d'une bouche à feu est l'érosion produite par les gaz de la poudre sur l'âme du canon. L'érosion est d'autant plus considérable que les gaz sont plus chauds, qu'ils sont à une pression plus élevée et qu'ils agissent plus longtemps. C'est ce dernier facteur qui intervient lorsqu'on veut augmenter le poids du projectile par élévation du calibre. Les lois de la similitude commandent alors de donner au tube un allongement proportionnel si l'on veut conserver la même vitesse initiale. La courbe ci-dessus indique le nombre de coups tirés avant usure par des pièces d'une longueur de trente calibres, dans lesquelles la pression des gaz est de 2 000 kg/cm<sup>2</sup>, ce qui correspond à une même vitesse initiale de 500 m/s. Le poids du projectile n'est qu'un des deux facteurs de la puissance d'une bouche à feu, l'autre étant la vitesse initiale. On accroît celle-ci en allongeant le tube, et en augmentant la pression des gaz. L'usure est alors telle que certains canons de marine sont usés au bout de cent coups.

mètres à l'heure. Son rendement thermodynamique est égal à 9,3 %, mais le rendement réel, à distance d'utilisation, est beaucoup moindre, et de l'ordre de 1 à 2 %.

On n'a pu atteindre ces résultats qu'en accroissant la longueur de l'arme, qui atteint 18 mètres (soit 50 calibres) et en faisant travailler la poudre au maximum permis par la résistance de l'arme. Aussi, celle-ci est-elle bientôt hors d'usage; au bout d'une centaine de coups, elle aura fini sa vie active, et comme son prix de revient est de l'ordre de 5 millions de francs, il faudra ajouter 50 000 francs au prix de chaque coup de canon; on voit donc que, dans ce cas, l'amortissement rapide du matériel abaisse considérablement le rendement vrai.

Cranz remarque judicieusement, à ce

sujet, que la vie active d'un semblable engin n'est pas supérieure à une ou deux secondes; elle est donc extrêmement brève. Le travail mécanique qu'elle a fourni pourrait être produit, en 150 heures de marche continue, par une machine à vapeur de cent chevaux; mais, au bout de ce temps, cette machine n'aurait pas subi d'usure notable, tandis que le canon est hors d'usage.

Ainsi, plus les armes à feu deviennent puissantes, plus elles sont fragiles, et on arrive au point limite où la plus puissante industrie métallurgique est impuissante à les renouveler à mesure qu'elles s'usent. Dans tous les cas, les valeurs élevées indiquées pour le rendement ne sont qu'un trompe-l'œil; leur efficacité réelle est très faible, et c'est après tout bien heureux.

L. HOULLEVIGUE.

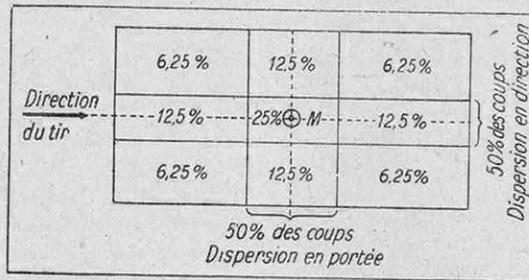


FIG. 6. — LA DISPERSION, CAUSE PRINCIPALE DU FAIBLE RENDEMENT DES PIÈCES D'ARTILLERIE

Si l'on tire un grand nombre de coups de canon dans des conditions identiques, les points de chute se répartissent sur une surface de dispersion autour d'un point M moyen. C'est ce point dont les tables de tir permettent de calculer la position. Le rectangle ci-dessus représente grossièrement la répartition en % des coups dans la surface de dispersion, supposée rectangulaire. Le réglage du tir qui consiste à amener le point moyen sur le centre de l'objectif donne le maximum de probabilité d'atteindre cet objectif. Mais, si celui-ci est de petite dimension (recherche du coup d'embrasure), cette probabilité peut être de 1/1 000 et moins.

dement ne sont qu'un trompe-l'œil; leur efficacité réelle est très faible, et c'est après tout bien heureux.

L. HOULLEVIGUE.

Des jets de vapeur naturels s'échappent en Toscane de certaines crevasses du sol. Depuis déjà longtemps, ces « soffioni » ou « souffleurs », dont le débit peut atteindre jusqu'à 200 t à l'heure, sont exploités pour l'extraction de certains produits chimiques tels que le borax. Des forages à grande profondeur ont accru considérablement les possibilités d'exploitation de cette région en créant de véritables « soffioni » artificiels capables d'alimenter de puissantes centrales thermiques. C'est ainsi qu'une centrale de 50 000 kW, d'ores et déjà installée à Larderello, va voir sa puissance portée prochainement à 75 000 kW, tandis qu'une deuxième centrale de 60 000 kW est en cours de construction à Castiglione dei Soffioni. L'énergie produite est destinée aux chemins de fer italiens et on jugera de l'importance de ces installations pour l'économie italienne par le fait qu'elles permettront une économie de charbon annuelle de plus de 400 000 tonnes, dont on sait que les gisements sont rares dans la péninsule.

# LA GUERRE GERMANO-RUSSE

(1<sup>er</sup> Août - 1<sup>er</sup> Septembre 1941)

par X X X

*Après les succès rapides remportés au mois de juillet 1941 par l'armée allemande (1), la guerre de Russie a pris, au cours du mois d'août, un caractère d'acharnement inouï. Trois batailles se sont déroulées simultanément et presque indépendamment l'une de l'autre : la bataille de Léninegrad, celle de Smolensk-Moscou, et celle de l'Ukraine. Cette dernière a abouti à la conquête d'une des portions les plus riches de l'U.R.S.S. Nous traçons ici, pour la période du 1<sup>er</sup> août au 1<sup>er</sup> septembre, le bilan de ces opérations qui ne sont à l'échelle d'aucune autre guerre de l'histoire.*

## Physionomie générale de la lutte

**L**e mois d'août a vu, semble-t-il, le conflit germano-soviétique arriver à son maximum d'ampleur et d'intensité.

L'offensive allemande qui, le 22 juin, avait débouché brusquement, du Niemen aux Carpates, sur un front de huit cent cinquante kilomètres, s'est épanouie vers le nord et vers le sud pour s'étaler sur une largeur de quinze cents kilomètres, du golfe de Finlande à la mer Noire.

Cet énorme théâtre d'opérations, comme on le sait, est découpé en plusieurs régions plus ou moins séparées. Sa partie occidentale est partagée en deux zones totalement distinctes par la large bande des marais du Pripet, impropre à l'action des masses armées. Plus à l'est, la ligne Staline étendait une barrière transversale continue des bouches du Dniester à la pointe nord de l'Estonie en utilisant, de Kiev à Orcha, l'obstacle sérieux constitué par le cours moyen du Dnieper. De nombreuses fortifications renforçaient et interceptaient les principales voies d'invasion vers l'intérieur de la contrée. Le plateau moscovite ne porte que peu de routes qui circonscrivent de vastes enceintes à travers lesquelles les communications sont précaires.

Ainsi trois conditions : le compartimentage général du pays, l'immensité des distances et l'importance des effectifs mis en œuvre de part et d'autre, ont imposé aux deux parties une décentralisation nettement accusée. Dans la formidable lutte

qui développe ses violentes péripéties de Léninegrad à Odessa, sur une étendue égale à celle qui va du Havre à Naples, il est impossible de distinguer une manœuvre unique conduite d'après un plan simple et étroitement coordonné en vue d'atteindre un objectif délimité. On assiste, au contraire, à un ensemble complexe de batailles qui se juxtaposent dans l'espace, s'enchevêtrent dans le temps et donnent l'impression d'une mêlée gigantesque, déchaînée et confuse.

Un autre caractère offert par ce vaste conflit et qui est apparu tout spécialement au cours du mois d'août, c'est la longue durée des épisodes. Après leur avance rapide des premiers mois de la campagne, les armées allemandes, forcées d'enlever de nombreux ouvrages, tenues de faire tête aux contre-attaques renouvelées des puissantes réserves soviétiques, retardées par la rareté et le mauvais état des routes, enfin gênées par la difficulté du ravitaillement et de l'entretien du matériel, sur des parcours si considérables, ont dû marquer des temps d'arrêt pour réduire les multiples flots où les troupes rouges encerclées résistaient d'une façon opiniâtre.

## Le caractère de la manœuvre russe

Les événements n'ont pas confirmé l'impression initiale qui donnait à croire que les armées soviétiques, surprises au moment où elles allaient prendre l'offensive, étaient déployées en grande majorité à proximité de la frontière provisoire séparant les parties du territoire polonais occupées par les Allemands et par les Russes. L'attitude des forces rouges a été

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 287, septembre 1941.

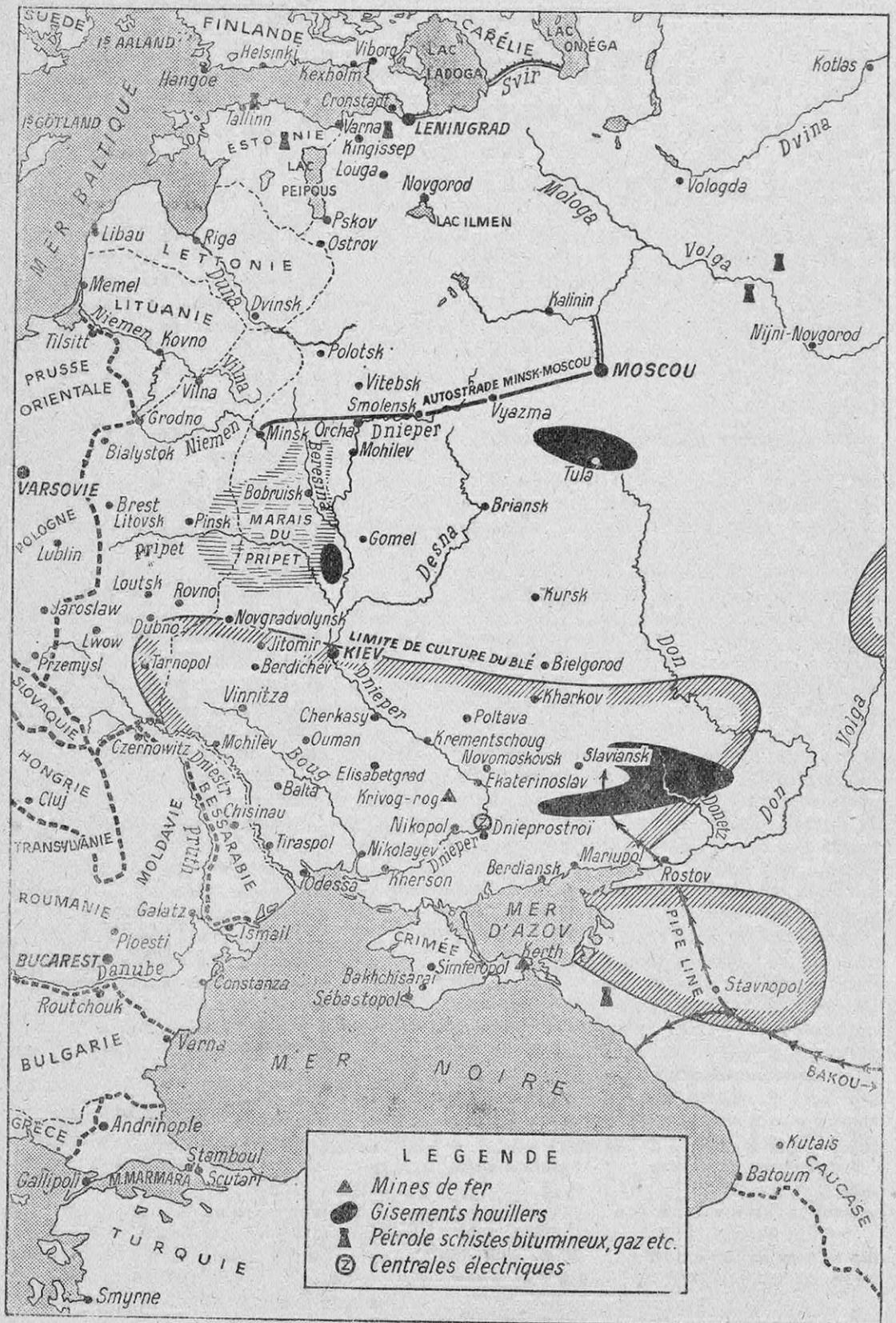


FIG. 1. — LES PRINCIPAUX OBJECTIFS ÉCONOMIQUES DES ARMÉES ALLEMANDES EN RUSSIE

d'un bout à l'autre défensive. A l'ouest du Dnieper et de la Duna, le haut commandement ne disposait pas de réserves nombreuses : c'est à l'est de la ligne Staline que les immenses masses russes sont entrées en action. Un échelonnement en profondeur si considérable — il y a 500 kilomètres de Bialystok à Mohilev — constitue un dispositif essentiellement défensif. Tout au plus peut-on dire que, si l'offensive rentrait dans les projets du Grand Quartier Général soviétique, la réunion des moyens était encore loin d'être achevée.

Par contre, les troupes rangées entre la ligne Dnieper-Duna et la région de Moscou ont montré une volonté combative ardente et persévérante. Mais leur intervention s'est toujours manifestée sous la forme de ripostes, de coups de boutoir violents et directs, destinés à écarter la menace des forces assaillantes. Le commandement russe a laissé l'adversaire prendre l'initiative des opérations et n'a jamais pu la ressaisir.

Une information de source allemande, transmise par T.S.F., indique, pour le premier échelon des forces qui constituait la couverture des armées russes, la répartition suivante : dans la région de Léningrad, quinze divisions ; en Lituanie, environ vingt divisions ; dans la poche de Bialystok, un peu plus de vingt-cinq ; en Galicie, quarante, et en Bessarabie, quinze. Au total, l'offensive allemande aurait trouvé devant elle tout d'abord, de la mer Baltique aux Carpates, quatre-vingt-cinq à quatre-vingt-dix divisions.

On ne s'explique pas très bien à quel dessein répondait la prépondérance des moyens rassemblés par les Russes dans la poche de Lwow et au sud de celle-ci, car, dans l'hypothèse d'un plan de campagne défensif, il n'était pas douteux que la zone située au nord des marais du Pripet, qui ouvrait l'accès direct vers la Russie centrale, ne présentât plus d'importance, du point de vue purement stratégique, que le secteur relativement excentrique de l'Ukraine. Le grand état-major de Moscou a-t-il voulu couvrir spécialement les riches terrains agricoles et industriels du sud de l'U.R.S.S., ainsi que les ports de la mer Noire ? A-t-il songé à protéger avant tout la région des pétroles, à l'est et au nord du Caucase ? Ou bien, dans l'intention de passer plus tard à l'offensive, avait-il commencé à concentrer une masse plus grande au

nord des Carpates pour faire son effort principal par sa gauche ? C'est ce qu'il n'est pas possible de savoir pour le moment.

Les forces soviétiques ont été, semble-t-il, réparties en trois groupes d'armées accolés, qui correspondent, du nord au sud, à trois grandes régions du plateau russe. Celui du nord, sous les ordres du maréchal Vorochilov, est chargé de la défense de Léningrad et des ports de la mer Baltique, ainsi que de celle des territoires situés au sud de celle-ci ; celui du centre, dont le chef est le maréchal Timochenko, opère à l'ouest de la zone de Moscou ; celui du sud, placé sous l'autorité du maréchal Boudienny, a pour domaine l'Ukraine et le littoral de la mer Noire. Enfin, un certain nombre d'unités sont détachées à Mourmansk et en Carélie, pour couvrir ce port, ainsi que la voie ferrée et le canal qui le relie à Léningrad.

### Les grandes lignes de la manœuvre allemande

Les communiqués officiels allemands nous ont fait connaître l'ordre de bataille des unités d'ordre supérieur qui ont participé à l'offensive contre la Russie. L'ensemble en a été articulé en quatre groupes d'armées.

Celui du nord, fort de deux armées et commandé par le maréchal von Lœb, est parti de la Prusse-Orientale et s'est avancé à travers les pays baltes, jusqu'au sud de Léningrad. Immédiatement au nord des marais du Pripet, le groupe de trois armées du maréchal von Bock a marché sur l'axe général Minsk, Smolensk, Moscou. Un troisième, aux ordres du maréchal von Rundstedt, comprenant deux armées, auxquelles se sont jointes les forces hongroises, a débouché de Galicie et a progressé d'abord vers Kiev. Enfin l'ensemble des forces germano-roumaines, placé sous le commandement du maréchal Antonesco, a pénétré en Bessarabie. A l'extrême nord, des troupes allemandes et finlandaises, dont le commandement supérieur a été confié au maréchal Mannerheim, ont attaqué Mourmansk et franchi la frontière russe, à l'est et à l'ouest du lac Ladoga.

Ainsi la forme générale de cette immense manœuvre est nettement divergente.

La masse allemande de gauche, orientée au nord-est vers Léningrad, s'est

écartée de celle du centre, dont la direction générale était ouest-est. L'ensemble des forces de droite s'est rabattu vers le sud-est, élargissant jusqu'à la mer Noire le théâtre de la lutte.

Les trois grandes opérations qui se sont ainsi développées en éventail, du golfe de Finlande aux bouches du Dnieper, n'ont pas entre elles de lien apparent. Le commandement russe a-t-il joué de ses disponibilités pour renforcer, suivant les be-

## Les opérations autour de Léninegrad

A l'extrême nord du théâtre de la guerre, la situation est demeurée à peu près stationnaire pendant le mois d'août. Mourmansk, attaqué depuis bien des semaines, est toujours aux mains des Russes. On a enregistré un raid aérien effectué par les appareils d'un navire porte-avions britannique contre Petsamo. En Carélie, aucun fait bien saillant n'a été

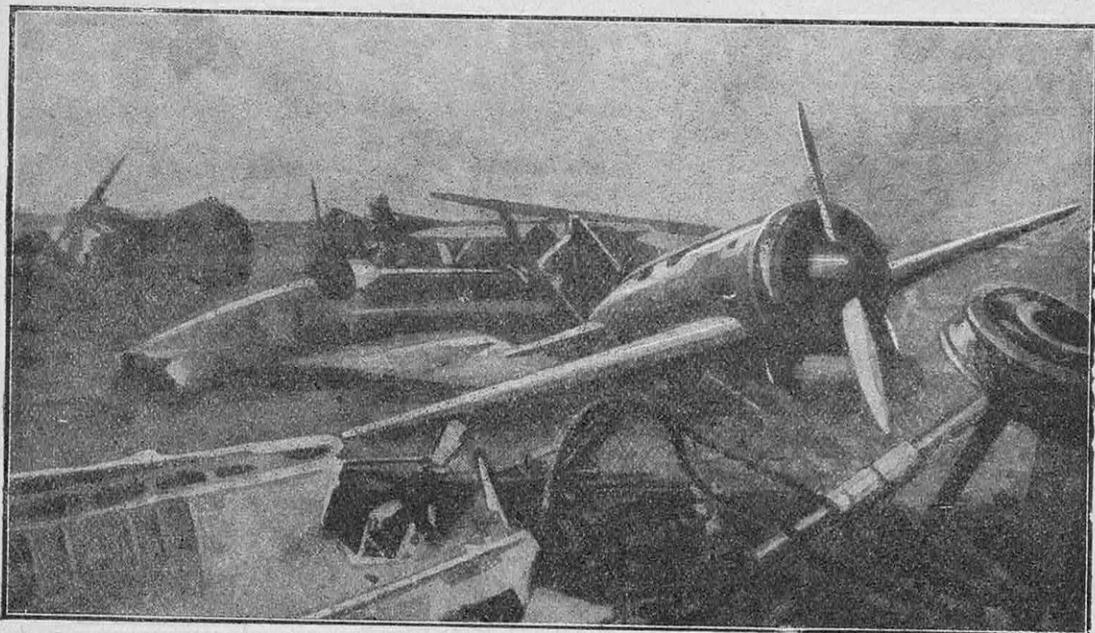


FIG. 2. — UN CIMETIÈRE D'AVIONS SUR LE FRONT GERMANO-RUSSE

T W 12539

*Comme ce fut le cas pour l'offensive allemande en Pologne et en France, la campagne de Russie a débuté par un bombardement massif des aérodromes russes, sur lesquels un grand nombre d'avions furent détruits avant d'avoir pu décoller.*

soins, l'un ou l'autre des secteurs menacés? On ne le sait pas, mais il est plus vraisemblable que les réserves affectées aux armées engagées provenaient des provinces orientales de l'U.R.S.S.

De même, on ne peut affirmer, faute de tous renseignements à cet égard, que le Grand Quartier Général allemand ait effectué, pendant les deux mois qui viennent de s'écouler, des transports de troupes d'une zone à l'autre, pour accroître, au cours des différentes phases, les moyens mis à la disposition du groupe d'armées chargé de l'opération principale.

Il est donc logique d'étudier l'évolution des événements successivement dans chacune des trois grandes zones dont le centre est à peu près marqué respectivement par les trois villes de Léninegrad, Moscou et Kiev.

signalé. Des troupes finlandaises ont atteint la frontière sur plusieurs points. On a depuis longtemps annoncé que la voie ferrée de Léninegrad à Mourmansk était coupée, sans que la chose ait reçu une confirmation certaine.

Au sud de la Finlande, l'offensive des forces germano-finnoises dans l'isthme de Carélie et dans la région située entre les lacs Ladoga et Onéga s'est poursuivie sans arrêt. Mais elle s'est heurtée à une énergique résistance. Une partie de la rive nord du premier de ces lacs a été conquise. Des forces soviétiques, encerclées, ont fait des efforts vigoureux et prolongés pour se dégager, mais elles ont dû capituler. La ville de Sutavala a été occupée par les Finlandais le 17, après un dur combat. La ligne principale de défense russe établie sur la Svir, entre

les deux grands lacs, ne semble pas encore avoir été abordée. Entre le lac Ladoga et le golfe de Finlande, l'armée finlandaise, progressant le long de la côte de la Baltique, s'est emparée de Viborg le 30 août.

Dans la deuxième partie du mois de juillet, le groupe d'armées allemandes de gauche avait poussé sa progression à l'est et à l'ouest du lac Peïpous, après avoir percé la ligne Staline un peu plus au sud. En Estonie, sa gauche a nettoyé tout le pays, réduit des îlots de résistance d'importance variée et s'est approchée du golfe de Finlande qu'elle a atteint en plusieurs points. La plupart des villes sont tombées aux mains des assaillants. La base navale fortement protégée de Tallinn a été prise le 28 août par l'armée allemande. Le même jour, le port militaire de Port Baltique a été également occupé par les troupes allemandes. L'évacuation des ports estoniens par 123 navires de guerre et de commerce russes, s'efforçant de rallier les ports de Cronstadt et de Leningrad, a donné lieu à une grande bataille aéronavale au cours de laquelle plusieurs dizaines d'entre eux furent coulés. La perte de ces bases navales, coïncidant avec l'entrée en service du cuirassé allemand « Von Tirpitz », pourrait modifier l'équilibre des forces navales dans la Baltique.

À l'est du lac Peïpous, les Allemands, maîtres de Pskov, d'Ostrov et de Porkhov, ont continué leur avance vers Louga et la zone sud de Leningrad. Mais ils ont été longtemps arrêtés par une ligne fortifiée, qui constituait, semble-t-il, la première ligne de défense de la ville face au sud-ouest et s'appuyait à l'est du lac Ilmen et à l'ouest du lac Peïpous. Cette position a été enfoncée vers le milieu d'août. Les assaillants, exploitant leur succès, se sont emparés des villes de Novgorod, à la pointe nord du lac Ilmen, de Kingisep et de Narva, qui commande l'intervalle entre la rive nord du lac Peïpous et le golfe de Finlande.

L'investissement de l'ancienne capitale de la Russie se trouve ainsi resserré à l'ouest et au sud. Mais il n'est pas encore achevé du côté du sud-est. On a, depuis plusieurs semaines, annoncé que le trafic était interrompu sur la voie ferrée directe de Leningrad à Moscou. Cette ligne, atteinte le 29 août par les armées allemandes, était dépassée au 1<sup>er</sup> septembre, tandis que des contre-attaques des groupes

d'armées du maréchal Timochenko, venues du sud, s'efforçaient de soulager la défense de Leningrad. Mais la ligne Leningrad-Vologda, couverte au sud par la région marécageuse de la Mologa, devait fonctionner encore, dans la mesure où les bombardements aériens de la Luftwaffe le permettent.

### Les opérations en direction de Moscou

La bataille de Smolensk, qui a commencé vers le milieu de juillet, s'est poursuivie avec un extrême acharnement pendant la première partie du mois d'août. Le communiqué du Grand Quartier Général allemand du 7 a annoncé la fin de cette lutte gigantesque, qui s'est étendue sur une zone de deux cent cinquante kilomètres de largeur sur cent cinquante de profondeur.

Le tableau qui ressort des principales informations parvenues jusqu'à nous est à peu près le suivant :

Après avoir rompu la ligne Staline sur quelques secteurs assez étroits, de Polotsk, sur la Duna, à Mohilev, sur le Dnieper, des groupements blindés et motorisés allemands, appuyés par l'aviation de bombardement, ont pénétré à travers ces brèches et se sont avancés sur les routes principales, en se frayant un chemin au milieu des réserves rouges. Parvenus sur les grandes transversales, ils se sont épanouis latéralement et se sont reliés entre eux, deux à deux, entourant ainsi de vastes îlots de terrain et les troupes adverses qui s'y trouvaient. Les forces soviétiques ont réagi avec une extrême vigueur pour rompre l'étreinte des assaillants. De nombreuses grandes unités ont exécuté des contre-attaques violentes et répétées. Les combats les plus acharnés ont eu lieu autour de Smolensk, Vitebsk, Polotsk, Nevel et Mohilev. Cependant, les groupements de choc allemands ont réussi à briser en fragments plus petits les grands morceaux encerclés tout d'abord. La réduction de tous ces centres de résistance a constitué un ensemble de batailles séparées, qui se sont prolongées pendant quatre semaines.

Après que les derniers sursauts de cette vaste et complexe opération se furent calmés, les renseignements sur la partie centrale du théâtre de la lutte sont devenus extrêmement rares et imprécis. C'est seulement par le communiqué allemand du 21 août qu'on a appris l'achèvement d'une grande bataille dans la ré-

gion de Gomel, à cent cinquante kilomètres au sud de Mohilev. Des éléments de nombreuses grandes unités rouges d'infanterie et de cavalerie, ainsi que de deux divisions blindées, ont dû capituler. Il est donc vraisemblable qu'après la réduction des principaux flots de résistance des environs de Smolensk, une partie des forces du groupe d'armées du maréchal von Bock s'est arrêtée face à Moscou, tandis que le reste se rabattait vers le sud, pour encercler les importantes troupes adverses demeurées derrière la ligne Staline, au sud de Mohilev. Après la bataille de Gomel, les troupes allemandes se sont avancées en direction de Briansk, important nœud de communications sur la voie ferrée directe qui va de Moscou à Kiev. Cette offensive menace de séparer les armées du maréchal Timochenko de celles du maréchal Boudienny. Les troupes allemandes de ce secteur sont en butte à de perpétuelles contre-attaques soviétiques.

Ainsi, toute la région de la rive droite du Dnieper, depuis le sud de Kiev jusqu'au delà de Smolensk, est aujourd'hui occupée par les armées allemandes.

### La bataille d'Ukraine

C'est dans le secteur sud de la Russie que la lutte a pris le plus d'extension et de véhémence, au cours des dernières semaines. L'avance des armées allemandes, hongroises et germano-roumaines dans cette région, qui avait été sensiblement moins rapide que celle des masses du centre et de gauche, a pris en quelques jours une allure beaucoup plus accélérée : les forces alliées, s'infléchissant vers le sud, ont atteint promptement les rives de la mer Noire.

Dans son ensemble, la manœuvre pré-

sente une forme analogue à celle de l'attaque débordante qui, en mai 1940, a abouti à l'isolement du groupe franco-britannique dans les Flandres et à son refoulement vers la côte de la Manche, mais, dans leurs conditions initiales et leurs modalités d'exécution, les deux opérations diffèrent complètement.

Tandis que, dans le nord de la France, le tracé du front, sur la Meuse, dessinait un rentrant accentué qui permettait d'es-



T W 12540

FIG. 3. — UN DÉTECTEUR DE MINES UTILISÉ PAR LES TROUPES FINLANDAISES DANS LEUR AVANCE EN CARÉLIE

*L'écouteur émet un son lorsque le chercheur électromagnétique s'approche d'une masse métallique. Dans la région de Kuittigäroi, les soldats soviétiques avaient enfoui des mines en très grand nombre sur une profondeur de 7 kilomètres, rendant impossible l'avance des éléments blindés.*

compter, en peu de temps, à la suite d'une rupture brutale, l'enveloppement total des armées de Belgique, au contraire, entre les marais du Pripet et la mer Noire, la région de Lwow, zone de départ forcée du mouvement tournant, formait un saillant très marqué, qui se trouvait renforcé par de nombreuses fortifications. Les unes, en première ligne, couvraient Lwow, les autres, à plusieurs centaines de kilomètres en arrière, protégeaient Kiev et interdisaient les passages au sud de la région marécageuse.

À la fin de juillet, Kiev était menacé de trois côtés : des colonnes blindées venant du nord descendaient vers la capitale de l'Ukraine, sur la rive droite du Dnieper ; à la suite de la chute de Novograd-Volynsk, une pression violente s'exerçait de l'ouest à l'est, contre le

front Jitomir-Berdichev ; enfin des forces germano-roumaines progressaient de Czernowitz et Mohilev sur Vinnitsa et des unités hongroises glissaient au sud et au sud-est de Kiev. A l'extrême sud, le groupe d'armées du maréchal Boudienny, après avoir évacué la Bessarabie, battait en retraite. Mais le mouvement rétrograde avait été ordonné tardivement et l'aile gauche se trouvait sensiblement en retrait.

C'est à partir de la première semaine d'août que la situation, de ce côté, a évolué avec une grande promptitude.

Un communiqué allemand du 6 août annonçait que des groupements mécaniques et motorisés, se rabattant vers le sud-est, s'étaient portés sur les communications des forces russes qui combattaient entre le Dniester et le Dnieper. La cavalerie et les détachements mobiles hongrois ont pris une part importante à cette opération. En même temps, les troupes germano-roumaines, venues de Bessarabie, ont traversé le cours moyen du Dniester et ont réalisé leur jonction avec les colonnes allemandes venant du nord. Les masses soviétiques, attaquées sur leur flanc droit et investies sur leurs arrières, ont été encerclées ou refoulées vers le rivage de la mer Noire.

D'après les informations, parfois contradictoires, qui ont été transmises de diverses sources, il semble que deux flots principaux ont été entourés dans cette région, l'un entre le Dniester et le Boug, l'autre entre ce dernier fleuve et le Dnieper.

Le communiqué allemand du 8 a fait connaître que deux armées rouges et une fraction d'une troisième avaient été anéanties dans la région d'Ouman.

L'exploitation par les groupements blindés et motorisés s'est alors précipitée : le 13 août, ils ont atteint la côte de la mer Noire, à l'est d'Odessa. Nikolaïev, base navale située à l'embouchure du Boug, investi le même jour par l'est et par l'ouest, a été pris le 16. Le 20, le port de Kherson, à l'embouchure du Dnieper, tombait à son tour. Les éléments russes en retraite acculés à la mer, et qui ont pu gagner les ports, ont été embarqués en hâte.

Tout ce terrain compris dans la grande boucle du Dnieper a été conquis par les forces assaillantes, qui sont complètement maîtresses du bassin industriel de Krivog-Rog. Au 1<sup>er</sup> septembre, le port

d'Odessa, complètement encerclé, continuait à résister derrière une puissante ceinture fortifiée. Le maréchal Boudienny semblait avoir réussi à replier une grande partie de ses troupes à l'est du Dnieper. Pour retarder le franchissement du fleuve par l'envahisseur, les Russes n'ont pas hésité à faire sauter le célèbre barrage du Dnieprostroï, qui fournissait l'énergie électrique d'un puissant « combinat » industriel. L'énorme lac artificiel, retenu par ce barrage, brusquement libéré, a causé la destruction de toutes les installations industrielles du cours inférieur du Dnieper.

### Conclusion

Pendant le courant du mois d'août, les grandes rencontres qui duraient depuis plusieurs semaines ont évolué lentement, mais d'une façon continue.

Dans le secteur central, les résultats acquis à la suite de la bataille de Smolensk ont été complétés par la capture des importantes forces soviétiques qui résistaient encore sur la rive gauche du Dnieper, au sud de Mohilev. Toute la région à l'ouest et au sud-ouest de Moscou se trouve ainsi aux mains des Allemands. Aucune précision ne nous permet de savoir à quelle distance de la capitale de l'U.R.S.S. se trouvent actuellement les avant-gardes de l'assaillant.

En Ukraine, la manœuvre de simple enveloppement, la gauche en avant, a permis de couper les communications du gros des armées du maréchal Boudienny, dont une notable partie a dû capituler.

Enfin, aux abords du golfe de Finlande, l'investissement de Léningrad a progressé sensiblement, mais n'est pas achevé.

Le développement ultérieur des opérations dépend avant tout de l'importance des réserves organisées et prêtes à combattre dont dispose encore le commandement soviétique. Les pertes en hommes et en matériel subies par les armées rouges ont été considérables. Reste-t-il aux Soviets assez de formations bien armées, bien encadrées, pour maintenir l'effort formidable fourni depuis plus de deux mois et continuer longtemps la résistance sur l'énorme front qui s'étend du golfe de Finlande à la mer Noire ? C'est ce qu'un proche avenir fera connaître.

# LE CHIMISTE PEUT-IL TROUVER DES EXPLOSIFS PLUS PUISSANTS QUE LES EXPLOSIFS ACTUELS ?

par Henry MURAOUR

*Contrairement à une opinion très répandue, les explosifs ne sont que des réservoirs assez maigres d'énergie, et leur propriété la plus intéressante est de pouvoir libérer cette énergie presque instantanément. Il est possible de réaliser des mélanges explosifs plus puissants que les explosifs usuels (acétylène solide + oxygène liquide par exemple), mais ces mélanges très sensibles sont pratiquement inutilisables. La désintégration des atomes, si nous savions lui donner l'allure explosive qu'elle doit prendre dans les « nova », ces étoiles nouvelles dont la brillance augmente brusquement en quelques jours, nous fournirait sans doute les explosifs les plus puissants qu'il soit possible de découvrir. Les expériences récentes de Joliot-Curie sur la désintégration de l'uranium montrent que la libération de l'énergie intraatomique n'est peut-être pas un rêve irréalisable.*

LES phénomènes mécaniques, sonores et aussi lumineux qui accompagnent la détonation des explosifs, ont toujours frappé l'imagination. Pour beaucoup, les explosifs sont de remarquables réservoirs d'énergie et chaque année de nouveaux inventeurs en proposent l'utilisation dans des moteurs à explosion. D'autre part, et non pas seulement pour des profanes, l'idée de composé explosif est souvent liée à l'idée de composé instable. Cette idée a été défendue par de nombreux thermodynamiciens, tout système capable de se transformer avec dégagement de chaleur étant considéré comme étant en état de « faux équilibre ».

Si, par système instable on entend système dans lequel la réaction une fois amorcée se propage d'elle-même, cette idée est exacte, mais *système instable* ne signifie pas *molécule instable*, et le fait qu'avec une capsule de 2 g de fulminate nous pouvons faire détoner une quantité illimitée d'un explosif comme l'acide picrique ne signifie nullement que la molécule d'acide picrique soit une molécule instable.

## **Les explosifs, maigres réservoirs d'énergie**

On sait qu'un kilogramme d'essence de pétrole dégage en brûlant 11 000 calories.

Brûlons ce kilogramme d'essence dans une lampe placée sur notre table de travail. Lorsque nous aurons entièrement consommé notre kilogramme d'essence, les 11 000 calories auront été dissipées sans aucun effet mécanique; elles auront été lentement transmises à tout le milieu environnant. Mais mélangeons notre essence avec une quantité d'oxygène liquide suffisante pour obtenir la combustion sous forme de gaz carbonique et de vapeur d'eau. Amorçons la décomposition par une petite capsule de fulminate. Une explosion terrible se produira, réduisant en morceaux notre table de travail et mettant notre appartement en fort mauvais état. Cependant notre kilogramme d'essence n'a toujours dégagé en brûlant que 11 000 calories, mais au lieu d'être dissipées lentement pendant des heures, ces 11 000 calories ont été dégagées en quelques millièmes de seconde. Notre essence s'est trouvée transformée, sous son propre volume, en un mélange de gaz carbonique et de vapeur d'eau porté à une température voisine de 4 000° C. Il en est résulté des pressions locales de l'ordre de centaines de tonnes par cm<sup>2</sup> (pressions auxquelles aucun matériau ne peut résister) et aussi la transmission dans l'air environnant d'une onde de choc capable de produire à distance des effets destructeurs.

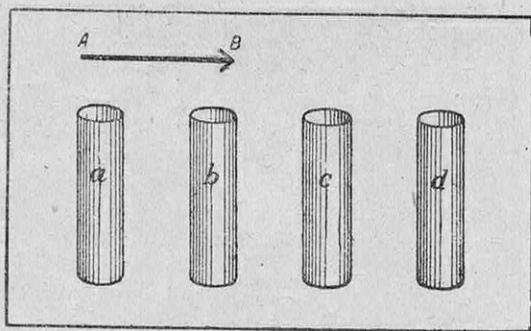


FIG. 1. — UN SYSTÈME PEUT ÊTRE A LA FOIS STABLE ET EXPLOSIF

Sapée à sa base, la tour a, en s'écroulant dans la direction ab, peut entraîner la chute successive des tours b, c, d, etc... Cela ne signifie nullement que le travail nécessaire à la destruction de a soit négligeable et que les tours soient instables.

Il est important de remarquer que les 11 000 calories dégagées se rapportent au kilogramme d'essence et non au kilogramme du mélange essence + oxygène liquide. Pour les explosifs ordinaires, dans lesquels l'oxygène nécessaire à la combustion de la molécule organique est apporté, soit par l'introduction de groupements nitrés ou nitriques, soit par l'introduction de groupements chloriques ou perchloriques, la présence des atomes inertes, azote et chloré, diminue encore le nombre de calories dégagées par l'explosif. C'est ainsi que la décomposition explosive d'un kilogramme de nitroglycérine, qui constitue cependant un des explosifs les plus puissants, ne dégage que 1 500 calories; Stettbacher a fait remarquer qu'une automobile consommant 10 litres d'essence pour parcourir 100 km aurait besoin d'emporter, pour effectuer le même parcours et en admettant que le moteur fonctionne avec le même rendement, un poids de 49 kg d'une dynamite puissante. La décomposition de 1 kg d'acide picrique (mélinite) ne dégage que 1 030 calories, la décomposition de 1 kg de trinitrotoluène (tolite) que 1 016 calories. Même pour les mélanges de noir de fumée et d'oxygène liquide, le dégagement de chaleur n'est que de 2 000 calories par kg.

L'emploi d'explosifs dans les moteurs à combustion interne ne présente donc aucun intérêt. L'utilisation n'en pourrait être envisagée que pour la navigation à très grande altitude, dans des régions où il devient difficile d'emprunter à l'atmosphère environnante l'oxygène nécessaire à la combustion de l'essence. Remarquons que si, au lieu de faire appel à des explosifs du type nitroglycérine, acide picrique, etc., dans lesquels l'énergie dégagée a pour origine la combustion du carbone et de l'hydrogène, nous faisons appel à des explosifs ne contenant pas d'oxygène comme, par exemple, l'azoture de plomb, composé qui n'est explosif que parce que sa molécule est endothermique (c'est-à-dire formée avec absorption de chaleur), le nombre de calories dégagées par kilogramme est encore beaucoup plus faible, puisque la décomposition d'un kilogramme d'azoture de plomb, explosif cependant très brisant, ne dégage que 260 calories.

### Les molécules explosives sont-elles instables?

Depuis Duhem, on a souvent comparé un système explosif à une bille posée sur un plan bien poli et incliné. La bille reste immobile par suite d'un certain frottement au contact de la surface, mais le moindre choc suffit pour amorcer son

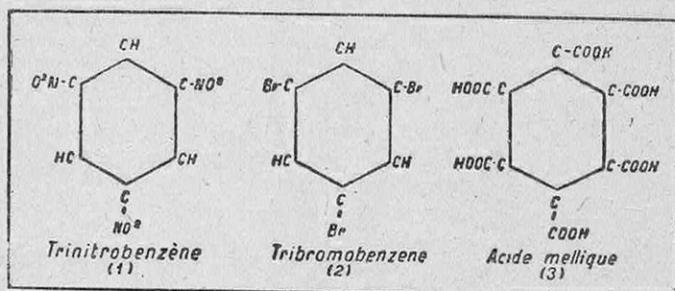
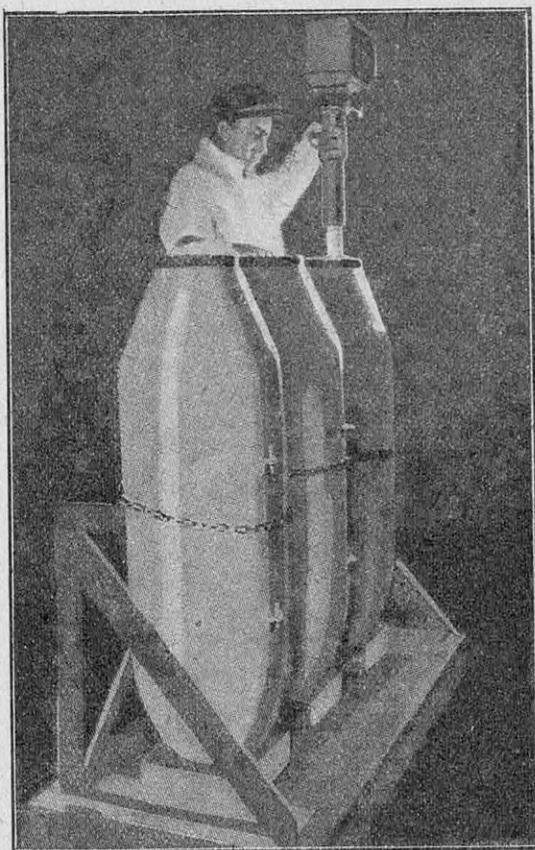


FIG. 2. — LA MOLÉCULE D'UN CORPS EXPLOSIF EST UN RÉSERVOIR D'ÉNERGIE CHIMIQUE

Le trinitrobenzène (1) est un explosif parce que la destruction de sa molécule donne naissance à des groupes C, CH, NO<sup>2</sup> qui réagissent entre eux avec un grand dégagement de chaleur. Tant que la molécule n'est pas détruite, il n'y a pas réaction entre les groupes NO<sup>2</sup> et le reste de la molécule. Le tribromobenzène (2) n'est pas un explosif parce que les produits de sa destruction ne réagissent pas entre eux avec dégagement de chaleur. L'acide melleique (3), bien que contenant une très forte proportion d'oxygène, n'est pas un explosif parce que l'oxygène est ici lié au carbone et non à l'azote comme dans le trinitrobenzène. Dans l'acide melleique, le carbone est déjà « brûlé ». Bien que le trinitrobenzène soit un explosif, l'énergie nécessaire pour décomposer sa molécule peut très bien être supérieure à celle nécessaire pour décomposer le tribromobenzène et l'acide melleique (corps non explosifs), et par conséquent sa molécule peut être plus stable.

déplacement. Cette image est absolument faussée. Il existe, certes, des molécules explosives instables, telles l'iodure d'azote, mais ce ne sont là que des exceptions. Pour bien montrer le fait que la décomposition, amorcée en un point de l'explosif, se propage dans toute sa masse n'est pas lié à l'instabilité de la molécule explosive elle-même, nous ferons appel à une image un peu grossière, mais parlante : Considérons une série de tours *a*, *b*, *c*, *d*, placées en ligne et suffisamment rapprochées l'une de l'autre (fig. 1). Sapons à sa base la tour *a* et supposons que la chute de la tour *a* entraîne celle de la tour *b*, puis celle de la tour *c* et ainsi de suite; dirons-nous que cette propagation prouve que la tour *a* est instable? Non, car il nous a peut-être fallu dépenser un gros travail pour abattre la première tour. La propagation signifie simplement que le travail nécessaire pour abattre une tour est inférieur au travail produit par la chute d'une des tours; il en est de même pour les molécules explosives. Ce travail nécessaire pour abattre une tour correspond à ce que les physicochimistes appellent aujourd'hui « énergie d'activation », c'est-à-dire l'énergie qu'il faut fournir à une molécule pour qu'elle puisse entrer en réaction. Considérons deux composés, l'un explosif : le trinitrobenzène, l'autre non explosif : le tribromobenzène (fig. 2). Il est fort possible que, pour détruire la molécule de trinitrobenzène, nous ayons à fournir une quantité d'énergie beaucoup plus grande que pour détruire la molécule de tribromobenzène, mais la décomposition de cette dernière molécule n'entraîne aucun dégagement notable de chaleur, tandis que la décomposition de la molécule de trinitrobenzène donne naissance à des groupements  $\text{CH}$  et  $\text{NO}_2$  qui réagissent entre eux. La combustion du carbone et de l'hydrogène dégage alors une quantité de chaleur suffisante pour entraîner la décomposition des molécules voisines. La propagation se produit donc ici, alors qu'elle ne s'était pas produite dans le cas du tribromobenzène. Même une molécule endothermique n'est pas nécessairement une molécule instable; c'est ainsi que pour obtenir la détonation de l'azoture du plomb il faut le porter à  $340^\circ$ , température à laquelle bien des substances non explosives sont depuis longtemps décomposées.



T W 12120

FIG. 3. — LE CHARGEMENT D'UNE BOMBE A L'AMATOL FONDU

*L'amatol (FP 60/40 allemand) est un mélange de trinitrotoluène et d'un produit chimique extrêmement facile à préparer en grande quantité, le nitrate d'ammonium. Ce dernier corps, utilisé comme engrais, est tellement stable qu'on ne peut guère, dans les conditions normales, le considérer comme un explosif: le mélange avec le trinitrotoluène (60 tri et 40 NA) constituant un explosif puissant, peu sensible au choc et que l'on charge en fondu.*

### Les différents modes de décomposition des explosifs

En nous basant sur cette notion de l'énergie qu'il est nécessaire d'apporter à une molécule explosive pour la décomposer, c'est-à-dire sur la notion d'énergie d'activation, nous allons étudier successivement les différents modes de décomposition des explosifs : décomposition thermique, combustion, détonation.

*La décomposition thermique.* — Tous les explosifs dont on élève progressivement la température peuvent se décomposer sans détoner. On sait que l'énergie apportée par le chauffage se répartit d'une façon inégale parmi les molécules; certaines molécules ont une énergie infé-

rière, d'autres supérieure à la moyenne. Si, pour ces dernières, l'énergie reçue est supérieure à l'énergie d'activation, il y a décomposition de la molécule. Le fait que, si l'échauffement de l'explosif est suffisamment lent, il n'y a pas propagation, prouve que la décomposition d'une molécule isolée n'entraîne pas, même pour un explosif d'amorçage comme l'azoture de plomb, la décomposition de toute la masse.

Cette conclusion est en accord avec les résultats des expériences (1) qui montrent qu'il est possible de bombarder des explosifs d'amorçage soit avec des électrons de grande énergie (90 000 volts), soit avec les rayons  $\alpha$  du polonium, soit avec des fragments nucléaires de l'uranium (bombardé par des neutrons), sans obtenir la détonation. Il y a simplement décomposition lente

de l'explosif (l'iodure d'azote, très instable, fait exception et détone).

On n'a pas réussi non plus à faire détoner les explosifs d'amorçage (fulminate de mercure, azoture de plomb, perchlorate du diazo de méthanitriline), sous l'action des ultrasons.

*La combustion des explosifs.* — Si nous en exceptons quelques explosifs d'amorçage, dont nous parlerons plus loin, tous les explosifs sont susceptibles de brûler sans détoner au simple contact d'une flamme. Dans le phénomène de la combustion, l'énergie nécessaire à la décomposition de la molécule explosive (énergie d'activation) est apportée suivant deux mécanismes :

1° Par conductibilité.

2° Par le choc des molécules gazeuses, dégagées par la réaction de combustion, sur la surface de l'explosif non encore décomposé (fig. 4). La surface d'inflammation de la poudre se déplace progressivement de l'extérieur vers l'intérieur du fragment de poudre, à une vitesse uni-

forme que l'on appelle vitesse de combustion de la poudre.

L'apport d'énergie par conductibilité est indépendant de la pression, l'apport par le choc des molécules gazeuses est proportionnel à la pression. Aux très faibles pressions, c'est le premier mécanisme qui prédomine, aux pressions élevées c'est, au contraire, le second; la vitesse de combustion est alors, en première approximation, proportionnelle à la pression (1).

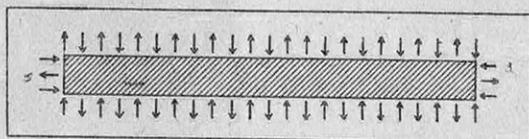


FIG. 4. — LA COMBUSTION SOUS PRESSION D'UNE LAME DE POUDRE

Toute la surface du brin de poudre est en combustion. Les molécules des gaz dégagés viennent frapper la surface de la poudre, imperméable au gaz, et portent ainsi successivement les différentes couches à leur température de décomposition, la combustion a lieu par couches parallèles. La vitesse de combustion est, en première approximation, proportionnelle à la pression. La zone de combustion se déplace à une vitesse de l'ordre de quelques centimètres par seconde.

plation). Ces lois s'appliquent dans de très larges limites de pression (de 200 kg à 4 000 kg/cm<sup>2</sup>).

Connaissant la composition d'une poudre, il est facile de calculer sa température d'explosion et, par suite, sa vitesse de combustion aux différentes pressions. Pour les poudres colloïdales, cette vitesse est d'environ 20 cm/s pour une pression de 4 000 kg/cm<sup>2</sup>.

On voit que, contrairement à une opinion courante, la vitesse de combustion des poudres, même sous cette pression, exceptionnelle, dans les armes, de 4 000 kg/cm<sup>2</sup>, est relativement faible et que l'expression courante « vif comme la poudre » s'applique ici bien mal.

*La détonation des explosifs.* — Dans la détonation, l'énergie nécessaire à la décomposition de la substance explosive est apportée par une onde de compression (onde explosive).

Sauf pour les explosifs d'amorçage,

(1) La loi qui donne la vitesse de combustion en fonction de la pression est de la forme :

$$V = a + bP,$$

V étant la vitesse de combustion et P la pression. C'est ce que nous avons démontré en collaboration avec M.-G. Aunis.

(1) Exécutées en collaboration avec J.-L. Trillat, avec P. Auger et avec Paul Fabre et Claude Magnan.

dont nous parlerons plus loin, cette onde ne prend pas naissance par simple inflammation; elle a toujours pour origine un choc, choc produit par la décomposition d'un détonateur (chargé lui-même avec un explosif d'amorçage) (1), choc d'une balle de fusil, etc.

L'onde explosive est entretenue par la réaction elle-même; elle se propage à une vitesse considérable qui varie de 4 000 à 8 000 mètres par seconde, suivant la nature et l'état physique de l'explosif, en particulier suivant sa densité. En général, la vitesse de détonation est d'autant plus élevée que la densité de l'explosif est plus forte; c'est le cas pour la majorité des explosifs (mélinite, tolite, etc.). Cependant, pour les mélanges explosifs à base de nitrate d'ammoniaque ou de chlorate, il existe un maximum de vitesse et pour les très fortes densités l'explosif ne détone plus; il est « surcomprimé ». Cette propriété doit être prise en considération dans le chargement des projectiles, car elle peut donner lieu à des ratés de détonation.

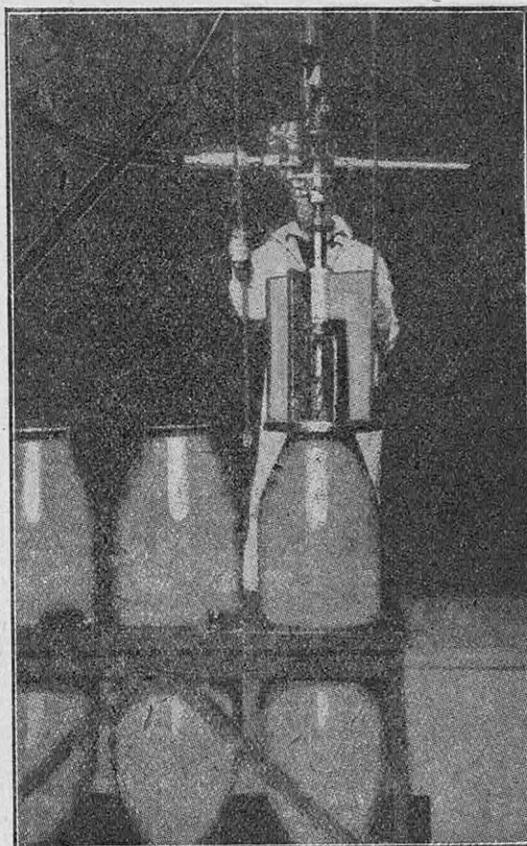
Aucun matériau ne résistant aux pressions de détonation, on n'a pu encore mesurer celles-ci, mais elles doivent être de l'ordre de 100 000 kg/cm<sup>2</sup> et plus.

Tous les explosifs, sauf les mélanges type poudre noire, sont susceptibles de détoner. Les poudres colloïdales n'échappent pas à cette règle, mais pour elles la création de l'onde explosive nécessite un amorçage extrêmement puissant, un pé-tard de 135 g de mélinite par exemple. Les poudres colloïdales détonent alors avec une vitesse de l'ordre de 7 000 mètres par seconde.

### Les effets à distance d'une explosion : l'onde de choc

En détonant, un explosif crée dans l'air environnant une onde mécanique qui se propage au début avec une vitesse considérable bien supérieure à celle du son. Cette onde (onde de choc) est discontinue, c'est-à-dire que la pression y atteint brusquement des valeurs très élevées; c'est elle qui produit à distance

(1) Il ne faut pas confondre les détonateurs destinés à créer l'onde explosive avec les amorces utilisées dans les fusils et les canons pour mettre le feu à la charge de poudre. Les amorces ne produisent qu'un jet de flamme et non pas une onde explosive. Si dans leur composition entre souvent un explosif d'amorçage comme le fulminate de mercure, c'est dans le seul but de rendre le mélange sensible au choc du percuteur.



T W 12121

FIG. 5. — PERCEUSE PNEUMATIQUE CREUSANT DANS L'EXPLOSIF D'UNE BOMBE LE LOGEMENT D'UN RELAIS DE TÉTRYL

*Certains explosifs très puissants sont en même temps si peu sensibles que les amorces au fulminate de mercure ne peuvent les faire détoner. On interpose alors entre l'amorce et le chargement un relais de tétryl, explosif plus sensible et très brisant, ce qui amplifie considérablement l'onde de choc émise par l'amorce et provoque l'explosion de la bombe.*

des effets mécaniques, car les gaz de l'explosion ne sont projetés qu'à une distance très faible du lieu de détonation.

L'onde s'amortit d'ailleurs rapidement et, à une distance relativement faible, ne se propage plus qu'à la vitesse normale du son. Les pressions enregistrées à distance s'affaiblissent aussi rapidement, comme le montrent les chiffres suivants :

Détonation de 1 000 kg d'explosif (dérivé nitré); pressions dans l'onde aérienne :

- A 500 m de distance : 0,040 kg/cm<sup>2</sup> ou 400 kg par mètre carré;
- A 1 000 m de distance : 0,019 kg/cm<sup>2</sup> ou 190 kg par mètre carré;
- A 2 000 m de distance : 0,012 kg/cm<sup>2</sup> ou 120 kg par mètre carré.

D'après ces valeurs de la pression, on ne pourrait guère observer à 500 m de distance que la rupture de parois légères, fenêtres par exemple. A. Schmidt a calculé les pressions dans l'onde aérienne produite par la détonation à l'air libre de 500 kg d'un explosif puissant. A 100 m de distance du lieu de l'explosion, la pression dans l'onde serait de 0,5 kg/cm<sup>2</sup>. En faisant détoner 2 000 kg d'explosif, la même pression serait obtenue à une distance de 160 m.

Cette pression de 0,5 kg/cm<sup>2</sup> serait capable de produire aux édifices des dégâts importants.

La théorie indique que la température dans une onde de choc est d'autant plus élevée que la chaleur spécifique du gaz qui entoure l'explosif est plus faible. En nous basant sur cette considération, nous avons réussi (1) à produire dans l'argon des ondes de choc donnant lieu à des phénomènes lumineux d'une intensité extraordinaire et extrêmement brefs, la durée de la luminosité étant de l'ordre de 4 millièmes de seconde (2).

Le spectre de la luminosité est un spectre continu s'étendant dans l'ultraviolet jusqu'à l'absorption par la gélatine de la plaque.

L'étude de la répartition énergétique dans ce spectre, par M. Vassy, a montré que ce spectre est très analogue à celui d'un corps noir qui serait porté à 400 millions de bougies.

Nous avons montré aussi qu'en utilisant des ondes de choc dans l'argon, il est possible d'obtenir par une méthode purement thermique, c'est-à-dire sans l'existence d'un champ électrique extérieur, des spectres métalliques qui, jusqu'ici, n'avaient pu être obtenus que par l'utilisation de phénomènes électriques, étincelles sous l'eau, fil éclaté d'Anderson, etc.

Si l'explosif, au lieu de détoner dans l'air, détone sous l'eau, il crée également dans le milieu qui l'entoure une onde

mécanique; c'est cette onde qui produit à distance les effets destructeurs observés avec les torpilles, mines sous-marines, etc.

### Les explosifs d'amorçage

Les explosifs d'amorçage sont caractérisés par la propriété de détoner au simple contact d'une flamme. Le plus ancien de ces explosifs est le fulminate de mercure; le fulminate peut d'ailleurs en couche

mince brûler sans détoner, mais dès que la couche atteint une certaine épaisseur, la combustion se transforme en détonation. Le fulminate, en effet, ne détone que s'il est préalablement porté à une température voisine de 100°. Si la couche de fulminate est assez épaisse, cer-

taines fractions ne sont atteintes par la flamme qu'après avoir été portées à cette température et la combustion se transforme alors immédiatement en détonation.

C'est probablement à cette propriété du fulminate de ne détoner que s'il est préalablement porté à une température relativement élevée qu'il faut attribuer les ratés que l'on observe pour les détonateurs refroidis dans l'air liquide.

L'azoture de plomb pur, qui constitue l'explosif d'amorçage type, détone, lui, toujours immédiatement au contact d'une flamme ou d'un fil rougi. On ne connaît pas pour l'azoture de plomb pur de régime de combustion (1); aussi les détonateurs à l'azoture de plomb sont-ils utilisables pour l'amorçage des explosifs à base d'oxygène liquide.

Il est remarquable que la simple transformation en sel de plomb soit susceptible de transformer un explosif ordinaire, l'acide picrique, en un explosif d'amorçage, le picrate de plomb, d'où le soin extrême avec lequel on élimine le plomb dans la fabrication et la conservation de l'acide picrique. Le picrate de chaux enfermé dans des parois résistantes et surchauffé est également susceptible d'amorcer la détonation de l'acide picrique, d'où

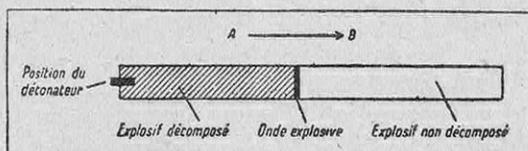


FIG. 6. — COMMENT SE PROPAGE L'ONDE EXPLOSIVE AU COURS D'UNE DÉTONATION

L'onde explosive créée à l'origine par le détonateur, et se déplaçant dans la direction AB à une vitesse de plusieurs milliers de mètres par seconde, apporte successivement et brusquement à chaque couche d'explosif l'énergie nécessaire pour la décomposer. L'onde est entretenue par la réaction elle-même.

(1) En collaboration avec M. A. Michel-Lévy.

(2) L'intensité obtenue avec 4 cm<sup>3</sup> d'un explosif liquide à base de tétranitrométhane est équivalente à celle de 1 000 lampes photo flash (400 millions de bougies).

(1) Le terme de combustion est impropre, puisqu'il ne s'agit pas d'une réaction avec l'oxygène; il est employé ici pour désigner une réaction qui se propage avec une vitesse relativement faible.

le danger de conserver la mélinite dans des magasins possédant un sol calcaire fissuré (catastrophe de La Pallice, pendant la guerre de 1914-1918).

Quelle est l'origine de la différence capitale que l'on observe entre les explosifs ordinaires et les explosifs d'amorçage, pour quelle raison ces derniers sont-ils susceptibles de détoner au simple contact d'une flamme? Cette question capitale n'avait jusqu'ici reçu aucune réponse; nous avons formulé l'hypothèse suivante: alors que pour les explosifs ordinaires la décomposition, amorcée au contact d'une flamme, se propage, et par conductibilité, et par l'apport d'énergie dû au choc des molécules gazeuses dégagées, dans le cas des explosifs d'amorçage, l'énergie d'activation serait transmise de la molécule en décomposition à la molécule voisine non encore décomposée, non par l'intermédiaire de gaz dégagés, mais par un véritable phénomène de résonance, par une véritable chaîne énergétique, cette propagation pouvant s'effectuer à une vitesse considérable, du même ordre que celle de l'onde explosive et ce phénomène devant d'ailleurs donner naissance, presque instantanément et par suite de l'énorme élévation brusque de la pression, à une véritable onde explosive (1).

(1) Si cette hypothèse est exacte, un explosif d'amorçage doit encore détoner, au contact d'un fil rougi, dans le vide de la trompe à mercure alors qu'il n'y a pas propagation dans ces conditions pour les explosifs ordinaires. En collaboration avec M. Schumacher, nous avons vérifié cette conséquence de la théorie pour toute une série d'explosifs d'amorçage. C'est ainsi que quelques milligrammes d'azoture de plomb enflammés au contact d'un fil rougi détonent dans le vide de la trompe à mercure en perçant la lame d'acier utilisée comme

### Découvrira-t-on des explosifs plus puissants que ceux que nous utilisons?

Il n'est pas impossible de trouver des réactions produisant une quantité d'énergie plus considérable que les réactions chimiques ordinaires, et susceptibles de prendre une forme explosive. Encore faut-il pouvoir rester le maître de ces réactions, sinon on doit renoncer à les utiliser. C'est ainsi que l'utilisation de mélanges combustibles à base de composés endothermiques, acétylène solide + oxygène liquide (2930 calories par kg) ou, mieux encore, acétylène solide + ozone liquide, permettrait de profiter à la fois de l'énergie de décomposition et de l'énergie de combustion de l'acétylène. Les explosions de ces mélanges sont les plus puissantes que nous connaissions actuellement, mais leur utilisation présente beaucoup trop de dangers.

Reste l'utilisation éventuelle de l'énergie intraatomique, mais ceci est une autre histoire et peut-être faut-il nous réjouir que ce jouet dangereux ne soit pas encore entre les mains de ces enfants terribles que sont les hommes.

Henri MURAOUR.

support. Par des considérations théoriques, nous avons été amené à rechercher l'influence des hautes pressions sur la décomposition des explosifs d'amorçage. Ces expériences ont été exécutées en collaboration avec M. Basset. Alors que jusqu'ici on admettait que les hautes pressions favorisent la naissance de l'onde explosive, les expériences ont montré que les explosifs d'amorçage, enflammés par fil rougi dans une atmosphère gazeuse sous haute pression, se décomposent assez lentement pour ne plus produire d'effet mécanique. Le phénomène observé n'est d'ailleurs pas indépendant de la nature du gaz utilisé. Pour une même pression, il est plus accentué dans l'azote que dans l'hydrogène.

Tandis que le blocus nous force à recourir aux ersatz, le Brésil, qui est le plus gros producteur de café du monde, en a, depuis 1930, détruit en pure perte ou brûlé dans les chaudières de locomotives 40 à 50 millions de sacs, dont l'accumulation menaçait de devenir un désastre pour son économie nationale. Mais une information récente nous apprend que le café va peut-être trouver un débouché industriel rémunérateur. Par un traitement convenable, on a pu extraire du café vert une matière plastique, la *cafélite*, capable de rivaliser avec la bakélite au point de vue de sa résistance, de son élasticité et de sa dureté. La cafélite aurait un prix de revient extrêmement bas. Une usine pilote pouvant traiter 75 000 sacs de café vert par an a déjà été construite. Si son exploitation est fructueuse, le gouvernement brésilien doit entreprendre la fabrication industrielle de la cafélite et son exportation.

# L'ÉLECTRICITÉ AU SERVICE DE LA PROPULSION DES NAVIRES : PUISSANCE, SOUPLESSE, MANIABILITÉ

par Pierre DEVAUX  
Ancien Élève de l'École Polytechnique

*La facilité d'évolution d'un navire dépend directement de la souplesse de son appareil moteur. Alors que les machines alternatives d'autrefois s'accommodaient des régimes les plus variés, turbines et moteurs Diesel, aujourd'hui à l'ordre du jour, exigent la présence d'organes de transmission capables de transmettre le couple maximum à toutes les allures de l'hélice et d'absorber tous les à-coups. La plus séduisante des solutions est la transmission électrique adoptée sur quelques navires de guerre modernes et certains grands paquebots tels que la « Normandie ». Sur les bâtiments dits « de servitude », tels que remorqueurs, dragueurs, mouilleurs de mines, brise-glaces, etc..., d'un tonnage relativement modéré, cette disposition s'avère à la fois trop encombrante et trop coûteuse. Elle peut être remplacée avec avantage dans ce cas par un accouplement électromagnétique, simplifié et robuste, mais dont le rendement et la souplesse répondent à toutes les exigences d'un service entraînant des évolutions rapides et fréquentes à pleine charge.*

**L** est de règle, à bord des navires, que les hélices soient établies pour une vitesse de rotation relativement faible, de manière à fournir le rendement maximum avec un effort de propulsion élevé. Aussi à bord des chalutiers, remorqueurs et même cargos, le moteur Diesel n'était employé jusqu'à ces derniers temps que sous sa forme lente, alors qu'à bord des paquebots et de certains navires de guerre, on s'orientait vers la solution des Diesel rapides multiples, accouplés par engrenages sur un même arbre d'hélice.

Cette solution présente des avantages techniques indéniables, et il est aujourd'hui reconnu que le petit Diesel rapide donne actuellement la même sécurité que le gros Diesel lent, avec des frais de première installation et d'entretien beaucoup moins élevés. Il peut être, d'autre part, précieux, à la mer, de pouvoir débrancher un moteur exigeant une réparation, sans être pour autant obligé de stopper l'hélice. Pour soutenir une vitesse de croisière limitée, il peut être intéressant de conserver en marche seulement une machine sur deux, fonction-

nant à plein rendement, plutôt que de les faire fonctionner toutes à faible régime.

Les inconvénients, en revanche, sautent aux yeux : ce sont les à-coups, les chocs et les vibrations de torsion provenant de l'accouplement mécanique rigide de plusieurs moteurs à couple irrégulier et brutal. Ainsi se trouve posé sous une forme aiguë, pour l'utilisation des Diesel de marine, le problème de la transmission souple.

## **Les transmissions souples : hydrauliques et pneumatiques**

Les liaisons à établir entre ces divers moteurs et entre les moteurs et l'hélice — ou entre le moteur unique et l'hélice — doivent pouvoir absorber des « chocs rotatifs », sans les rendre ; c'est-à-dire que l'énergie emmagasinée ne doit pas être restituée d'une façon brisante comme le ferait, en « coup de raquette », une suspension de voiture non amortie. Ceci exclut les liaisons réduites à un organe d'élasticité proprement dit. L'accouplement doit pouvoir être interrompu facilement ; il doit, autant que possible, assurer un *autoéquilibrage* des charges entre

les différents moteurs, voire une démultiplication réglable procurant plusieurs allures économiques pour le bâtiment et même donner la possibilité d'une inversion de marche pour battre en arrière immédiatement; enfin, son rendement doit être acceptable et l'usure réduite au minimum.

Tant de conditions réunies ne sont pas aisées à remplir. Nous ne rappellerons que pour mémoire l'accouplement hydraulique, Föttinger, adopté à bord de nombreux navires, et qui comprend en substance une pompe centrifuge montée sur l'arbre du moteur et refoulant dans un moteur hydraulique monté sur l'arbre de l'hélice. On voit qu'à moins d'avoir deux de ces moteurs, le sens de rotation de l'hélice ne peut être modifié.

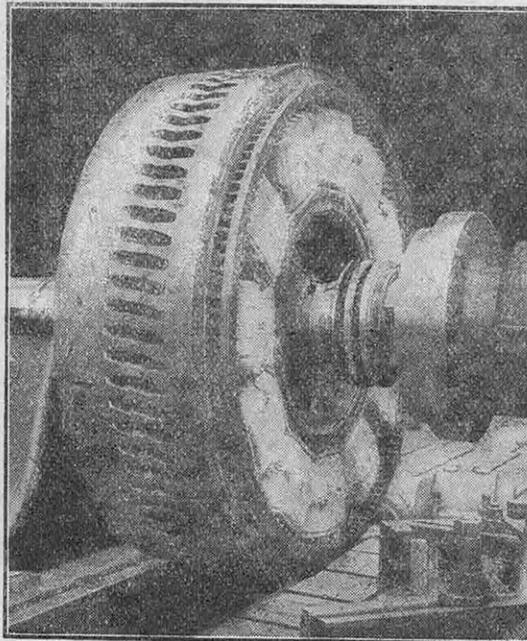
Depuis quelques années ont été mis en service un certain nombre d'ensembles propulseurs fondés sur un principe ingénieux de turbines à gaz d'échappement. Le moteur, rapide et poussé, qui peut être logé en un point quelconque du navire, actionne un important compresseur fournissant de l'air comprimé qui vient se mélanger aux gaz d'échappement. Ce mélange alimente les divers moteurs du navire, machines alternatives des hélices, auxiliaires de bord : guindeaux, cabestans, pompes. Ces moteurs peuvent être du type à vapeur le plus courant, les groupes générateurs de gaz remplaçant simplement la chaudière. Les avantages de ce système, qui peut paraître compliqué, sont tout d'abord que l'ensemble Diesel-moteur à gaz possède un rendement thermodynamique exceptionnel, dû à une détente des gaz beaucoup plus complète que celle que l'on peut obtenir dans le Diesel dont les gaz d'échappement sont encore à une pression et à une température élevées. On peut obtenir des marches de croi-

sière économiques par des combinaisons d'alimentation et la maniabilité du bâtiment paraît d'autre part excellente.

### La transmission électrique

La transmission électrique, employée à bord de certains navires de guerre et de commerce auxquels elle procure de grands avantages de maniabilité, consiste, comme l'on sait, à caler les hélices sur l'arbre

d'un moteur électrique, ce dernier alimenté par un alternateur entraîné directement par l'appareil moteur du navire. La liaison entre les machines thermiques et les hélices est uniquement assurée par les câbles transportant l'énergie électrique. C'est certes une solution coûteuse pour ce qui concerne les frais de premier établissement, et son rendement (93 à 97%) est un peu inférieur à celui d'une transmission mécanique (98%). Sur les grands bâtiments, ces inconvénients se trouvent amplement compensés par les avantages qui résultent de la possibilité de séparer les



T W 12478

FIG. 1. — UN ACCOUPLEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE POUR REMORQUEUR

Le carter de protection a été enlevé, et on aperçoit à droite les bagues pour l'alimentation de l'inducteur.

machines motrices primaires des hélices et par là d'utiliser au mieux la place disponible et, en réduisant la longueur des arbres d'hélice, de supprimer une cause importante de vibrations.

Il semble que cette solution, dont une belle réalisation a été faite à bord de la *Normandie* (1), soit appelée à un brillant avenir pour les bâtiments de gros tonnage.

Il n'en est pas de même pour les navires de faible et moyen tonnages, où les frais qu'elle entraîne sont inadmissibles, en même temps que l'installation d'alternateurs et de moteurs séparés, loin de faire gagner de la place, augmente au contraire l'encombrement des machines.

On a donc cherché un dispositif conser-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 207, sept. 1934.

vant la souplesse de la transmission électrique, tout en étant plus simple : c'est ainsi qu'ont été réalisés les accouplements électromagnétiques à glissement.

**Les accouplements électromagnétiques**

Dans le couple alternateur-moteur de la transmission électrique, l'ensemble formé par l'induit de l'alternateur et l'inducteur du moteur d'hélice a en somme pour unique fonction de transporter d'un point à un autre du navire un champ électromagnétique tournant. Puisque, pour la catégorie de bâtiments considérée, un tel transport n'est plus nécessaire, nous pouvons faire l'économie de cet ensemble. Conservons donc un inducteur, générateur du champ tournant, monté sur l'arbre du moteur et alimenté tout simplement en courant continu, et un induit récepteur fixé sur l'arbre d'hélice (ou inversement). Nous avons ainsi réalisé un accouplement électromagnétique.

Les accouplements électromagnétiques réalisés jusqu'à aujourd'hui sont du type « asynchrone » ; avec eux, l'induit ne tourne pas à la même vitesse que l'inducteur, car il se produit un certain « glissement » de l'un par rapport à l'autre, glissement dont dépend d'ailleurs directement la transmission du couple moteur de l'inducteur à l'induit (fig. 2), un peu comme le transmettrait un embrayage d'automobile qui patine.

Le couple utilisable sur l'hélice varie en fonction du glissement. Trois facteurs principaux interviennent dans cette variation : L'intensité du courant dans l'induit est d'autant plus grande, toutes choses

égales d'ailleurs, que la variation du champ inducteur est plus rapide, donc que le glissement est plus grand ;

Les variations du courant dans une spire de l'induit sont toujours *en retard* par rapport à celles de la force électromotrice, et ce « déphasage » s'approche d'autant plus d'un quart de période que la résistance de la spire est plus faible et que la fréquence de la force électromotrice est plus grande ;

Enfin, le champ engendré par le courant induit agit sur les masses magnétiques de l'inducteur dans un sens inverse de celui du circuit d'excitation ; il tend à les désaimanter.

Cette action, analogue à la « réaction d'induit » des dynamos, est faible dans le cas où le glissement est faible. Elle augmente avec le glissement, et cela pour deux raisons : d'une part, le champ dû à l'induit augmente d'intensité ; d'autre part, la position de la spire de l'induit pour laquelle ce champ est maximum se rapproche, par suite du décalage, du pôle de l'inducteur dont elle tend à détruire l'aimantation. Pour le glissement intégral (hélice arrêtée et induit fixe), cette réduction de la force magnétisante peut atteindre près de 70%. Il y a donc

intérêt à saturer les pièces magnétiques, afin de réduire ces effets perturbateurs.

Le premier facteur intervient dans le sens d'une augmentation du freinage (qui est d'autant plus énergique que la valeur de  $H'$  est plus élevée). Le deuxième, au contraire, agit en sens inverse, car la force qui s'exerce sur un pôle d'aimant disposé dans l'entrefer d'un aimant est maximum à égale dis-

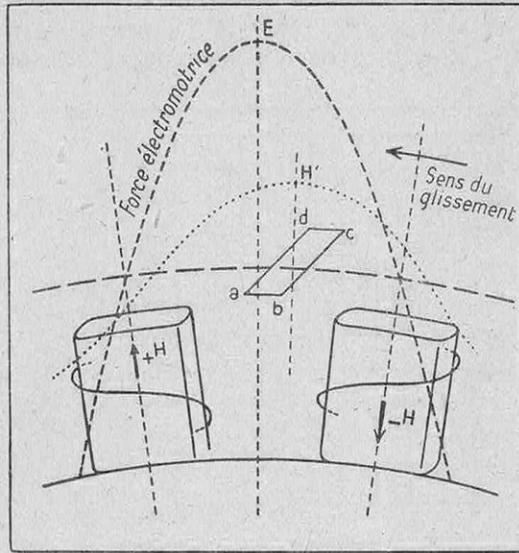


FIG. 2. — PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN ACCOUPLEMENT ELECTROMAGNETIQUE ASYNCHRONE

La spire de l'induit a b c défile, par suite du « glissement », devant les pôles de l'inducteur, et se trouve ainsi traversée par un champ alternatif dont les valeurs extrêmes sont  $+H$  et  $-H$ . Dans la spire apparaît donc une force électromotrice  $E$ , alternative elle aussi, et dont le maximum correspond à la position de la spire à égale distance des deux pôles. Le courant qui en résulte, plus ou moins déphasé par rapport à la force électromotrice suivant les caractéristiques du circuit de la spire, donne naissance à un champ  $H'$  qui tend à s'opposer à la pénétration de  $H$  (loi de Lenz). Il en résulte un effet de freinage du « glissement » de l'induit, freinage qui permet la transmission du couple de l'inducteur à l'induit et par conséquent du moteur à l'hélice.

tance des pôles. Le troisième, qui détermine l'intensité du champ tournant, tend à réduire également la valeur du couple.

Suivant que les spires de l'induit sont en court-circuit (cage d'écureuil), ou qu'on les place en série avec une résistance de valeur appréciable, la courbe du couple en fonction du glissement, pour une même valeur du courant d'excitation, aura une allure différente (fig. 3).

Dans la plupart des accouplements réalisés, les spires sont en court-circuit, et la courbe du couple présente un maximum, ce qui éveille l'idée d'un décrochage. On considère, dans les moteurs asynchrones, que la partie de la courbe comprise entre le synchronisme et le maximum correspond seule à une marche stable, puisque à une diminution de la vitesse de rotation correspond une augmentation du couple. Mais la courbe ne prend tout son sens que par comparaison avec celle de l'appareil d'utilisation, ici celle de l'hélice, représentée en pointillé. On voit que, par une juste proportion des caractéristiques des circuits induits: self et résistance, on peut s'arranger pour que la totalité de la courbe motrice soit au-dessus de la courbe résistante, ce qui signifie que l'accouplement ne peut se trouver en aucun cas insuffisant pour vaincre la résistance hydrodynamique normale de l'hélice.

Que se passera-t-il si nous avons affaire à une résistance exceptionnelle, produite par un glaçon, s'il s'agit d'un brise-glace,

ou par l'entortillement d'un cordage dans les pales? Ici, il faut distinguer suivant la durée de la résistance anormale.

Considérons le point de fonctionnement normal A, qui correspond à un glissement très faible, de 1,5 %. Au moment où la résistance anormale apparaît, le point de fonctionnement remonte brusquement le long de la courbe et il est facile de constater que l'effort demandé à l'accouplement peut atteindre le double de l'effort normal sans que le point franchisse le maximum, c'est-à-dire que le décrochage se produise; cet effort double pourra être soutenu indéfiniment, en

admettant que le Diesel en soit capable, si les conducteurs induits et les surfaces de refroidissement sont suffisamment dimensionnés: le courant induit est alors de près du triple de la normale.

Pratiquement, les Diesel étant en général incapables de produire des couples notablement supérieurs à leur couple normal, le couple momentané sera fourni par le ralentissement des masses tournantes, autrement dit par l'effet de volant des pièces en rotation de l'accouplement; le moment d'inertie le plus considérable est du reste, en l'espèce, celui de l'induit, extérieur à l'inducteur bobiné. Cet induit se trouvant en général sur l'arbre côté moteur, l'effet de volant se trouve lui-même transmis par la liaison électromagnétique, ce qui offre toute sécurité.

Si l'effort demandé dépasse le maximum, l'accouple-

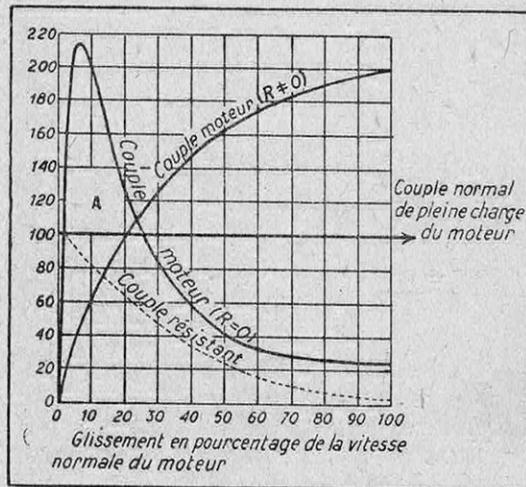


FIG. 3. — COURBE DONNANT LE COUPLE TRANSMIS EN FONCTION DU GLISSEMENT

Dans le cas où l'induit est en court-circuit ( $R=0$ ), c'est une courbe qui présente un maximum, et qui est la même que pour un moteur asynchrone. La valeur du maximum est d'un peu plus du double du couple normalement transmis par l'accouplement. Si le couple à transmettre devient supérieur à ce maximum, il y a décrochage, l'hélice s'arrête et le glissement prend la valeur 100 %. Mais le couple ne s'annule pas. Il conserve une valeur égale à 23 % du couple de fonctionnement normal. La courbe du couple moteur, si l'on choisit convenablement les caractéristiques de l'accouplement, peut être placée dans toute sa partie descendante au-dessus de la courbe du couple résistant (en pointillés). Le mouvement de l'hélice, si aucune résistance anormale ne l'en empêche, s'accrochera donc de lui-même à celui du moteur. Le glissement qui subsiste (de l'ordre de 1 à 1,5 %) correspond à l'abscisse du point A, point de fonctionnement normal de rencontre des courbes couple moteur et couple résistant. Si l'on a affaire à une spire montée en série avec une résistance, la courbe du couple moteur est tout entière ascendante. Elle est plus avantageuse pour les grandes valeurs du glissement (hélice presque arrêtée). En agissant sur la valeur de R, on peut obtenir une grande souplesse de marche pour des régimes s'approchant du travail au point fixe.

ment décrochera, mais ceci ne veut pas dire que la liaison sera rompue entre le moteur et l'hélice; l'effort transmissible sera seulement réduit à 23 % du couple normal. Il suffira donc que l'hélice se dégage pour qu'elle reprenne sa vitesse et, par suite, son couple de marche.

Supposons maintenant que la résistance anormale ne dure qu'un temps très court, mettons une demi-seconde à une seconde; l'accouplement se révèle alors capable de transmettre des efforts notablement supérieurs, atteignant trois fois le couple normal. Ce phénomène favorable est dû à la réluctance magnétique qui fait que la « réaction d'induit » sur les masses magnétiques de l'inducteur n'est pas un phénomène instantané; un tel « super-accrochage » momentané ne peut évidemment causer aucun dommage au Diesel; il permet à l'hélice de bénéficier de l'effet de volant des

pièces de l'accouplement, pour se débarasser, par exemple, d'un corps flottant ou d'un bloc de glace.

Dans tous les cas de variation brusque du couple ou même de décrochage, il ne saurait être question de réaction brutale de l'accouplement par restitution de l'énergie emmagasinée (« coup de raquette »), pas plus que d'oscillations qui s'amorceraient du fait de l'accouplement; en effet, celui-ci ne constitue nullement un accumulateur d'énergie, comme un accouplement élastique (cette énergie est perdue par effet Joule dans la cage d'écureuil); il ne fonctionne que par différence de vitesse et sa présence ne peut se manifester, en tout état de cause, que par un étouffement des mouvements relatifs de ses deux parties.

### La construction de l'accouplement

La roue polaire comporte un nombre de pôles saillants assez élevé, 12 à 14 par exemple; le courant d'excitation, amené par deux bagues, est emprunté au circuit général du bord, sous 110 ou 220 volts, avec des intensités de l'ordre de 20 à 50 ampères. L'induit est formé d'un large anneau emboîtant la roue polaire comme une cloche; il est en acier

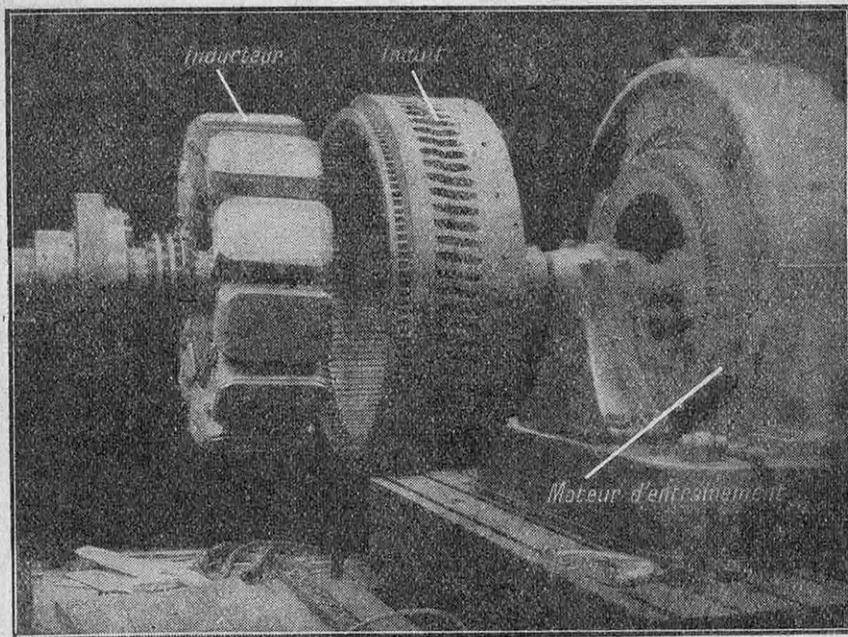


FIG. 4. — ACCOUPLEMENT ELECTROMAGNETIQUE A GLISSEMENT EN COURS D'ESSAIS, MONTRANT LES DEUX PARTIES TOURNANTES SEPARÉES

forgé non feuilleté, eu égard à la très faible fréquence des courants induits (la période est normalement supérieure à la seconde) et traversé par des barres de cuivre logées sans isolement dans des encoches et soudées à des anneaux en cuivre. L'ensemble forme une cage en court-circuit d'une résistance mécanique et thermique à toute épreuve.

Les deux pièces de l'accouplement se trouvent ainsi en porte-à-faux sur leurs arbres respectifs avec un entrefer variant de 5 à 10 mm suivant les puissances. Pour les petites puissances, des raisons d'ordre constructif ont conduit à la disposition inverse, induit à l'intérieur, pôles à l'extérieur.

### Ses avantages pratiques

Voici les avantages d'exploitation de l'accouplement à glissement :

— Son rendement est excellent : les pertes au glissement, c'est-à-dire sous forme de courants induits, ne dépassent pas 1 à 2 % dans les conditions normales de marche, auxquels il convient d'ajouter également 1 à 2 % pour la dépense d'excitation; le rendement ressort ainsi aux environs de 97 %. Aucune transmission électrique ne pourrait lutter avec un tel rendement.

- Il n'est sujet à aucune usure.
- Du fait de sa construction en deux parties séparées, il autorise de légers désaxements.
- Le couple maximum qu'il peut transmettre est d'environ le double seulement du couple normal, ce qui constitue une protection pour le moteur et les engrenages.
- Le couple transmis ne dépend pas

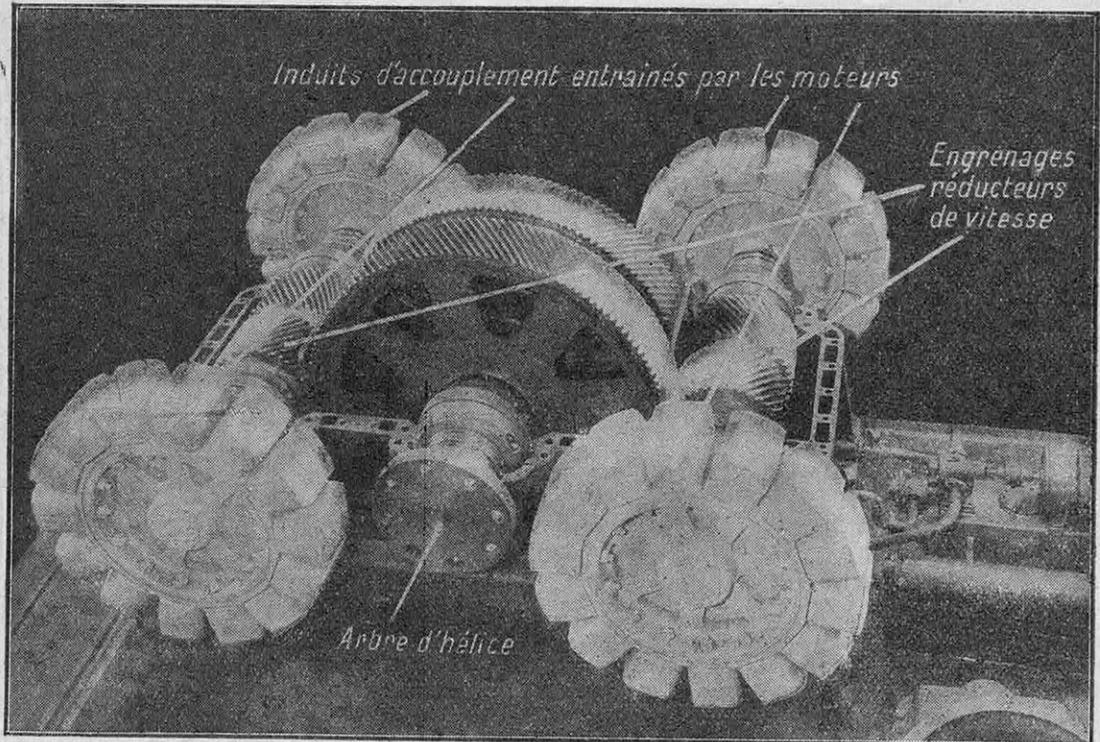


FIG. 5. — VUE EN BOUT D'UN RÉDUCTEUR DE VITESSE A ENGRENAGES AVEC LES TÊTES D'INDUIT DES ACCOUPLEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES POUR QUATRE MOTEURS DIESEL DE 1100 CH CHACUN

T W 12480

— Dans la transmission du moteur à l'hélice, il élimine pratiquement tous les chocs et toutes les oscillations de torsion à fréquence élevée produites par le moteur.

Un calcul détaillé des oscillations de torsion engendrées par le Diesel prouve que ces dernières conservent leur fréquence en traversant l'accouplement, mais que leur *amplitude* est réduite dans une proportion considérable; ainsi, des oscillations de 0,71 % au Diesel se trouvent réduites à 0,015 % (chiffres d'« irrégularité cyclique ») après traversée de l'accouplement.

— Il peut être couplé et découplé en charge par la manœuvre d'un interrupteur électrique à faible puissance.

de la vitesse du moteur, mais uniquement du glissement, qui demeure très faible. Cette dernière propriété est précieuse pour les bâtiments de servitude, les remorqueurs, les chalutiers, qui doivent parfois développer toute leur puissance presque au point fixe. Au contraire, avec les accouplements hydrauliques, pour lesquels le couple diminue quand la vitesse du moteur diminue, on ne peut transmettre, pour les basses allures du Diesel, qu'une fraction du couple de pleine charge.

Ajoutons que les frais de premier établissement sont modérés, le poids et l'encombrement réduits, le coefficient de sécurité particulièrement élevé.

Une souplesse de conduite exceptionnelle peut, d'autre part, être obtenue en marchant « à l'embrayage », c'est-à-dire en amorçant et en désamorçant les différents accouplements par la manœuvre des interrupteurs d'excitation; c'est le cas des évolutions à faible vitesse. Le moteur est alors maintenu à faible allure et l'on commande l'hélice à l'aide de l'interrupteur; on économise ainsi l'air comprimé nécessaire aux démarrages des Diesel, tout en s'assurant un contrôle relativement doux de l'hélice. Il est même possible de conserver une hélice tournant dans un sens et l'autre en sens inverse, pour pivoter dans des eaux étroites.

Bien que la formule « cage d'écureuil », particulièrement robuste, soit la plus usitée pour les accouplements électromagnétiques à glissement, des applications ont été faites avec induit bobiné,

monté en série avec des résistances variables, en vue d'obtenir un contrôle de marche effectif.

C'est ainsi que le Royal Service de Pilotage suédois a commandé un équipement de bateau-pilote capable de fournir la régulation de l'hélice quasi jusqu'au zéro, la manœuvre devant pouvoir se répéter à de brefs intervalles. L'enroulement induit est triphasé, relié à trois bagues; un contrôleur permet d'insérer des résistances dans le circuit. Il y a là une réalisation particulièrement intéressante, qui établit le pont entre l'accouplement à glissement et la propulsion électrique proprement dite et qui paraît susceptible de nombreuses applications à bord des bâtiments manœuvriers, tant dans le domaine marchand que de la marine de guerre.

Pierre DEVAUX.

On sait qu'aux Etats-Unis, au Texas notamment, existent de puissantes sources de gaz naturel combustible, distribué dans plusieurs villes importantes à la manière du gaz d'éclairage et ayant de nombreux usages tant domestiques qu'industriels. Ce gaz est étroitement apparenté au pétrole, étant constitué par des hydrocarbures de la même famille, mais à l'état gazeux, et demeurant dans ce même état lorsque sont abaissées la pression et la température auxquelles il jaillit des forages. Depuis trois ans sont exploitées aux Etats-Unis des nappes d'un gaz naturel présentant la particularité de donner lieu à une condensation d'un liquide analogue au pétrole lorsqu'on réduit sa pression. Ce fait qui semble contredire les lois physiques couramment admises a été expliqué aujourd'hui par l'étude des variations de la tension de vaporisation des liquides pour des valeurs élevées de la pression. En effet, ces gaz spéciaux, qui ont reçu le nom de « distillats », se rencontrent à très grande profondeur, entre 1 300 et 3 000 m, et leur pression varie entre 200 et 300 kg/cm<sup>2</sup>. Ils livrent de 100 à 200 cm<sup>3</sup> de pétrole par mètre cube de gaz recueilli. L'exploitation s'effectue suivant une méthode très particulière, le « recyclage » : le gaz, détendu et aussi réfrigéré pour faciliter la séparation du pétrole, est de nouveau comprimé et réintroduit dans le sol par un ou plusieurs forages suffisamment éloignés des forages d'extraction. On évite ainsi d'abaisser la pression dans la nappe de gaz et de provoquer des condensations dans le sol qui seraient perdues pour les exploitants. L'éloignement des puits d'injection empêche la dilution des gaz riches. On connaît actuellement plus de 60 champs de distillats dans le seul Etat du Texas, et on en découvre de nouveaux, souvent sous les gisements de gaz ou de pétrole déjà connus, en poussant les forages à plus grande profondeur. Certains d'entre eux s'étendent sur plusieurs milliers d'hectares, et on a pu estimer que l'ensemble des champs découverts à ce jour pourrait fournir 4 millions 500 000 litres d'essence par jour.

# PAUL SABATIER ET LA CATALYSE

par Marcel PATRY

Docteur ès Sciences

UN grand savant, Paul Sabatier, vient de s'éteindre, à Toulouse, à l'âge de 87 ans. La chimie française, si douloureusement éprouvée au cours de ces dernières années par la mort de Le Chatelier, Grignard, Urbain, Senderens, Behal, etc., est à nouveau en deuil.

Professeur, puis doyen de la Faculté des Sciences, Paul Sabatier fut pendant plus de cinquante années la gloire de l'Université de Toulouse.

Les sollicitations, pourtant flatteuses, dont il fut l'objet, ne purent le décider à se fixer à Paris. De même que Grignard fut le chimiste lyonnais, Sabatier fut le chimiste toulousain.

De tous les chimistes français contemporains, Paul Sabatier est peut-être celui dont la renommée est la plus grande. L'Académie des Sciences modifia son règlement pour l'admettre en son sein. Le Prix Nobel, qu'il partagea en 1912 avec Grignard, lui apporta la consécration internationale la plus enviée. Grand officier de la Légion d'honneur, titulaire de nombreux ordres français et étrangers, Paul Sabatier, homme illustre, reçut de son vivant les multiples témoignages de l'admiration universelle. Son œuvre scientifique est d'une importance exceptionnelle. Elle a eu, sur le développement de la science et de l'industrie, des répercussions considérables. Elle embrasse les sujets les plus divers. En physico-chimie, ses travaux sur la spectrophotométrie classent Sabatier au rang des précurseurs. En chimie minérale, il découvrit de nombreuses et intéressantes espèces nouvelles. Mais c'est en chimie organique qu'il savait donner toute sa mesure. Aidé par un collaborateur de gé-

nie, l'abbé J.-B. Senderens, Sabatier fut l'auteur principal d'un chapitre essentiel de la chimie moderne : la catalyse.

## Qu'est-ce que la catalyse ?

La catalyse, phénomène encore mystérieux à bien des égards, a pris dans la vie moderne une place importante. Un grand nombre d'industries-clefs lui doivent leur existence. Parmi les industries minérales, citons la synthèse de l'ammoniac et celle de l'acide nitrique; parmi les industries organiques, les synthèses des pétroles, des huiles de graissage, du caoutchouc, etc...

En quoi consiste donc la catalyse ? Nous empruntons à l'ouvrage de Paul Sabatier « La catalyse en chimie organique » la définition de ce phénomène :

« On désigne sous le nom de catalyse le mécanisme en vertu duquel certaines réactions chimiques sont provoquées ou accélérées par la présence de substances qui paraissent à première vue ne jouer aucun rôle dans ces réactions. »

« Ainsi, l'introduction de quelques centigrammes de noir de platine dans un mélange d'hydrogène et d'oxygène, mélange stable à la température ordinaire, en détermine immédiatement la combinaison avec explosion; le noir de platine n'a subi aucune modification visible, et il pourra indéfiniment réitérer les mêmes effets. »

« L'eau oxygénée en solution aqueuse ne se décompose que très lentement à froid. Ainsi, pour l'eau oxygénée pure à 30 volumes, la durée de la demi-décomposition à 17° surpasse 240 heures; mais il suffit d'ajouter à 20 cm<sup>3</sup> de ce liquide 6 cg de noir de platine pour y déterminer un vif dégagement d'oxygène. La durée de la demi-décomposition ne dépasse pas



T W 12408  
PAUL SABATIER (1854-1941), CHIMISTE FRANÇAIS, PRIX NOBEL DE CHIMIE 1912.

alors 8 secondes à 14°. Le noir de platine, qui ne semble nullement modifié, a par sa présence accru énormément la vitesse de réaction, spontanée, mais lente.

« On donne le nom de catalyseurs aux substances qui, sans éprouver de transformations visibles, provoquent ou accélèrent les réactions. »

Dans les expériences précédentes, le noir de platine s'est comporté comme un catalyseur. Précisons d'ailleurs que la dénomination de catalyseur doit toujours, d'après Sabatier, être réservée « à des substances qui agissent à faible masse et dont une petite quantité suffit pour provoquer la réaction de grandes quantités de matières ».

Enfin, il faut souligner, et cela est très important, que le catalyseur ne change pas le stade final de l'équilibre d'une réaction. Son action se limite à accélérer la réaction. Faisons-nous bien comprendre sur un exemple : l'azote réagit sur l'hydrogène pour donner de l'ammoniac. Cette réaction n'est pas totale, mais équilibrée. Il reste toujours de l'azote et de l'hydrogène non transformés. L'équilibre, c'est-à-dire la proportion d'ammoniac présent dans le mélange gazeux, dépend des conditions de température et de pression. A 400°, sous une pression de 200 atmosphères, l'équilibre correspond à 36,3 % d'ammoniac dans le mélange. Cela signifie que si, dans ces conditions de température et de pression, on met en présence de l'azote et de l'hydrogène, dans la proportion de trois molécules d'hydrogène pour une molécule d'azote, il se formera de l'ammoniac jusqu'à concurrence de 36,3 % en volume dans le mélange. Inversement, si on soumet de l'ammoniac pur à une température de 400° et à une pression de 200 atmosphères, il se décomposera en azote et hydrogène jusqu'à ce que le mélange gazeux obtenu titre 36,3 % d'ammoniac.

Si on fait ces expériences sans précautions spéciales, on s'aperçoit que ces réactions : formation d'ammoniac dans le premier cas, libération d'azote et d'hydrogène dans le second, sont lentes. Il faudrait des années pour que l'équilibre se trouve réalisé. Si, au contraire, on introduit dans le tube à réaction un catalyseur — en pratique on utilise du fer réduit dans des conditions spéciales —, les réactions deviennent très rapides. En quelques secondes, le mélange gazeux atteint sa composition d'équilibre. L'intro-

duction du catalyseur ne modifie pas l'équilibre, la quantité d'ammoniac présent dans le mélange reste limitée à 36,3 %. Le rôle du catalyseur est uniquement d'accélérer la réaction dans des proportions énormes. La formation lente d'ammoniac à partir d'azote et d'hydrogène, sans catalyseur, n'a qu'un intérêt théorique. C'est grâce à la catalyse que la formidable industrie de l'ammoniac synthétique, qui porte sur des milliers de tonnes par jour, a pu se développer.

### Le rôle de Sabatier dans la catalyse

La découverte de la catalyse est très ancienne. Dès 1806, Clément et Desormes signalèrent l'action des oxydes de l'azote dans l'oxydation de l'anhydride sulfurique en acide sulfurique. En 1841, Berzelius désigna sous le nom de phénomènes catalytiques les transformations provoquées par des corps qui demeurent inaltérés. La catalyse restait cependant réduite à quelques cas isolés, disons même à quelques curiosités chimiques. Elle n'a réellement pris place dans la science qu'à la suite des travaux mémorables que Sabatier et son collaborateur Senderens publièrent de 1897 à 1903.

Ces travaux ont eu leur origine dans une étude de ces deux savants sur la réduction des oxydes de l'azote par les métaux et leurs oxydes. Un résultat extrêmement important avait été obtenu : les métaux sont d'autant plus actifs qu'ils sont plus divisés et, parmi eux, le nickel mérite une place à part. Pour réaliser le meilleur état de division, ils préparèrent du nickel par réduction de son oxyde dans un courant d'hydrogène. Le nickel réduit allait devenir, entre les mains de Sabatier, un agent chimique d'une valeur inestimable. Il allait créer la catalyse d'hydrogénation.

En 1897, Sabatier et Senderens réalisèrent une expérience fondamentale : sur du nickel réduit, chauffé à 300°, ils firent passer un courant d'éthylène. *Le gaz sortant contenait de l'éthane.* Par une intuition géniale, Sabatier admit la réaction de formation suivante :

$C_2H_4$  (éthylène) +  $H_2$  =  $C_2H_6$  (éthane)  
attribuant l'hydrogène à une décomposition partielle pyrogénée de l'éthylène. Le nickel aurait joué le rôle de catalyseur au sens de Berzelius. La vérification de cette hypothèse fut réalisée rapidement en faisant passer un mélange d'éthylène et d'hydrogène sur le nickel réduit

en évitant toute pyrogénéation. Dès la température ordinaire, l'éthylène fixa l'hydrogène et se transforma en éthane. *La première hydrogénation catalytique sur nickel était réalisée.*

Cette hydrogénation ne devait pas rester longtemps un fait isolé. Sabatier, avec Senderens, puis plus tard avec plusieurs élèves, réalisa, au contact du nickel, l'hydrogénation des molécules organiques les plus diverses. Citons seulement la transformation du benzène en cyclohexane qui fut à l'époque un événement scientifique important.

### Vers les carburants de synthèse

Les savants toulousains ne se limitèrent d'ailleurs pas aux molécules organiques. Par hydrogénation des oxydes de carbone, ils tentèrent de réaliser une préparation industrielle des gaz combustibles. A 300°, la formation de méthane est totale. L'exploitation industrielle de ces essais fut alors impossible pour des raisons économiques, mais il y avait là, en germe, les formidables synthèses réalisées en grand aujourd'hui, celles du méthanol et des carburants par le procédé Fischer.

Le nickel de Sabatier ne se contenta pas d'hydrogéner les molécules. Son action est parfois si violente que les molécules se trouvent coupées en tronçons complètement hydrogénés. C'est la découverte de l'hydrogénation destructive, du *cracking hydrogénant*, dont le rôle dans l'industrie moderne des pétroles est fondamental.

Si le nickel est le catalyseur d'hydrogénation le plus actif, il n'est pas le seul. Le cobalt, le cuivre, le fer, le chrome donnent également des résultats positifs. Sabatier observa que, dans de nombreux cas, suivant la température et la nature du catalyseur, l'hydrogénation conduit à des résultats variables. Une magnifique série de recherches prit naissance dans cette observation. Non seulement Sabatier allait généraliser la catalyse, il allait aussi la discipliner.

### La synthèse des pétroles

Ses plus beaux travaux sont peut-être ceux qui se rapportent à la synthèse des pétroles. En hydrogénant l'acétylène en présence d'un catalyseur, il obtint des mélanges d'hydrocarbures présentant avec les pétroles des analogies considérables. En agissant sur la température et sur

la nature du catalyseur, il put à volonté obtenir des mélanges semblables aux pétroles de Bakou, ou de Pensylvanie, ou roumains, ou russes. L'acétylène pouvant être obtenu à partir du charbon, cette fabrication synthétique des pétroles est d'une importance théorique indiscutable. Elle fit naître à l'époque les plus grands espoirs. Bien que sa réalisation industrielle ne fût pas immédiatement possible, elle mérite une place à part dans l'histoire des carburants de synthèse. Ses résultats conduisirent d'ailleurs Sabatier à proposer sa célèbre théorie de formation catalytique des pétroles dans le sol. Très séduisante, celle-ci repose sur les points suivants : action de l'eau sur les métaux oxydables présents dans le sol donnant de l'hydrogène, action de l'eau sur le carbure de calcium produisant de l'acétylène, présence dans le sol de métaux divisés aptes à catalyser les réactions d'hydrogénation. On trouve donc dans le sol les divers éléments utilisés dans le tube de laboratoire pour faire la synthèse des pétroles. On peut admettre un mécanisme analogue.

### Vers le caoutchouc synthétique

Paul Sabatier ne devait pas limiter ses recherches sur la catalyse à l'hydrogénation des molécules. La déshydrogénation, la déshydratation, le dédoublement, la condensation des molécules organiques furent étudiés tour à tour. La déshydrogénation, en particulier, fit l'objet de nombreux et féconds travaux. La déshydrogénation de l'acétylène, au contact du cuivre, conduisit Sabatier à un solide ayant la consistance de l'amadou, le « cuprène ». Ce produit de polymérisation est parfois considéré comme l'ancêtre du caoutchouc synthétique.

Après avoir rassemblé un nombre immense de données expérimentales, Sabatier devait être amené à tenter une théorie de la catalyse. En ce qui concerne l'hydrogénation et la déshydrogénation, Sabatier n'y manqua pas. Le rôle catalytique des métaux divisés s'explique en admettant la formation d'un hydrure instable capable de dégager de l'hydrogène actif, plus actif que l'hydrogène moléculaire primitif. Cette théorie, dite théorie chimique, est encore aujourd'hui en faveur.

Il y aurait encore beaucoup à dire sur les travaux de Paul Sabatier. Nous nous bornerons à souligner encore le rôle pré-

pondérant qu'ils ont joué dans l'industrie moderne. Un grand nombre de synthèses, aujourd'hui fondamentales, procèdent de l'hydrogénation ou de la déshydrogénation catalytique. Nous avons montré dans ce court article que les synthèses des pétroles et du méthanol, le cracking et l'hydrogénation des huiles sont sorties du laboratoire de Toulouse, prêtes pour la réalisation industrielle. Sans doute, les procédés utilisés aujourd'hui dans les usines ne sont-ils pas exactement des reproductions à grande échelle des ingénieuses techniques du laboratoire. Sans doute a-t-il fallu d'autres travaux, d'autres savants pour les mettre au point. Il n'en est pas moins vrai que tous dérivent des expériences et des vues théoriques du grand chimiste.

Il est curieux de remarquer que les recherches de Sabatier qui aboutirent à la construction d'immenses usines se contentaient d'un matériel expérimental ex-

traordinairement simple. La misère des laboratoires ne pouvait les gêner beaucoup. Un tube en verre d'Iéna, chauffé par une rampe à gaz, contient une couche de nickel réduit. Par deux tubulures, on fait arriver l'hydrogène et, à l'état gazeux, le composé à hydrogéner. Un dispositif de réfrigération permet de recueillir à la sortie les produits liquides et gazeux de la réaction. A l'heure où l'industrie et les laboratoires eux-mêmes mettent en jeu des moyens techniques gigantesques, la simplicité de l'expérience de Sabatier est émouvante. D'ailleurs, le grand savant disparu aimait à rappeler que l'Académie des Sciences de Stockholm avait d'une façon très touchante voulu souligner cette simplicité en fixant en quelques traits, sur le diplôme du prix Nobel qui lui fut décerné, le simple schéma du petit appareil de Toulouse.

Marcel PATRY.

La défense des 8 000 km de côtes des Etats-Unis est confiée à un corps spécial, la « Coast Artillery », dont la fondation remonte à 1794 et qui comptait en juin dernier 150 000 hommes et 8 000 officiers. Comme son nom l'indique, c'est ce corps qui dispose de l'artillerie de défense côtière, répartie entre 34 régiments occupant des ouvrages fixes (armés de canons divers allant du 75 mm à tir rapide aux pièces à longue portée de 400 mm), 7 régiments armés de 115 mm remorqués par tracteurs et 2 régiments servant des pièces de 330 mm sur voie ferrée. En outre, il dispose d'une véritable flottille comprenant des bateaux des types les plus divers, depuis les embarcations à moteurs jusqu'à des navires de 1 000 tonnes, mouilleurs de mines destinées à être commandées électriquement depuis le rivage.

Mais c'est à la « Coast Artillery » que revient en outre l'importante mission d'assurer la D.C.A. du territoire, non seulement aux abords des côtes, mais aussi autour des centres vitaux du continent. Plus de la moitié de son effectif total est affectée à cette tâche. Elle est répartie entre 43 régiments et 9 bataillons non enrégimentés. Les régiments sont soit mobiles, comprenant 2 bataillons à 12 pièces, 15 projecteurs, 24 canons automatiques de 37 mm et 12 mitrailleuses de 113 mm, soit semi-mobiles à 24 pièces et 32 canons de 37 mm.

Jusqu'à ces derniers temps, le seul canon de D.C.A. éloignée en service dans la « Coast Artillery » était le 75 mm, tirant un projectile de 5,850 kg à 6 300 m d'altitude. Il va être progressivement remplacé par un 90 mm, tirant un projectile de 9,430 kg à l'altitude de 10 500 m. Actuellement est à l'étude une nouvelle pièce de 105 mm.

# LES A COTÉ DE LA SCIENCE

## INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

### Ce qu'est la Foire Internationale de Lyon

**A**u moment où la France s'efforce de traverser victorieusement de pénibles épreuves, il devait être réconfortant de montrer au monde qu'elle n'a rien perdu de son sens des réalisations dans tous les domaines de l'industrie et du commerce. C'est pourquoi le Gouvernement

a chargé la Foire Internationale de Lyon d'exprimer par une manifestation concrète l'effort accompli par notre pays.

Malgré les nombreux obstacles rencontrés, les comités d'organisation ont réussi à accomplir la tâche qui leur était demandée.

C'est ainsi que la plus grande partie du rez-de-chaussée du Grand Palais de la Foire et des stands extérieurs est occupée par les réalisations de la technique française sous l'égide

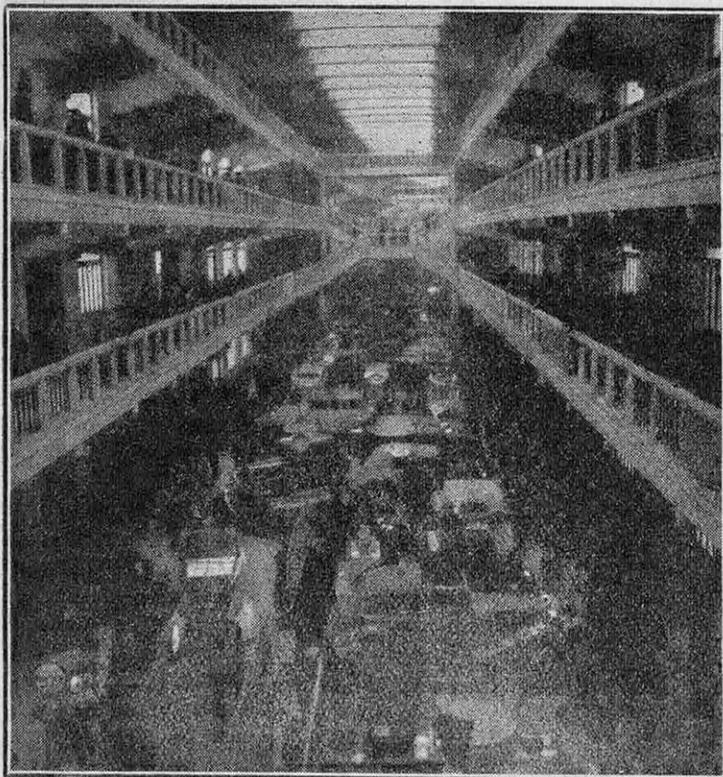
des comités de la Mécanique, de l'Electricité, des Industries de Précision, du travail des Métaux et du Bois.

Dans la rue couverte du Grand Palais, longue de 360 mètres, ainsi que sur de vastes terre-pleins extérieurs, se trouvent les expositions de l'automobile, du cycle et de leurs accessoires, avec une importante section de gazogènes, du matériel de travaux publics et de la machine agricole.

Les industries d'art : bijouterie, orfèvrerie, céramique, verrerie, parfumerie, broserie, tabletterie, articles de sport, jeux et jouets occupent tout le premier étage du Grand Palais, et montrent que notre pays entend maintenir les traditions qui ont assuré le renom de ses articles et de ses ouvriers.

Les tissus, la mode, le vêtement, la bonneterie, la fourrure, le cuir, l'ameublement se partagent le second étage où sont organisées des présentations dignes du rang que ces industries occupent dans la production nationale.

Une mention spéciale doit être accordée aux industries de la chimie : produits chimiques et pharmaceutiques, produits d'entretien, peintures et vernis, dérivés du goudron, industries du gaz, caoutchouc, papier et carton, photographie qui, avec les produits alimentaires, occupent les trois cent soixante stands du Petit Palais. Cette présen-



T W 12663

FIG. 1. — L'AUTOMOBILE ET LE CYCLE DANS LA RUE COUVERTE DU GRAND PALAIS DE LA FOIRE INTERNATIONALE DE LYON

tation de l'industrie française est complétée par une importante exposition de l'artisanat; par une instructive et attrayante démonstration du Commissariat aux Sports et à la Jeunesse; par une exposition de la récupération, destinée à montrer au public toutes les ressources que l'on peut encore tirer des déchets et matières usées; par une participation de la S.N.C.F.; par d'importantes présentations organisées par les industries du livre et du cinéma; par une section des inventeurs, etc...

La participation des industriels de la zone occupée est assurée grâce à une entente avec les autorités d'occupation. La visite des acheteurs de cette même région est également prévue.

Tout a donc été mis en œuvre pour que la prochaine Foire Internationale de Lyon constitue, selon le mot d'ordre du Maréchal, « le clair et réconfortant témoignage de la renaissance française ».

### Nouvel appareil à double aile battante pour le vol musculaire

**C**ERTES, le mouvement des ailes des oiseaux a été assez bien étudié pour que l'on puisse espérer pouvoir le reproduire. Mais les matériaux actuels ne se prêtent pas à une exécution pratique; aussi certains constructeurs ont-ils cherché la solution du problème du vol musculaire dans une autre voie.

L'appareil imaginé par l'ingénieur Schœdel est constitué essentiellement par quatre surfaces alaires réunies deux à deux par un fourreau; les deux couples d'ailes ont un axe commun. (Schœdel avait

déjà utilisé ce mode de construction.) L'innovation consiste dans l'inclinaison de l'axe à 45° vers le haut, ce qui autorise une plus grande ouverture des ailes.

Les ailes sont mues simultanément dans le sens vertical et horizontal. Le mouvement horizontal a une grande importance suivant la position des ailes; ainsi, suivant que l'aile est

### Une cuisinière électrique à accumulation

**L'**ÉLECTRICITÉ est une forme d'énergie difficile à stocker; aussi serait-il souhaitable que, dans un réseau de distribution, la consommation fût toujours égale à la

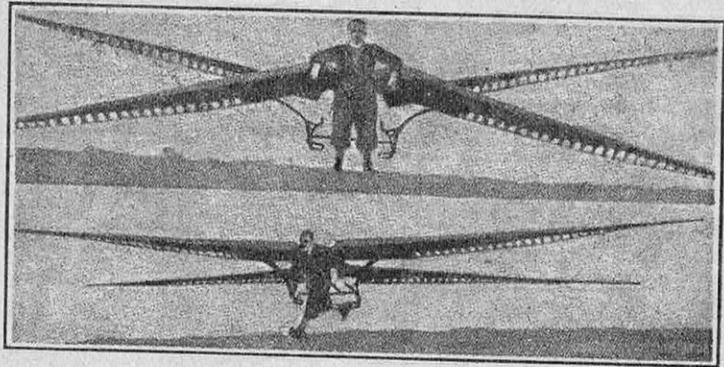


FIG. 2. — L'APPAREIL A AILES BATTANTES DE SCHŒDEL

tournée vers le haut ou vers le bas, elle présente un angle d'incidence positif ou négatif. Il en résulte que, pour cabrer l'appareil, il suffit de tirer sur la perche de commande de façon à soulever les ailes principales antérieures et à abaisser les postérieures. Au contraire, en repoussant la perche, on obtient le résultat inverse.

Le mécanisme des virages est aussi simple. L'aile principale relevée et l'aile auxiliaire opposée abaissée provoquent la rotation de l'appareil.

L'appareil tout entier pèse 10 kg. On voit sur la photographie que la position du pilote est particulièrement bien étudiée, surtout pour l'atterrissage et le décollage. Le mécanisme de commande du battement des ailes comprend un bâti adhérent au corps, avec manivelles et étriers pour les pieds, pouvant être actionnés indépendamment l'un de l'autre.

puissance disponible. En réalité, elle présente des « pointes » journalières, suivies de « creux » pendant lesquels l'énergie est surabondante. Tous les dispositifs susceptibles d'« étaler » la consommation sur 24 heures apporteront donc un notable soulagement au réseau.

En ce qui concerne les appareils de chauffage électrique, il vient tout naturellement à l'esprit d'emmagasiner de la chaleur dans les heures de « creux » pour l'utiliser quand on en aura besoin. S'il s'agit d'appareils de cuisine, il faut que cette chaleur soit rapidement disponible. Une cuisinière à accumulation de chaleur comportera donc une masse chauffée à haute température et des plaques de cuisson: entre ces deux ensembles, un véhicule capable de transporter rapidement la chaleur de l'un à l'autre.

Celle que nous allons décrire est remarquablement simple et peu encombrante

(son poids est de 130 kg pour trois plaques chauffantes et un four). Elle ne comporte aucune circulation de vapeur à haute pression. La masse d'accumulation est constituée par des blocs solides chauffés par des résistances électriques à une température réglée par thermostat. La cuisinière, n'empruntant au secteur qu'une puissance de 450 W (contre 4 à 6 kW pour une cuisinière ordinaire), n'exige pas de branchement spécial. Le transport de la chaleur jusqu'aux plaques chauffantes est assuré par un circuit d'air à la pression ordinaire. L'air mis en mouvement par un ventilateur de faible puissance s'échauffe au contact des blocs d'accumulation et cède sa chaleur aux plaques de cuisson. Il se réchauffe à nouveau sur les blocs et recommence le circuit. Le chauffage peut

être rapide (2 litres d'eau sont amenés à l'ébullition en 10 minutes environ). On le règle en modifiant le débit de l'air, au moyen de robinets. Une vitesse réduite du ventilateur permet de rendre le réglage plus sensible pour la cuisson à feu doux. Ce dispositif permet de modifier la chauffe d'une façon progressive et d'obtenir ainsi la température exacte de cuisson désirée.

Enfin, la chaleur dissipée par les blocs d'accumulation est récupérée par un chauffe-eau de 15 litres, branché sur l'évier de cuisine. Ce chauffe-eau comporte un manchon d'eau entourant les blocs d'accumulation; il est à écoulement libre (un seul robinet commandant l'admission de l'eau dans le chauffe-eau) et ne nécessite par conséquent aucun dispositif de sécurité tel que clapet ou soupape.

## Perfectionnement aux fours mobiles à carboniser

Le problème du maintien de la constance du rapport air/combustible en tous les points d'un four mobile a été heureusement résolu, grâce à une sole amovible de forme conique percée de trous pour le passage de l'air et l'écoulement des jus pyrolytiques, et surtout grâce à douze volets mobiles équilibrés, auto-régulateurs, à ouverture et fermeture automatiques en fonction de la force du vent.

Cette sole (procédé Bonnechaux), brevetée par le C.N.R.I., permettrait d'utiliser plus de vingt mille fours mobiles en tôle actuellement en service ou en réserve.

V. RUBOR.

(290)

### BULLETIN D'ABONNEMENT

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

un an, au prix de  
6 mois,

Déclare m'abonner pour Chèque postal 184.05

(tarif ci-contre) que je vous adresse par Toulouse. Le premier numéro à envoyer sera le n°

## TARIF DES ABONNEMENTS A " LA SCIENCE ET LA VIE "

### FRANCE ET COLONIES

Envois simplement affran-	1 an.....	60 fr.
chis.....	6 mois.....	32 fr.
Envois recommandés.....	1 an.....	75 fr.
.....	6 mois.....	40 fr.

### ÉTRANGER

Pour les pays ci-après : Australie, Chine, Danemark, États-Unis, Grande-Bretagne et Colonies, Îles Philippines, Irlande, Islande, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Palestine, Rhodésie :

Envois simplement affran-	1 an.....	120 fr.
chis.....	6 mois.....	65 fr.
Envois recommandé .....	1 an.....	150 fr.
.....	6 mois.....	80 fr.

Pour les autres pays :

Envois simplement fran-	1 an.....	100 fr.
chis.....	6 mois.....	55 fr.
Envois recommandés .....	1 an.....	130 fr.
.....	6 mois.....	70 fr.

Les abonnements paient de l'époque désirée et sont payables d'avance, par mandats-cartes ou chèques postaux de préférence. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de la somme de 2 francs en timbres-poste.

### " LA SCIENCE ET LA VIE "

Rédaction et Administration : actuellement : 22, rue Lafayette, Toulouse (H<sup>o</sup>.G)  
Chèques Postaux : Toulouse 184.05

Des Années d'Expérience...

Des Centaines d'Équipements en circulation...

# GAZOGENES FRANCE "940"

(Brevetés en France et à l'Étranger)

HOMOLOGATION DÉFINITIVE 526

CLASSE B : CHARBON DE BOIS - CLASSE C ANTHRACITE



## GÉNÉRATEURS D'ACÉTYLÈNE FRANCE " 940 "

HOMOLOGUES



BREVETS, PROCÉDÉS ET SYSTÈMES

**RENE IANDELLI**

Constructeur Agréé par l'État N° 521



Bureau d'Études et Service Commercial :

18, Avenue de Valescure, 18

**SAINT RAPHAËL** (Var)

TÉLÉPHONE

4.51, 4.55



Agents dans toute la France et les Colonies



NICE, 21, boul. Frank-Pilatte

TÉLÉPHONE 61.14  
(Pendant la guerre)

PARIS, 152, Avenue Wagram

TÉL. WAGRAM 27.97

## Cours sur place ou par correspondance

*Par correspondance*

### INDUSTRIE

DESSINATEUR, TECHNICIEN, SOUS-INGÉNIEUR, INGÉNIEUR en Mécanique générale, Constructions aéronautiques, Électricité, Radiotechnique, Chimie industrielle, Bâtiment, Travaux Publics.

### ADMINISTRATIONS

Ponts et Chaussées et Génie rural (adjoint technique et ingénieur adjoint); P. T. T. (opérateurs radios, surnuméraires, etc.); Divers - Tous les concours techniques, géomètres compris, des diverses administrations en France et aux Colonies.

### COMMERCE - DROIT

SECRÉTAIRE, COMPTABLE ET DIRECTEUR, CAPACITÉ ET LICENCE EN DROIT, ÉTUDES JURIDIQUES.

### AGRICULTURE

AGRICULTURE GÉNÉRALE, MÉCANIQUE ET GÉNIE AGRICOLE

### SECTION SCIENCES

Étude et développement par correspondance des Sciences mathématiques et appliquées depuis les cours d'initiation jusqu'aux cours les plus élevés. Arithmétique, Géométrie, Algèbre, Trigonométrie, Mécanique, Cosmographie, Géométrie descriptive, Mathématiques générales, Calcul différentiel, Calcul intégral, Géométrie analytique, Physique, Chimie, Électricité, Résistance des matériaux Baccalauréats.

*Sur place ou par correspondance*

### MARINE MARCHANDE

Préparation à l'entrée dans les écoles de navigation, cours spécial d'Aspirant, comprenant certains cours d'astronomie et de navigation.

Examens officiels préparés à l'École: Entrée dans les Ecoles de Navigation, Brevet d'Elève-Officier (Pont, Machines, T.S.F.), Brevets de Lieutenants, d'Officiers Mécaniciens et d'Officiers Radio.

### MARINE MILITAIRE

ÉCOLE NAVALE ET ÉCOLE DES ÉLÈVES INGÉNIEURS MÉCANICIENS.

ÉCOLES DE MAÎSTRANCE

Ces écoles vont ouvrir. Prochain Concours prévu pour juillet prochain.

Les deux écoles (Pont et Machine) sont installées à Toulon. La préparation de ce concours est recommandée à tous les bons élèves de l'enseignement Primaire Supérieur et des Lycées.

### AIR ET ARMÉE

Préparation à l'école de l'Air et aux écoles de sous-officiers, élèves officiers St-Maixent et autres, actuellement en zone libre.

### AVIATION CIVILE

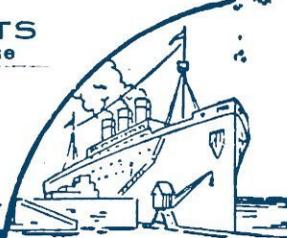
Brevets de Navigateurs aériens. Concours d'Agents techniques et d'Ingénieurs Adjoins Météorologistes, Opérateurs Radioélecticiens.

### PROGRAMMES GRATUITS

Joindre un timbre pour toute réponse

Inscriptions par correspondance à toute époque

Sur place, certains cours seulement ont lieu pour les sections navigation.



CEYBE, Publicité.

LE GÉRANT : L. LESTANG

F. P. S. C. A. I.

IMP. REGIONALE TOULOUSE