

# SCIENCE ET VIE

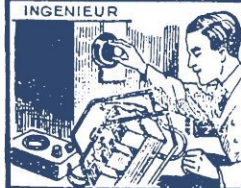
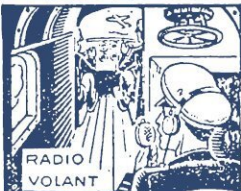
JANVIER 1945

N° 328

10 FRANCS



# LA RADIO *manque* DE SPECIALISTES!



## JEUNES GENS !

Pour répondre aux besoins sans cesse grandissants de la Radio française en cadres spécialisés, nous conseillons vivement aux jeunes gens de s'orienter délibérément vers les carrières de la T.S.F.

AVIATION CIVILE ET MILITAIRE. INDUSTRIE. MARINE MARCHANDE ET MARINE NATIONALE. COLONIES, MINISTÈRES ET ADMINISTRATIONS. Ces carrières réaliseront les aspirations de la jeunesse moderne, puisqu'elles joignent à l'attrait du scientifique celui de travaux manuels importants.

### PREPAREZ CES CARRIERES en suivant nos cours spécialisés PAR CORRESPONDANCE

conçus d'après les méthodes les plus modernes de l'enseignement américain.

INSCRIPTIONS A TOUTE EPOQUE DE L'ANNEE  
TOUS NOS COURS COMPORTENT LES EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE

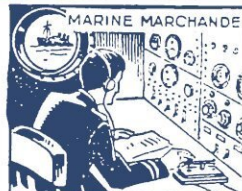
### PLACEMENT

A l'heure actuelle, nous garantissons le placement de tous nos élèves opérateurs radiotélégraphistes diplômés.

L'Ecole délivre des CERTIFICATS DE FIN D'ETUDES conformément à la loi du 4 août 1942.

Notices gratuitement

sur demande.



## ECOLE GENERALE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DE BRETAGNE & RUE DU MARÉCHAL LYAUTEY—VICHY—(ALLIER)

ADRESSÉS DE RÉPLI

## ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

PARIS, 152, av. de Wagram.  
NICE, 3, rue du Lycée

## ÉCOLE DE T. S. F.

### ENSEIGNEMENT PAR CORRESPONDANCE

**MATHÉMATIQUES** Enseignement des Mathématiques, Physique, Mécanique, Chimie, Astronomie, à tous les degrés.

**INDUSTRIE** CONTREMAÎTRE, DESSINATEUR, TECHNICIEN, SOUS-INGENIEUR, INGENIEUR en Mécanique générale, Constructions aéronautiques, Electricité, Electromécanique, Chimie industrielle, Bâtiment, Travaux publics, Constructions navales, Géomètres.

**COMMERCE - DROIT** Secrétaire, Comptable et Directeur, capacité en droit, études juridiques, brevet d'expert comptable de l'Etat.

**AGRICULTURE** Agriculture générale, Mécanique et Génie agricole, Sylviculture, Industries agricoles.

**ADMINISTRATIONS** Tous les concours techniques des diverses administrations France et Colonies.

**AVIATION CIVILE** Brevets de navigateurs aériens et de Pilotes. Concours d'Agents techniques et d'Ingenieurs adjoints, Météorologistes, Opérateurs radioélectriciens, Chefs de Poste et Mécaniciens d'aéronefs.

**BACCALAURÉATS, ÉCOLES NATIONALES** Préparation à l'entrée à toutes les Ecoles nationales, secondaires, techniques et supérieures et aux Baccalauréats. Brevets Math.-Géné.

Envoi du programme désiré contre 5 francs en timbres. (INSCRIPTIONS A TOUTE EPOQUE)

## JEUNES GENS !

Les meilleures situations, les plus nombreuses, les plus rapides, les mieux payées, les plus attrayantes...

## sont dans la RADIO

P. T. T., AVIATION, MARINE, NAVIGATION AERIEENNE, COLONIES, DEFENSE DU TERRITOIRE, POLICE, DEPANNAGE, CONSTRUCTION INDUSTRIELLE, TELEVISION, CINEMA.

### COURS SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES, PRATIQUES, PAR CORRESPONDANCE

Les élèves reçoivent des devoirs qui leur sont corrigés et des cours spécialisés. Enseignement conçu d'après les méthodes les plus modernes, perfectionné depuis 1908

Tous nos cours comportent des exercices pratiques chez soi : lecture au son, manipulation, montage et construction de poste.

Préparation à l'entrée aux écoles privées d'Enseignement maritime, ainsi qu'aux écoles en exercice de l'Aviation et de la Marine militaires. COURS SUR PLACE ont lieu à Nice à l'Ecole d'Enseignement maritime, 21, boul. Frank-Pilatte.



**ÉCOLE TECHNIQUE**  
DE  
**RADIOÉLECTRICITÉ**  
2, RUE DU SALÉ. 2  
TOULOUSE

**JEUNES FRANÇAIS...**

choisissez une situation

**D'AVENIR**

en apprenant

**LA RADIO**

sans quitter vos occupations courantes,  
solvez les

**Cours par correspondance**  
de notre École,  
**CELLE DE LA CAPITALE DE LA RADIO**

La Direction et les Professeurs de l'École ont continuellement entrepris les ordres de l'envahisseur pendant la période d'occupation, en enseignant toute la radio et l'émission, malgré les risques encourus.

**Fournitures scolaires et chassis d'études assurés gratuitement**

TOUTES CES ÉTUDES PEUVENT ÊTRE ENTREPRISES AVEC, A LA BASE, UNE INSTRUCTION DU NIVEAU DU C. E. P.

**Conditions spéciales aux F. F. I.**

**BON 131** à joindre à toute demande de renseignements gratuits.

**POUR LES ÉTUDES DE VOS ENFANTS  
POUR VOS PROPRES ÉTUDES**  
n'hésitez pas à recourir à l'enseignement  
par correspondance de

**L'ÉCOLE UNIVERSELLE**

qui a comblé une grave lacune. Grâce à l'ÉCOLE UNIVERSELLE, en effet, tous ceux qui étaient jusqu'ici empêchés de s'instruire, parce qu'ils résident loin d'un centre ou parce que leur état de santé les retient à la maison peuvent désormais travailler chez eux. Il en est de même de tous ceux qui sont astreints à de fréquents déplacements ou qui ont un retard à rattraper, ou qui se trouvent dans l'impossibilité de poursuivre leurs études à un rythme normal, et aussi de ceux qui sont dans la nécessité de gagner leur vie. L'enseignement individuel de l'ÉCOLE UNIVERSELLE permet à chacun de faire chez soi, sans dérangement, dans le MINIMUM de temps, aux MOINDRES FRAIS, quel que soit le degré d'instruction de l'élève, en toute discrétion s'il le désire, toutes les études qu'il juge utiles, quel que soit le but qu'il veuille atteindre.

L'enseignement de l'ÉCOLE UNIVERSELLE est merveilleusement efficace, puisqu'il a permis à ses élèves de remporter des

**DIZAINES DE MILLIERS DE SUCCÈS  
AU BACCALAURÉAT**

Des dizaines de milliers de succès aux BREVETS, LICENCES, concours des GRANDES ÉCOLES, des GRANDES ADMINISTRATIONS, etc.

Pour être renseigné avec précision sur les études que vous pouvez faire, la carrière que vous pourrez aborder, découpez le bulletin ci-dessous, marquez d'une croix la brochure que vous désirez recevoir gratuitement, écrivez au bas votre nom et votre adresse et expédiez ce bulletin, aujourd'hui même, à l'ÉCOLE UNIVERSELLE, 12, place Jules-Ferry, LYON.

**BROCHURE L. 20.705 : ENSEIGNEMENT PRIMAIRE** : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet Supérieur, Bourses, Brevets, C.A.P., etc.

**BROCHURE L. 20.706 : ENSEIGNEMENT SECONDAIRE** : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, certificat d'études classiques ou modernes, Baccalauréat, etc.

**BROCHURE L. 20.707 : ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR** : Licences (Lettres, Science, Droit). Tous les professorats (classes élémentaires, lycées, collèges, etc...).

**BROCHURE L. 20.708 : GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.**

**BROCHURE L. 20.709** : Carrières de l'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS, etc.

**BROCHURE L. 20.710** : Carrière de l'AGRICULTURE et du GENIE RURAL, etc.

**BROCHURE L. 20.711** : Carrières du COMMERCE, de l'INDUSTRIE HOTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.

**BROCHURE L. 20.712** : ORTHOGRAPHE, REDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESIGN ECRITURE.

**BROCHURE L. 20.713** : LANGUES VIVANTES, TOURISME (Interprète) etc.

**BROCHURE L. 20.714** : AIR, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, T.S.F., etc.

**BROCHURE L. 20.715** : SECRETARIATS, BIBLIOTHÈQUES, etc.

**BROCHURE L. 20.716** : ÉTUDES MUSICALES : Instruments, Professorats.

**BROCHURE L. 20.717** : ARTS DU DESSIN : Professorats, Métiers d'Art.

**BROCHURE L. 20.718** : MÉTIERS DE LA COUTURE de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE.

**BROCHURE L. 20.719** : ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTE.

**BROCHURE L. 20.720** : Carrières du CINEMA.

**BROCHURE L. 20.721** : TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES.

A expédier gratuitement à M. ....

Rue ..... no .....

À ..... Département .....

Si vous souhaitez des renseignements ou des conseils spéciaux à votre cas, ils vous seront fournis très complets à titre gracieux et sans engagement de votre part. Il vous suffira de nous les demander sur une feuille quelconque que vous joindrez au bulletin ci-dessus.

**ÉCOLE UNIVERSELLE**

12, Pl. Jules-Ferry, LYON - 59, B<sup>e</sup> Exelmans, PARIS

# L'ECOLE A.B.C. est LA PLUS IMPORTANTE école de dessin DU MONDE

**PARCE QUE** l'Ecole A. B. C. fut en France et demeura pendant plus de vingt ans **la première et la seule** école de DESSIN par correspondance. **PARCE QU'ELLE** doit à sa méthode absolument unique de compter aujourd'hui plus de **70.000 élèves** dans le monde entier. Aussi l'Ecole A. B. C. ne saurait donner à son enseignement une meilleure base que cette méthode qui, depuis **un quart de siècle**, a fourni tant de preuves de son efficacité.



Croquis de notre élève  
Monique Clerc à sa  
3<sup>me</sup> leçon

## MÊME MÉTHODE - MÊME SUCCÈS DEPUIS UN QUART DE SIÈCLE

Voici, prises parmi des milliers, quelques attestations d'élèves ;

1920 : " Je suis enthousiasmée par la clarté et la simplicité de votre méthode " (Mlle D. S. T., Paris). — 1924 : " Quant à votre méthode, elle est tout simplement merveilleuse " (L. M. D. D., à Fontenay, près Chablis). — 1928 : " Votre méthode est vraiment géniale " (M. V. G., à Angers). — 1934 : " J'ai fait l'éloge de l'Ecole A. B. C. et j'ai été très satisfaite d'avoir mis votre séduisante méthode entre ses mains (Mme W. J., à Bourdon, Orne). — 1944 : " Notre fils n'aurait trouvé dans aucun autre établissement une méthode qui pût égaler la vôtre. (M. R., à Pressigny-les-Pins).

Nous tenons tous les originaux de ces attestations en même temps que beaucoup d'autres à votre disposition.

**COURS D'ADULTES** avec spécialisation. **COURS D'ENFANTS** de 8 à 14 ans. — Enseignement strictement individuel sous la direction d'un maître qualifié.

**BROCHURE GRATUITE.** — Demandez la brochure de renseignements C. B. 27 (joindre 5 francs pour tous frais). Spécifiez bien : cours pour adultes ou cours pour enfants.

**ECOLE A. B. C. DE DESSIN** 12, rue Lincoln, PARIS

# LINGUAPHONE



vous apprendra en 3 MOIS

## L'ANGLAIS

ou toute autre  
LANGUE ÉTRANGÈRE

La Méthode Linguaphone est rapide et économique. Vous apprenez chez vous, à vos heures; en trois mois, cette merveilleuse méthode par disques vous met à même de parler et de comprendre une langue absolument nouvelle pour vous.

L'Institut Linguaphone ne se contente pas de vendre ses cours, non! L'Institut Linguaphone suit ses élèves pas à pas dans leurs études, corrige les devoirs qu'on lui envoie, guide l'élève s'il le désire, l'aide à apprendre vite sans perdre de temps.

Connaitre la langue anglaise est plus que ja-

mais absolument nécessaire. Pour l'apprendre vite et facilement, le meilleur moyen est certainement la Méthode Linguaphone.

### BROCHURE GRATUITE

Vous voulez apprendre vite une langue étrangère, écrivez-nous et vous recevrez gratuitement et sans engagement de votre part notre intéressante brochure qui vous donnera tous renseignements sur la fameuse méthode par disques Linguaphone. (Joindre 5 francs en timbres pour tous frais.)

**Institut LINGUAPHONE** (Section C. B. 2)

12, rue Lincoln - PARIS

# SCIENCE ET VIE

Tome LXVII - N° 328

Janvier 1945

## SOMMAIRE

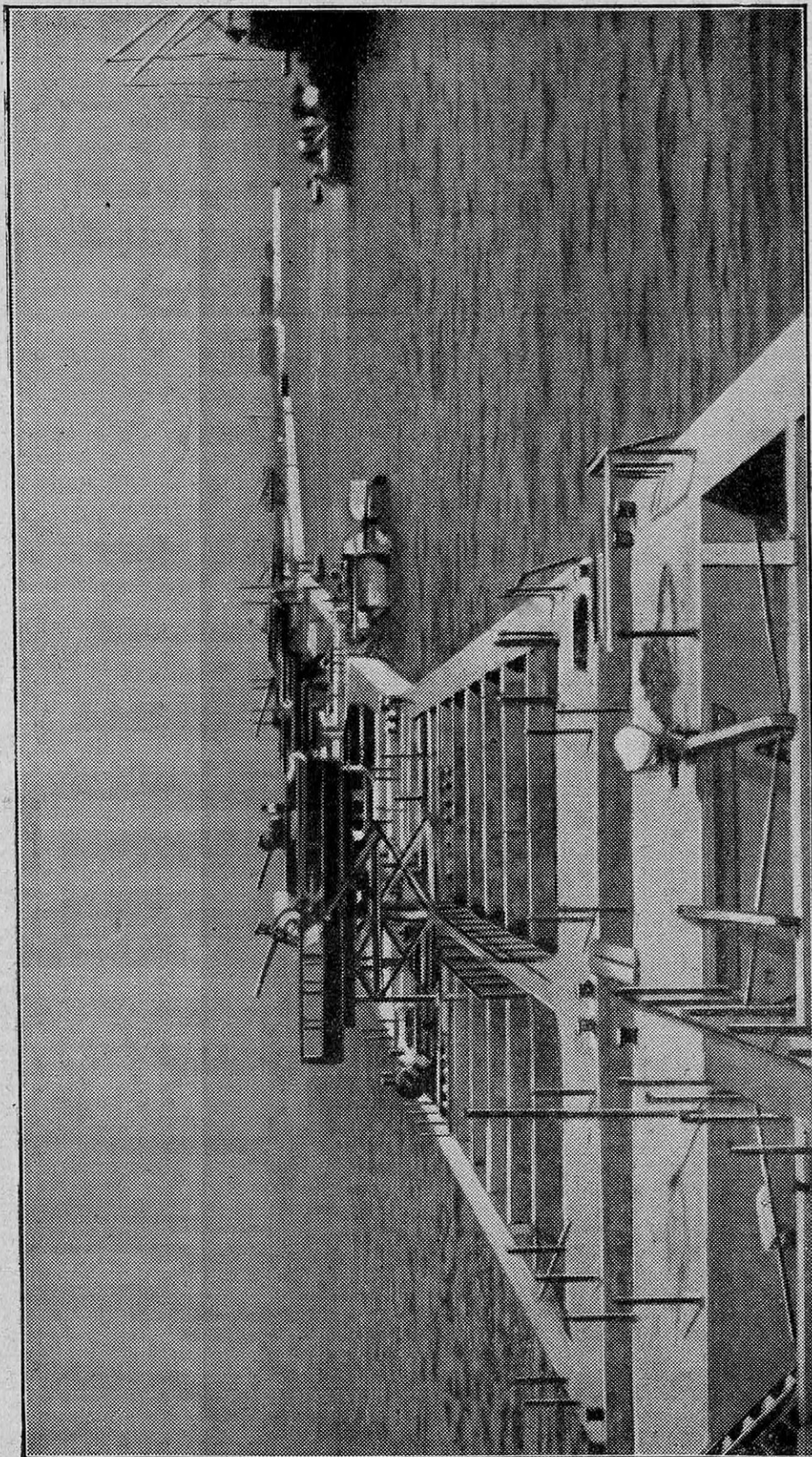
- ★ Les trois premières semaines du débarquement de Normandie, par Pierre Belleruche ..... 3
- ★ Les applications alimentaires et industrielles du sorgho sucrier, par le docteur Delucq ..... 12
- ★ La bataille aéronavale des Philippines et ses enseignements, par Camille Rougeron ..... 18
- ★ Les applications et l'avenir des métaux pulvérulents, par M. Gautier ..... 28
- ★ L'arithmétique de l'infini, par Maurice Fréchet ..... 38
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor ..... 43



Débarquer en pleine plage plusieurs dizaines de milliers d'hommes par jour, mettre à leur disposition le matériel innombrable qu'exige la conduite de la guerre moderne, armes, munitions, véhicules légers et lourds, carburant, vivres, médicaments, etc..., était une entreprise qui pouvait paraître gigantesque et difficilement réalisable même par des nations aussi puissamment équipées industriellement que les Etats-Unis et la Grande-Bretagne. Le débarquement de Normandie a constitué la plus extraordinaire opération de débarquement jamais réalisée jusqu'ici, menée à bien malgré tous les obstacles qu'offraient les fortifications côtières, l'action de l'aviation et celle des sous-marins et vedettes rapides. Près de 4 000 navires de toutes sortes et d'innombrables engins de débarquement, encadrés de forces navales légères et couverts en altitude par un déploiement prodigieux d'avions de combat, ont, en un immense convoi continu, alimenté les batailles terrestres qui ont décidé de la libération de l'Ouest de l'Europe. (Voir page 3 l'article sur le débarquement de Normandie.)

« Science et Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne. Rédaction, Administration, Publicité : actuellement 3, rue d'Alsace-Lorraine, Toulouse. Chèque postal : n° 184.05 Toulouse. Téléphone : 230-27. Adresse télégraphique : SIENVIE Toulouse.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by « Science et Vie », Janvier mil neuf cent quarante-cinq. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B. Abonnements : France et Colonies, un an : cent dix francs.



LE BRISE-LAMES DU PORT ARTIFICIEL D'ARROMANCHES, DONT LES SECTIONS EN BÉTON, FABRIQUÉES DANS LES PORTS ANGLAIS, ONT ÉTÉ REMORQUÉES À TRAVERS LA MANCHE POUR ÊTRE ASSEMBLÉES ET COULÉES A QUELQUES CENTAINES DE MÈTRES DE LA CÔTE NORMANDE

Cinq cent mille tonnes de navires furent coulés pour former les brise-lames du port artificiel. Vingt kilomètres de quais et de jetées furent remorqués par tronçons longs de 160 m. Largés comme des ponts, flottantes pour suivre les mouvements de la marée, unissent les épaves à la terre. Le matériel est déchargé dans le port artificiel ainsi formé, soit directement sur les jetées accessibles aux camions, soit dans des péniches ou des camions amphibies.

# LES TROIS PREMIÈRES SEMAINES DU DÉBARQUEMENT DE NORMANDIE

par Pierre BELLEROCHÉ

L'assaut de la « forteresse Europe » fut donné au matin du 6 juin 1944. Moins de trois mois plus tard, la presque totalité du territoire français se trouvait libérée, tandis que les armées allemandes, défaites dans les dures batailles de Normandie, harcelées par les Forces Françaises de l'Intérieur, ayant abandonné au total six cent mille prisonniers, cherchaient un refuge vers les lignes fortifiées de l'Est, laissant en place, le long des côtes de l'Atlantique et de la Manche, des garnisons sacrifiées, chargées de tenir coûte que coûte, dans le but de retarder l'afflux des approvisionnements. Les opérations conduites du 6 au 27 juin, pendant les trois premières semaines de l'« invasion », du jour de débarquement à la prise de Cherbourg, furent marquées par la plus étroite collaboration entre les forces terrestres, navales et aériennes, et par la mise en œuvre coordonnée de matériels de mise au point récente, qui mériteraient une étude spéciale. Les armées alliées ont dû, tout d'abord, prendre pied par l'air et par mer sur un littoral puissamment garni de défenses; élargir progressivement les têtes de pont conquises les premiers jours; subir victorieusement l'épreuve des premières réactions des divisions blindées adverses; enfin conquérir le grand port en eau profonde dont les installations étaient indispensables (1) pour la mise à la terre de l'équipement destiné à la percée qui, un mois plus tard, jour pour jour, après la prise de Cherbourg, devait permettre l'irruption des forces alliées en Bretagne et entre Loire et Seine. Dans cette période de trois semaines, qui s'étend du jour « J » à la prise de Cherbourg, le débarquement du matériel lourd en pleine plage ne fut possible que grâce à l'aménagement d'un port artificiel, construit à l'avance sur les côtes d'Angleterre, et remorqué pour être placé en un point choisi du littoral français, à Arromanches.

## Le choix de Cherbourg

Le dernier soldat britannique avait à peine, en 1940, quitté le sol de l'Europe continentale, que l'Etat-Major de Londres mettait à l'étude un plan de débarquement. Dans ce but, il organisait des troupes spéciales, les « Commandos », et faisait étudier des chalands porte-chars.

Dès 1941, après examen de la situation européenne, le choix de Cherbourg s'imposa comme objectif géographique principal.

En effet, de par sa situation stratégique, le port de Cherbourg, à l'extrémité d'une péninsule, apparaissait comme propice à la constitution d'une tête de pont facile à défendre. Une armée restreinte pouvait y tenir, même en cas de violente réaction ennemie, sans risquer d'être chassée, surtout avec l'appui de l'artillerie d'une flotte maîtresse de la mer.

La superficie de la rade de Cherbourg et ses quais transatlantiques permettaient d'effectuer, sans préoccupation des marées ou des conditions atmosphériques, le trafic indispensable à une armée de plusieurs centaines de mille hommes, alourdie par un énorme matériel.

Enfin, étant donné la proximité du Cotentin des bases aériennes anglaises, les chasseurs pouvaient couvrir efficacement les transports et les

(1) Voir : « Une armée de plusieurs millions d'hommes peut-elle franchir la Manche de vive force? » *Science et Vie*, n° 304, décembre 1942, p. 255.

troupes à terre, et prendre part à la bataille des plages.

En résumé, dès 1941, l'Etat-Major britannique estimait possible la prise de Cherbourg avec une ou deux divisions, mais, dans ces conditions, le succès apparaissait inexploitable. Il n'était pas sans intérêt cependant d'immobiliser, à peu de frais, dans le Cotentin, plusieurs centaines de mille hommes. Cette conception limitée du « second front » se maintint jusqu'en 1942 où l'opération de Dieppe, le 19 août 1942, montra que les résultats resteraient douteux sans une intervention massive de l'aviation et en particulier sans un intense bombardement aérien préalable des défenses côtières.

Les études relatives à la Normandie restèrent en sommeil à partir de l'automne 1942, du fait des opérations d'Afrique du Nord. Pendant l'été de 1943, après la réussite du débarquement de Sicile, fut enfin réalisé l'accord des Etats-Majors britannique et américain sur un plan d'invasion de la Normandie, qui englobait une zone allant de Cherbourg à Caen, de manière à utiliser les plages du Calvados, propices à une action massive de « landing-crafts » et de chalands porte-chars. Cherbourg restait toujours l'objectif principal, mais le développement de l'opération fut envisagé du Cotentin à la Baie de Seine, dans le sens de l'« invasion ».

L'ordre de bataille adopté fut le suivant : l'aile gauche, qui devait subir le choc des forces allemandes, fut confiée aux Anglaise et aux Cana-

diens : le champ de bataille étant la plaine de Caen, entre Cherbourg et Paris.

L'investissement de Cherbourg, pris à revers par voie de terre, fut réservé aux troupes américaines.

C'est à la Conférence de Téhéran, en décembre 1943, que la date du débarquement fut fixée à une semaine près. Enfin, le plan fut complété par des études concernant notamment l'aménagement d'un port artificiel en pleine plage, dans le Calvados, pour suppléer à la destruction possi-

## L'offensive aérienne prépare le débarquement

La première condition du succès du débarquement était de s'assurer la maîtrise de l'air, tant au-dessus des ports de concentration des forces alliées qu'au-dessus de la Manche et des plages de débarquement en France.

La solution du problème consistait à s'attaquer tout d'abord à la Luftwaffe pour la détruire sur ses aérodromes et même à sa source : dans ses

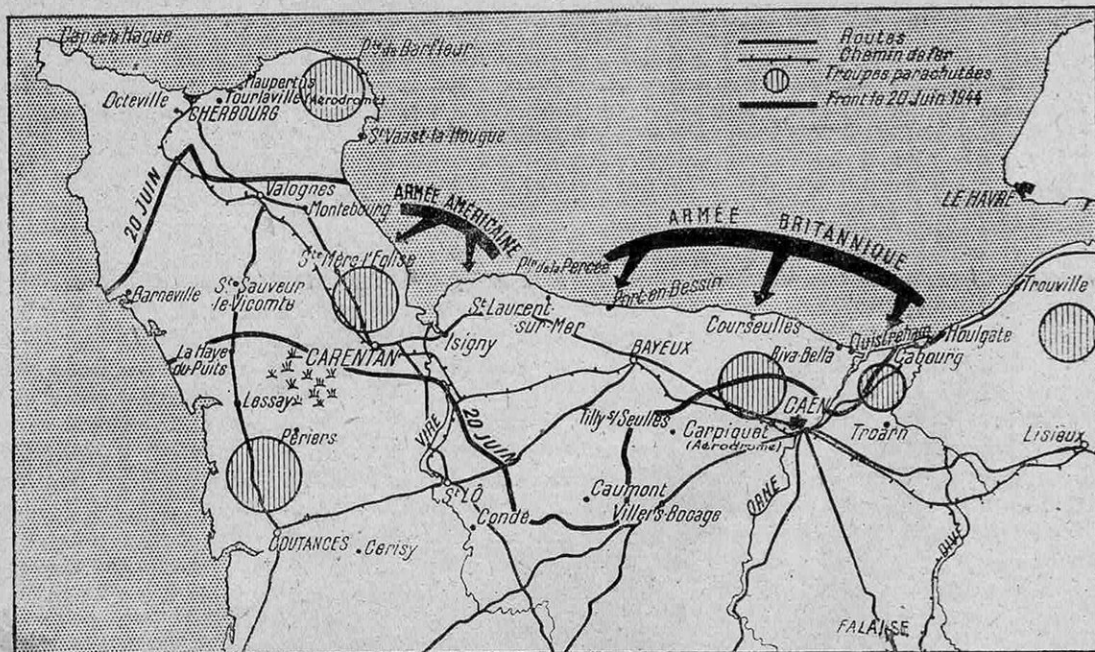


FIG. 1. — LES OPÉRATIONS DE NORMANDIE ET LE TRACÉ APPROXIMATIF DU FRONT AU 20 JUIN 1944. UNE SEMAINE AVANT LA PRISE DE CHERBOURG

ble des installations portuaires de Cherbourg, du moins pendant la période initiale, et la pose d'un pipe-line sous-marin sous la Manche pour économiser le tonnage pétrolier.

Au début de 1944, le commandement de l'opération fut organisé. Le commandement en chef, on le sait, était assuré par le général Dwight Eisenhower (américain) avec comme adjoint l'Air Marshall Sir Arthur Tedder (anglais). Sous leurs ordres se trouvaient les forces aériennes tactiques de l'Air Marshall Mallory (anglais), et les forces terrestres du général Montgomery (anglais). Ces dernières comprenaient la 1<sup>re</sup> Armée américaine du général Bradley (américain) et la 2<sup>e</sup> Armée britannique du général Dempsey (anglais). En outre, étaient mises à la disposition de l'armée d'invasion les forces aériennes stratégiques sous les ordres du général Spaatz (américain), et comprenant les flottes aériennes n° 8 (Grande-Bretagne) et n° 15 (Italie).

Enfin, les forces navales étaient placées sous le commandement de l'Amiral Bertram Ramsay (anglais) avec, sous ses ordres, les escadres de l'Amiral Vian (anglais) et de l'Amiral Kirk (américain).

Du côté allemand, la défense côtière fixe était confiée au général Blaskovitz et les forces mobiles au maréchal Rommel, le tout sous l'autorité du vieux maréchal von Runstedt.

usines productrices. Cette tâche revenait aux forces aériennes stratégiques (général Spaatz).

La préparation aérienne méthodique du débarquement s'est étendue sur une très longue période, atteignant près de cinq mois.

Depuis le 11 janvier 1944 jusqu'à la fin de février, des bombardements massifs ont pilonné les usines de production de l'aviation de chasse nazie et attaqué des aérodromes; à partir du mois de mars, l'opposition rencontrée dans le ciel ennemi fléchit nettement, l'ennemi paraissant contraint d'économiser son aviation de chasse.

C'est à cette époque que les objectifs ferroviaires commencent à apparaître dans les communiqués, mais la phase aiguë de l'offensive contre les communications ferroviaires de la Belgique et du Nord de la France ne commença que le 15 avril.

A cette date, les Forces aériennes stratégiques abandonnèrent leurs objectifs lointains pour pilonner les gares de triage en France et participer à la destruction des wagons.

L'attaque des communications routières ne commença qu'au début de juin, trois jours avant le jour « J », fixé à l'origine au 5 juin, mais que le mauvais temps fit reculer au 6 juin.

Dans la dernière période de la préparation aérienne, les bombardiers lourds entrèrent en



action contre les objectifs tactiques du Littoral. En 36 heures, les 2 et 3 juin, 5 000 tonnes de bombes furent déversées sur les défenses côtières de la Manche et sur le Pas de Calais. L'opération fut répétée dans la nuit du 5 au 6.

Cette même nuit, ils prononcèrent une offensive de la dernière heure sur les ponts de la Seine qui furent tous détruits ou endommagés,

— des mines terrestres sur les plages mêmes ou en retrait;

— des fortins échelonnés depuis les plages jusqu'à l'intérieur, parfois très profondément, et abritant de nombreuses pièces d'artillerie de tous calibres.

Il ne fallait pas que les attaques préalables de ce dispositif puissent faire soupçonner à l'en-

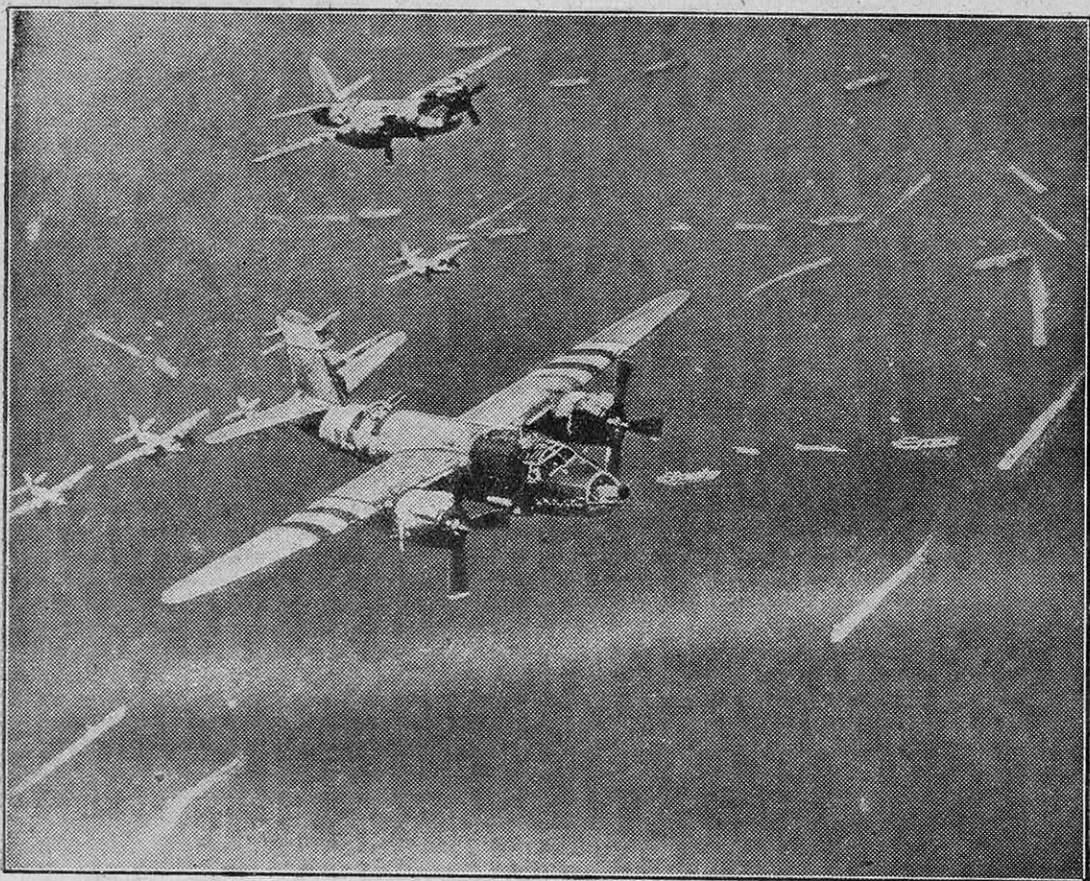


FIG. 2. — UNE FORMATION D'AVIONS DE COMBAT MARTIN « MARAUDER » APPARTENANT A LA 9<sup>e</sup> FLOTTE AÉRIENNE AMÉRICAINE SURVOLE, AU-DESSUS DE LA MANCHE, UN CONVOI A DESTINATION DE LA NORMANDIE. (O.W.I.)

coupant ainsi le Nord de la France de la Normandie. La destruction des 10 ponts de la Seine compris entre Paris et Rouen, à partir du 27 mai, et de ceux de la Loire entre Orléans et Nantes, délimitait la zone stratégique intéressée par le débarquement d'invasion.

Enfin, à l'aube du 6 juin, 750 bombardiers américains déversèrent 2 200 tonnes de bombes sur les défenses littorales, tandis que les chasseurs monoplaces Hawker « Typhoon » lance-fusées détruisaient toutes les stations de repérage radioélectrique.

### Les défenses littorales

Les travaux de défense littorale réalisés par les Allemands pour rendre inabordable les plages du Nord-Ouest de la France comprenaient :

— des obstructions sous-marines en champs ou isolées, très denses; pieux de béton, barbelés, mines sous-marines des modèles les plus divers;

nemi les points de débarquement choisis. Aussi, les opérations d'assainissement de la mer et de destruction des défenses côtières furent-elles menées simultanément et *au tout dernier moment*.

Le jour « J » avait été fixé précisément le 5 juin (nous avons dit qu'il fut différé de 24 heures), à cause de l'ampleur de la marée ce jour-là. Les destructions des obstacles sous-marins furent effectuées à pied sec à l'heure de la basse-mer dans la nuit du 5 au 6.

A partir de 23 h, le 5 juin, une pluie d'explosifs retournait la bande côtière, tandis que des flottilles de dragueurs nettoyaient les zones de mouillage prévues pour les convois, et les chenaux par où les engins de débarquement devaient gagner la côte. Des milliers de mines de types divers furent détruites dans ces opérations.

Le 6 et le 7 juin, après une diversion sur le Havre, les bâtiments de guerre alliés canonèrent les objectifs sur les plages ou derrière les plages. Le lendemain, ils réduisirent au

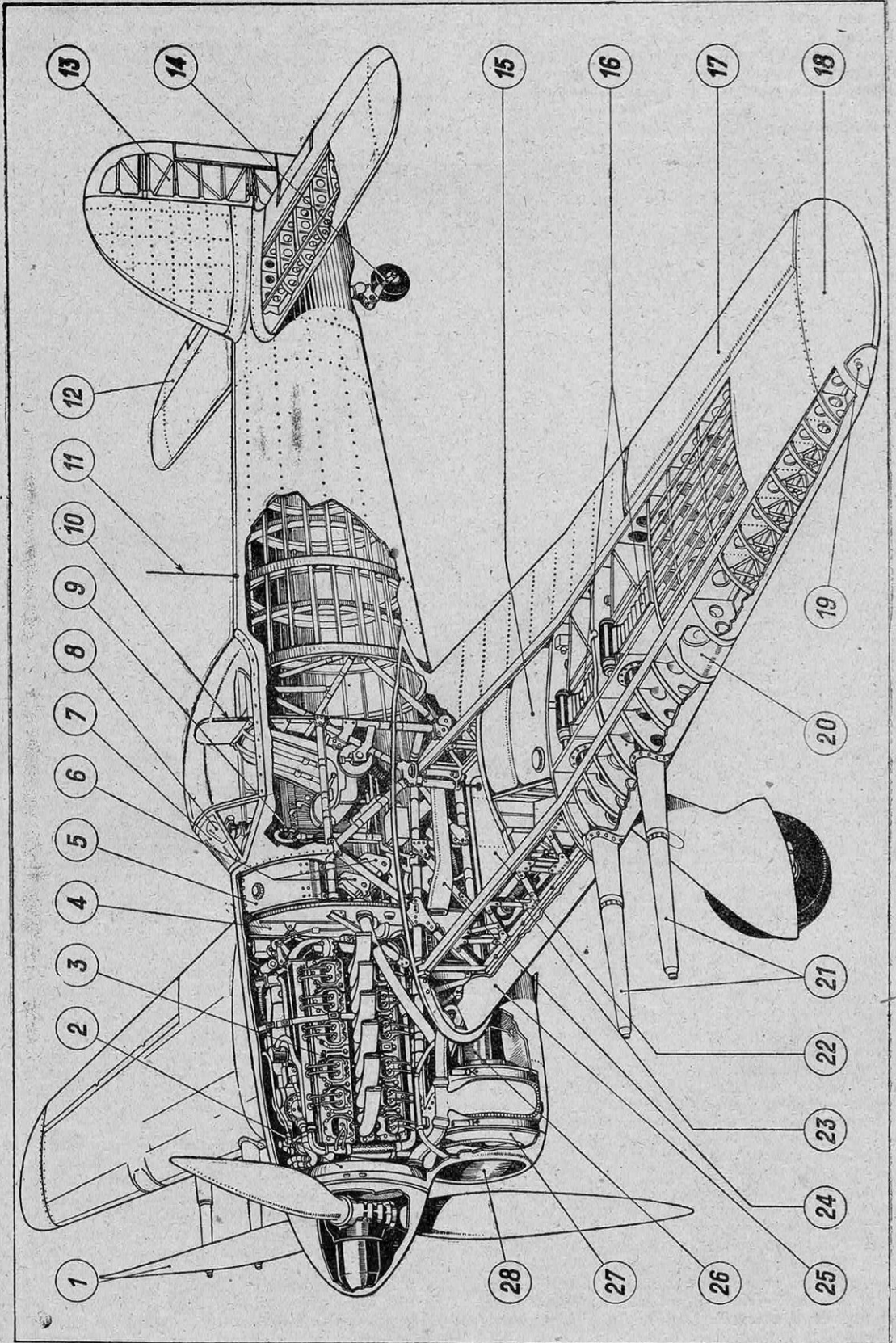


FIG. 3. — LE MONOPLAN DE CHASSE ET D'ATTAQUE AU SOL BRITANNIQUE HAWKER « TYPHOON », ARMÉ ICI (TYPE I. B.) DE 4 CANONS HISPANO DE 20 MM DISPOSANT CHACUN DE 145 OBUS, POUR LES ATTAQUES AU SOL, CET APPAREIL PEUT AUSSI EMPORTER DEUX BOMBES DE 113 OU 225 KG ET ÊTRE ARMÉ D'UN CERTAIN NOMBRE DE DISPOSITIFS POUR LE LANCEMENT D'OBUS-FUSÉES, SON POIDS TOTAL EST DE 5 125 KG (SANS BOMBES), SON ENVERGURE DE 12 M 70 ET SA VITESSE MAXIMUM DE 660 KM/H.

1. Hélice tripale De Havilland « Hydromatic » à pas variable et vitesse constante; 2. Réservoir annulaire pour le liquide réfrigérant (70 % d'eau et 30 % de glycol). 3. Moteur Napier « Sabre », 24 cylindres à trois, en H couché, refroidi par liquide, développant 2 200 ch; 4. Cloison pare-feu blindée; 5. Réservoir à lubrifiant; 6. Pédales du palonnier; 7. Pare-brise, blindé de 38 mm d'épaisseur avec vitre de 6 mm à l'arrière (de l'air sec ventile l'espace intermédiaire); 8. Visiteur; 9. Manche à balai; 10. Blindage; 11. Antenne; 12. Gouvernail de profondeur; 13. Gouvernail de direction; 14. Roue de queue escamotable; 15. Réservoirs de combustible auto-obturants; 16. Munitions (145 coups par arme); 17. Aileron; 18. Extrémité d'aile détachable; 19. Feu de navigation; 20. Projecteur d'atterrissage; 21. Deux canons Hispano de 20 mm (une version du « Typhoon » est armée de 12 mitrailleuses Browning de 7,7 mm au lieu des 4 canons de 20 mm, une autre de 8 mitrailleuses de 12,7 mm); 22. Logement de la roue du train d'atterrissage; 23. Commande hydraulique du train d'atterrissage; 24. Canalisation d'air chaud pour le chauffage des armes; 25. Réservoir de combustible auxiliaire auto-obturant; 26. Tubulure d'admission d'air au carburateur; 27. Radiateur de refroidissement du liquide réfrigérant, entourant le radiateur de refroidissement de l'huile et la tubulure ci-dessus; 28. Accès de l'air aux radiateurs et à la prise d'air du carburateur.

silence les batteries côtières du Havre et de Houlgate.

Précisons ici que les navires d'invasion, au nombre de près de 4 000 au total, étaient composés pour un tiers de bâtiments américains et pour deux tiers de bâtiments britanniques. Des unités françaises, polonaises, hollandaises, norvégiennes et grecques ont participé aux opérations navales d'escorte et d'appui. Étaient présents, en particulier : quatre cuirassés anglais (*Nelson*, *Rodney*, *Ramillies* et *Warspite*) trois cuirassés américains (*Nevada*, *Texas*, *Aransas*), notre vieux *Courbet*, 8 croiseurs britanniques, 3 américains et 2 français (*Georges-Leygues* et *Montcalm*).

Des forces navales légères considérables, des navires auxiliaires transformés et une multitude d'engins de débarquement de tonnages divers encadraient les bateaux marchands et gardaient le « chenal d'invasion » que sillonnerent sans interruption, pendant les premières semaines, en un immense convoi continu, les milliers de navires qui alimentaient le front. En outre, un port artificiel fut amené à travers la Manche et déposé sur la plage d'Arromanches.

### Débarquement par mer et par air

Le débarquement initial de vive force porta sur cinq divisions, déployées sur un front de mer de 65 km entre l'embouchure de la Vire et celle

de la Dive, et trois divisions aéroportées qui furent déposées par planeurs. Ces trois divisions aéroportées, la 6<sup>e</sup> britannique, la 82<sup>e</sup> et la 101<sup>e</sup> américaines, furent transportées par un millier de planeurs du type Horsa et Waco (1).

Les principaux points sur lesquels les troupes aéroportées ont atterri (environ 20 % des planeurs n'atteignirent pas leur point d'atterrissage) furent les suivants :

— à proximité de Caen, au nord-ouest et au nord-est, avec l'espoir, déçu par la suite, que ces troupes s'empareraient rapidement de la ville et de l'aérodrome de Carpiquet;

— entre Valognes et Carentan et à la pointe de Barfleur;

— entre Coutances et Lessay, coupant ainsi les voies de communication entre Cherbourg et Avranches;

— au sud de Trouville et vers la rive sud de l'estuaire de la Seine;

— loin sur les arrières entre Falaise et Argentan, et en Bretagne.

Dans l'ensemble, ces troupes se heurtèrent à de très grosses difficultés et livrèrent de très durs combats.

Quant aux opérations de débarquement maritime, elles constituèrent une réussite complète. Au soir du deuxième jour, le 7 juin, la première phase de constitution des têtes de pont pouvait être considérée comme terminée.

A l'est, 3 divisions de la 2<sup>e</sup> Armée britannique (général Dempsey) avaient pris pied sur 40 km, environ, de l'embouchure de l'Orne à Port-en-Bessin. Négligeant des nids de résistance locale (dont certains devaient « tenir » une quinzaine de jours), elle avait occupé Bayeux — à 10 km, à l'intérieur — et une partie de la route de Bayeux à Caen. Elle avait été arrêtée à 6 km, au nord de cette dernière ville par des contre-attaques de blindés.

Dans cette poche de Bayeux, tout au long de laquelle la « muraille » de l'Atlantique était brisée, les alliés avaient pu mettre à terre trois divisions dont une blindée.

Un peu plus dans l'ouest, une petite tête de pont avait été établie sur 3 ou 4 km, à hauteur de Saint-Laurent-sur-Mer, mais la liaison n'était pas encore faite.

Enfin, des troupes aéroportées, déposées à l'ouest de Caen, après avoir tenté sans succès de s'emparer de la ville, combattaient isolément entre l'Orne et Troarn.

A l'Ouest, dans le secteur de la 1<sup>re</sup> Armée américaine, les forces parachutées américaines menaient de difficiles combats à l'embouchure de la Vire et dans la région de Sainte-Mère-l'Église, sur la route de Cherbourg à Carentan. Elles n'avaient pas encore de liaisons sûres avec les troupes débarquées par mer comportant deux divisions, qui paraissent avoir rencontré de grosses difficultés et n'avoir pris pied que difficilement en certains points de la côte, entre l'embouchure de la Vire et la rade de Saint-Vaast-la-Hougue. La pointe de la Percée constituait la séparation entre le dispositif anglais et le dispositif américain.

Les premières forces alliées jetées sur le continent trouvaient immédiatement en face d'elles six divisions allemandes : quatre divisions d'infanterie et deux divisions blindées : la 21<sup>e</sup> Panzer et la 12<sup>e</sup> Panzer S. S. Ce ne fut que quatre jours après, le 10 juin, que l'ennemi put mettre

(1) Voir : « Les planeurs » (*Science et Vie*, n° 325, octobre 1944).

en ligne d'autres divisions alors que la « bataille des plages » était pratiquement achevée.

### La « bataille des plages » (7-11 juin)

La période de quatre jours qui suivit fut particulièrement périlleuse, car elle fut marquée par la première violente réaction de la part de l'ennemi. Elle fut dirigée contre l'aile gauche,

tête de pont est unifiée. Elle a « tenu » devant la première réaction allemande. La première manche est gagnée.

### Coupure du Cotentin (17 juin)

Au cours de la période suivante (11-19 juin), les conditions météorologiques deviennent très mauvaises. Alors que le 10 juin, les bombardiers



FIG. 4. — SUR UNE PLAGE DE DÉBARQUEMENT NORMANDE, A MARÉE BASSE, LA MISE A TERRE DES TROUPES, DU MATÉRIEL ET DU RAVITAILLEMENT SE POURSUIT A UN RYTHME ACCÉLÉRÉ (O.W.I.).

c'est-à-dire autour de Caen. Les Britanniques doivent renoncer à conquérir Caen, et même à établir la jonction avec les troupes aéroportées isolées dans la région de Troarn.

Par contre, ils parviennent à s'installer isolément au nord du chef-lieu normand, sur les deux rives de l'Orne, couvrant ainsi le port de Ouistreham qui leur est très utile.

Plus à l'ouest, un front continu est établi et rejoint l'aile gauche des forces américaines à la pointe de la Percée. Ces dernières, ainsi couvertes sur leur gauche, progressent vers l'ouest et s'emparent d'Isigny (le 9 juin).

Dans la presqu'île du Cotentin, les troupes débarquées rejoignent les parachutistes de Sainte-Mère-l'Église et, bien qu'elles échouent devant Carentan (pris seulement le 12), entrent en contact avec les forces de l'aile gauche à l'embouchure de la Vire.

Le 11 juin, la « bataille des plages » s'achève d'une manière satisfaisante pour les alliés. La

lourds américains effectuent 2 000 sorties sur les batteries côtières, et sur les aérodromes allemands dans le triangle Evreux-Nantes-Tours, le mauvais temps suspend l'activité aérienne le 11 juin. Elle reprend le 12 et le 13, mais toutes missions sont empêchées dans les nuits du 13, du 14, du 16 et limitées dans les journées des 12, 18 et 19 juin.

Cependant, à peine maîtres d'une bande côtière suffisante, les Alliés se sont préoccupés d'y organiser des pistes d'envol. Dès le 13 juin, cinq terrains sont utilisés par la chasse qui se trouve, de ce fait, à proximité immédiate du front et peut intervenir avec le maximum d'efficacité dans la bataille.

Dans le secteur de Caen, l'ennemi concentrait ses réserves (huit divisions dont trois blindées venant de divers points de France et de Belgique). Il en lance une grande partie dans la bataille pour Caen, le 16 juin. Cette manœuvre ne réussit pas à percer le front britannique, grâce

à l'intervention des canons des cuirassés britanniques, mais elle bloque l'offensive britannique devant Troarn et entre Caumont et Tilly-sur-Seulles.

Dans le Cotentin, après avoir obtenu quelques succès au nord, sur le flanc droit des Américains (reprise de Montebourg le 14 juin), l'ennemi se laisse enfoncer au centre par une offen-

étaient faits. Ce chiffre monta à 45 000 les jours suivants, après la capitulation des derniers forts (29 juin), de l'aérodrome de Maupertus (30 juin) et du Cap de la Hague (1<sup>er</sup> juillet).

Sept petits navires marchands qui tentaient de s'échapper de Cherbourg dans la nuit du 23 au 24, furent surpris par des forces légères alliées. Deux d'entre eux sont coulés, trois sérieusement



FIG. 5. — UN CANON ANTICHAR AMÉRICAIN EN ACTION DANS LA RÉGION DE SAINT-LO (O.W.I.)

sive qui s'appuie à gauche sur la ligne de marécages qui fait de la péninsule une sorte d'île. Les troupes du 7<sup>e</sup> Corps américain atteignent le 17 juin la côte occidentale à Barneville, sur dix kilomètres de front, isolant ainsi, autour de Cherbourg, plus de 40 000 hommes appartenant à quatre divisions allemandes.

La coupure du Cotentin consacre la deuxième manche de la bataille à l'avantage des Alliés. Le 20 juin, les forces américaines du Cotentin font face au nord et, le 22, elles prennent le contact avec les défenses terrestres de Cherbourg où l'ennemi a rassemblé la majorité de ses moyens.

### Le siège de Cherbourg (22-27 juin)

Après une dure progression, la montagne du Roule fut enlevée le 25 juin, et les premiers éléments du 7<sup>e</sup> Corps américain (général Layton Collins), atteignent le port entre Tourlaville et la darse transatlantique le même jour dans la soirée. Le 27 au matin, la ville était entre leurs mains et l'Arsenal, cœur de la défense, capitulait dans la soirée. Trente-sept mille prisonniers

avariés, les deux derniers se réfugient dans l'île d'Aurigny.

### La participation française au débarquement

Un régiment de parachutistes français figurait parmi les troupes aéroportées lâchées dès 4 heures du matin, le 6, afin de paralyser les arrières de l'ennemi. Il opéra en Bretagne, en liaison avec les « maquis », ce qui contraignit le commandement à immobiliser, dans cette région, trois divisions (1).

Vers 6 heures, 178 hommes des commandos de marins français étaient des premiers à débarquer sur la plage de Riva-Bella.

Quatre groupes de chasse français ont pris part aux opérations aériennes préparatoires, c'est-à-dire antérieures au 5 juin, et à celles qui ont suivi. C'est seulement le 15 juin que les bombardiers français sont entrés en action avec 3 groupes : 2 de bombardement lourd (quadrimoteurs

(1) Ce régiment de parachutistes français fut récupéré en août, après deux mois de guérilla.

Handley-Page « Halifax ») et un de bombardement léger (bimoteurs Douglas « Boston »).

Dès le 6 juin, les frégates françaises *L'Aventure*, *La Découverte*, *La Surprise*, *L'Escarmouche*, et les corvettes *Roselys* et *Aconit* faisaient partie des forces de protection des premiers convois. Le torpilleur *La Combattante* effectuait aussi des bombardements contre la terre et repoussait des attaques de vedettes rapides allemandes.

A l'aile droite du secteur d'invasion, au large de la Hougue, les croiseurs *Georges Leygues* et *Montcalm* soutenaient du feu de leurs pièces les

viron 600 appareils, au total un accroissement global de 600 à 700 avions.

Les 150 bombardiers basés dans le Midi de la France n'ont pas été transférés vers le front de Normandie, mais leur action a été orientée vers la Manche sur les transports alliés, et leurs attaques ont utilisé principalement des bombes planantes radio-guidées Henschell, inaugurées le 9 septembre 1943, devant Salerne.

En raison de la supériorité aérienne alliée, l'action des bombardements sur les aires de mouillage fut surtout nocturne et porta particu-



FIG. 6. — SOUS LA PROTECTION DES BALLONS DE BARRAGE ET DE L'AVIATION, LES VÉHICULES AMPHIBES PRENNENT PIED SUR LA PLAGE ET LES NAVIRES SPÉCIAUX DÉCHARGENT TROUPES ET MATÉRIEL (O.W.I.)

commandos américains débarqués dans les environs de Saint-Vaast, et, quelques jours plus tard, dans le secteur de Caen, tiraient sur des objectifs à terre.

Plus à l'ouest encore, les vedettes *Tragique*, *Rapide*, *Audacieuse*, opéraient en couverture extérieure.

Le *Courbet* avait été échoué sur la plage d'Arromanches — ainsi que le croiseur hollandais *Sumatra* — pour servir de môle au port artificiel aménagé en pleine côte.

## Les réactions allemandes

### La Luftwaffe

Le 6 juin, l'ordre de bataille allemand à l'Ouest comprenait : front Ouest, 1 300 avions; Méditerranée, 700 avions; au total, 2 000 avions environ.

On comptait, en particulier :

— 500 bombardiers basés de la Loire aux Pays-Bas;

— 150 bombardiers dans le Midi de la France.

Le débarquement eut pour résultat le transfert de l'Italie en France de 100 bimoteurs Ju 88 et de 500 chasseurs bombardiers Focke Wulf 190, et d'Allemagne vers le front de Normandie d'en-

viement sur le mouillage de mines sous-marines.

### L'Artillerie de côte

Malgré l'intervention continue des bâtiments de guerre et de l'aviation, les batteries ennemies fixes et mobiles de côte ont considérablement gêné, sinon interdit, le déchargement des bateaux, principalement sur les plages à l'est de la tête de pont, visées par les canons des batteries de côte du Havre qui les prenaient en enfilade. Dans la nuit du 28 au 29 juin, les tirs de ces canons ont obligé les Britanniques à suspendre complètement le déchargement sur toutes les plages situées à l'est de l'Orne.

Aucun cargo n'a été cependant coulé par l'artillerie de côte sur les aires de mouillage. Mais dans la seule journée du 25 juin — la plus dure journée d'action contre les batteries de côte — un cuirassé *Texas*, un croiseur *Glasgow*, les destroyers *Barton* et *O'Brien*, les navires de commerce *Cap Tourane* et *Empire*, ont été gravement atteints.

En somme, le débarquement en Normandie a confirmé ce fait que l'artillerie de côte est incapable d'arrêter les bateaux d'assaut lorsque,

la maîtrise de l'air étant assurée, les objectifs marins sont extrêmement nombreux et si la défense côtière est surclassée en calibre par l'artillerie navale.

#### Les U-Boote

À la date du 6 juin, on estimait à plus de dix le nombre de sous-marins en opérations dans la Manche et à une quinzaine celui des sous-marins amarrés dans le port de Brest, au total 25 à 30 U-Boote, plus une quarantaine basés dans les ports du golfe de Gascogne.

Bien que pourchassés par des flottilles d'avions et de patrouilleurs, les sous-marins allemands ont constamment rôdé autour de chenal d'invasion. Le 15 juin fut le jour de leur plus grand succès. Ce jour-là ils torpillèrent deux frégates. Mais dans les jours suivants, du 18 au 24 juin, douze sous-marins furent attaqués dont plusieurs furent coulés.

C'est lors du débarquement de Normandie, en raison de la maîtrise de l'air alliée qui interdisait aux sous-marins allemands de paraître à la surface, même de nuit, pour recharger leurs accumulateurs, que les U-Boote inaugurèrent le système « Schnorkel Spirau » qui autorise le fonctionnement des moteurs Diesel pendant l'immersion.

#### Les vedettes rapides S-Boote

Les forces légères ennemies réparties entre Ostende et Brest comptaient, au début de juin, 30 à 35 vedettes et 7 torpilleurs. Elles faisaient depuis le mois de mai de nombreuses incursions sur les côtes anglaises pour réunir des renseignements sur les préparatifs d'invasion.

Pendant le débarquement, elles portèrent évidemment leur effort sur les convois et les mouillages, mais furent à plusieurs reprises interceptées par les forces d'escorte.

Les bases de vedettes de Boulogne et du Havre furent attaquées toutes deux, dans la nuit du 15 au 16 juin, par de très importantes formations de bombardiers lourds Avro « Lancaster ». La base de vedettes de Houlgate servit de cible aux canons lourds de la flotte.

L'attaque au large de Lorient de la 8<sup>e</sup> flotille de contre-torpilleurs par des avions munis d'obus-fusées, et l'engagement naval du 9 juin au large de l'île de Batz ont paralysé l'action des contre-torpilleurs de l'Atlantique qui arrivaient à la rescousse.

#### Les mines sous-marines

Ce sont ces derniers engins qui ont causé le plus de préjudice aux flottes alliées engagées dans le débarquement de Normandie.

Le mauvais temps continu a eu pour résultat de rendre la navigation très dangereuse. Tout au plus 12 bâtiments de toute sorte ont été coulés, et plus d'une vingtaine endommagés, dont, parmi ces derniers, la frégate française *La Surprise*.

L'encombrement de la côte du Calvados rendait très difficile l'action des dragueurs de mines alliées.

### Le 6 juin fut-il une surprise?

Le débarquement de Normandie du 6 juin 1944 a profité de l'expérience acquise en Sicile le 10 juillet 1943, à Salerne le 9 septembre et à Anzio le 23 janvier 1944.

En Sicile, on comptait une division pour 20 km,

et en Normandie une division pour 13 km, soit une densité plus forte en Normandie, sur un front plus étroit.

Peut-on dire que les défenses allemandes furent surprises? Certainement non, si l'on considère qu'une opération de l'envergure de l'« invasion » exigeait une très longue et minutieuse préparation, que les bombardements systématiques des voies de communication, la destruction du matériel roulant, l'attaque des aérodromes ne pouvaient passer inaperçus et étaient l'indice évident de l'imminence de l'assaut tant attendu. Mais les chefs allemands ne pouvaient en préciser la date exacte, et il est probable qu'ils ne supposaient pas les Alliés assez aventureux pour choisir la date précise (à 24 heures près) d'une des marées de vives eaux les plus fortes de la Manche, avec cette circonstance aggravante que les conditions atmosphériques étaient loin d'être bonnes. On a pu soutenir même que la mauvaise visibilité en altitude a joué en faveur des débarquements aériens, chasseurs et avions de combat allemands ayant été incapables d'intercepter les planeurs et avions de transport des divisions aéroportées.

### Un débit de 35 000 hommes par jour

Quant aux débarquements sur les plages, l'état de la mer, relativement maniable, les a peu gênés du 6 au 15 juin. Pendant cette période plusieurs centaines de mille hommes furent mis à terre, sur cinq plages différentes. En moyenne, le rythme des débarquements du mois de juin a été de l'ordre de 35 000 hommes par jour.

Mais le mauvais temps s'est aggravé les jours suivants, au point que les débarquements ont dû être parfois suspendus et que les convois n'ont même pas appareillé de Grande-Bretagne de peur d'embouteiller dangereusement les aires de mouillage. Les abris provisoires en construction sur les plages pour les engins de débarquement ont été gravement endommagés et un nombreux matériel détruit. Dans ces journées difficiles, le pipe-line à essence fut d'un secours considérable pour alimenter les forces débarquées.

Le 23 juin, les débarquements ont repris à une cadence accélérée, surtout ceux du matériel et du ravitaillement qui avaient le plus souffert de la semaine de mauvais temps.

Ces circonstances n'ont fait qu'inciter davantage les Alliés à pousser énergiquement leurs attaques pour la possession du port de Cherbourg. Dans ce dernier cependant les destructions étaient importantes. Les Allemands avaient bourré de mines la rade et les passes et coulé un bateau de 12 000 tonnes à l'entrée de la darse transatlantique (gare maritime).

La remise en état des installations portuaires dévastées ne demanda pas moins d'un mois. Pendant ce temps, la bataille terrestre, où l'ennemi engagea jusqu'à 25 divisions, a été uniquement alimentée par les débarquements en pleine plage. On sait que le front de Normandie se stabilisa sur la ligne Lessay-Saint-Lô-Caen et donna lieu à de violents combats dans la région de Caen. La percée du 27 juillet au sud de Saint-Lô marqua ensuite le début de l'offensive victorieuse alliée, et la phase ultime de l'« invasion » du territoire français s'est ainsi ouverte le jour où le port de Cherbourg est entré en service.

Pierre BELLEROCHÉ.

# LES APPLICATIONS ALIMENTAIRES ET INDUSTRIELLES DU SORGHO SUCRIER

par le docteur DELUCQ

*Les difficultés du ravitaillement en sucre qui, parmi les glucides indispensables à l'organisme, constitue un aliment de choix parce que facilement assimilable, mettent à l'ordre du jour les recherches entreprises en vue d'utiliser des plantes sucrières susceptibles d'être cultivées dans le Midi de la France et en Afrique du Nord. De ce point de vue, le sorgho sucrier, étudié déjà en France dès 1923, a révélé toutes ses possibilités en Amérique et en Italie. Les essais poursuivis en France ont montré que sa culture, aussi simple que celle du maïs, réussissait fort bien dans le sud de notre pays. De plus, il est maintenant reconnu que le sorgho n'est pas seulement utile par les réserves sucrières de sa tige, mais encore que les cannes et feuilles forment un excellent aliment pour le bétail et que les grains ont une valeur alimentaire comparable à celle de l'orge. Enfin les applications industrielles du sorgho vont de la fabrication de l'alcool carburant, par fermentation des jus sucrés, à la préparation de produits variés utilisés par l'industrie chimique.*

**L**E sorgho est une des plantes les plus anciennement cultivées. Comme le blé et le riz, elle a été modelée par les hommes suivant leurs besoins.

D'origine africaine, la culture de cette plante s'est étendue à l'Inde et à la Chine dès la plus haute antiquité. A l'heure actuelle, elle est répandue dans presque toutes les parties chaudes et tempérées du monde entier. Son grain constitue la principale nourriture des millions d'indigènes de l'Afrique et de la cavalerie française du Soudan. Le sorgho est aussi employé comme fourrage.

Près de deux millions d'hectares lui sont consacrés en Amérique, où la variété sucrière de cette plante (1) a été l'objet d'une acclimatation rationnelle et d'une sélection de valeur telle qu'elle a pu rendre habitables et prospères des pays desséchés impropres au blé et au riz.

Depuis une trentaine d'années, les Italiens ont suivi la voie tracée par les Américains et ont sélectionné à leur tour des variétés qu'ils exploitent industriellement pour en tirer de nombreux produits. Les habitants du Midi de la France auraient grand intérêt à les imiter.

## Les utilisations à la ferme

Les utilisations du sorgho à la ferme sont éclipsées par ses utilisations industrielles (2). Elles n'en sont pas moins très intéressantes, et nous leur consacrerons quelques mots.

(1) La variété sucrière du sorgho diffère totalement de la variété ordinaire qui, on le sait, est utilisée pour la fabrication des balais. La culture du sorgho sucrier ne peut même être réussie dans la même région que celle du sorgho ordinaire : les hybridations qui en résulteraient donneraient une variété de valeur nulle.

(2) Si l'agriculteur peut produire à l'échelle artisanale de l'alcool carburant pour son tracteur et du sucre pour son alimentation, les rendements sont insuffisants, faute d'un matériel assez puissant.

A la ferme, on peut utiliser les feuilles, les cannes et les grains.

Les feuilles renferment des principes alimentaires en quantités à peu près égales à celles rencontrées dans les fourrages les plus appréciés (trèfle, luzerne...).

Les cannes, renfermant plus de matières sucrées, sont plus nourrissantes que celles de maïs.

Feuilles et cannes, ensilées ou non, forment donc un excellent aliment pour tous les animaux.

Des cannes on retire, par pression, un jus qui peut servir à la préparation de sirops, succédanés végétaux du miel, utilisables, soit pour la consommation directe à la table familiale, soit pour la préparation de confitures, pour la pâtisserie, la confiserie, les boissons, etc...

L'Amérique du Nord, dont de vastes régions sont cultivées en sorgho, possède dans de nombreuses fermes des installations de petite ou de moyenne importance pour la préparation du sirop qui est consommé dans les mêmes conditions que le sirop d'érable. Ces installations comprennent, en général, un seul moulin à cylindres, ainsi que des bacs pour laisser reposer les jus (afin de séparer un dépôt de fine bagasse entraînée au broyage) et un évaporateur à feu nu pour la concentration. L'évaporateur est le plus souvent une cuve métallique en forme de rectangle allongé et dont les bords sont de faible hauteur; il repose sur un support en maçonnerie qui constitue en même temps le foyer chauffé au bois. La cuvette de l'évaporateur est garnie de chicane verticales réalisant un circuit aussi long que possible pour la circulation du jus à évaporer, et comprend aussi un compartiment finisseur séparé du reste par une trappe à levier.

Le jus, à une extrémité de l'appareil, se concentre progressivement en circulant dans la partie à chicane; il se transforme ainsi en demi-sirop dont la concentration finale s'opère



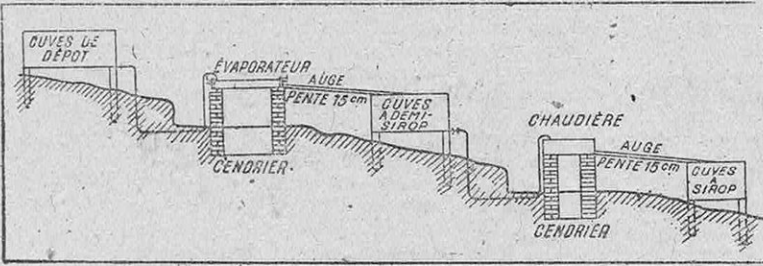


FIG. 1. — SCHÉMA D'INSTALLATION DE PRÉPARATION DE SIROP A LA FERME.

Les cuves de gauche sont alimentées par un moulin à cylindres qui fournit un mélange de jus et de fine bagasse qui se dépose. L'installation en terrain incliné favorise la circulation du jus vers l'évaporateur, la chaudière de finissage et la cuve à sirop.

ensuite dans le compartiment finisseur. Au cours de la concentration, il se forme de l'écume renfermant principalement des albumines coagulées par la chaleur; cette écume enlevée, le produit final est logé en boîtes de fer-blanc pour être livré à la consommation; c'est un sirop limpide, pesant 40 à 41 degrés Baumé, de couleur blonde et de goût agréable.

Divers correctifs sont parfois apportés en cours d'opération, quand cela est nécessaire pour obtenir un sirop irréprochable. Nous citerons le traitement par l'extrait de malt d'orge en vue d'éliminer une petite quantité d'amidon présente dans le jus et susceptible, en s'emplant à l'évaporation, de troubler le sirop, et le traitement par l'invertase contenue dans les levures, en vue d'invertir une partie du saccharose, si ce sucre est en proportion relative anormalement élevée et peut troubler le sirop en cours de conservation par sa cristallisation au sein de la masse. On ajoute aussi, parfois, tant au jus qu'au demi-sirop, certains composés chimiques dont l'action consiste à précipiter certaines impuretés solubles qu'on sépare ensuite par décantation naturelle ou par filtration, pratiquant ainsi une véritable défécation comme dans l'industrie de la sucrerie de betteraves ou de cannes; on emploie dans ce but le lait de chaux, le carbonate de chaux, l'acide phosphorique, etc...

La production américaine du sirop de sorgho, telle que nous venons de la décrire sommairement, est une petite industrie artisanale; le rendement en sucre extrait par rapport à celui contenu dans la canne est très éloigné du rendement théorique, en raison de l'équipement sommaire en moulins et des pertes de manipulation diverses, mais les fermiers américains se livrent à cette industrie avec l'aide des membres de leur famille et utilisent directement le produit de leur récolte; d'autre part, le matériel est peu coûteux. Les frais de production sont en conséquence peu élevés.

Le jus obtenu par le moulin à cylindres peut aussi être mis à fermenter et distillé pour produire de l'alcool, mais à un prix assez élevé.

Le grain, dont la valeur alimen-

taire égale celle de l'orge, sert principalement à l'élevage de la volaille et à l'engraissement des cochons; mais c'est aussi un excellent aliment pour l'homme. On savait que le sorgho est à la base de l'alimentation des populations de l'Afrique, mais jusqu'à ces derniers temps on ignorait le goût savoureux du sorgho décortiqué. Le sorgho « mondé », semblable par l'aspect au riz, constitue un excellent remplaçant, plus savoureux et plus nutritif, de cette céréale dans toutes ses applications.

Comme avec les blés durs, on obtient de la mouture du sorgho décortiqué (1) une farine extrablanche et une semoule légèrement colorée en jaune paille. La farine de sorgho s'allie mieux que celle du maïs à la farine de froment, et la semoule sert excellentement à la préparation de potages, de bouillies, de millas...

### La canne de sorgho, source de sucre et d'alcool

La canne contient un jus sucré abondant, dont la richesse en sucre peut varier, pour les teneurs normales, entre 11 et 18 %, selon les espèces, le climat et le mode de culture; il s'agit d'un mélange de saccharose et de sucre inverti en proportions différentes selon l'état de maturité de la plante; elle contient en outre une partie ligneuse riche en cellulose et en pentosanes. On peut donc dire que la canne tout entière présente, un grand intérêt pour l'industrie.

(1) Nous reparlerons de ce décortiquage dans l'exposé des utilisations industrielles, car il se pratique dans des machines analogues à celles utilisées en rizerie. Cependant, on a signalé qu'il était possible d'obtenir à la ferme des grains exempts de péricarpe en les immergeant dans une solution de potasse à un pour cent et en les polissant ensuite entre deux disques couverts de toile rude.

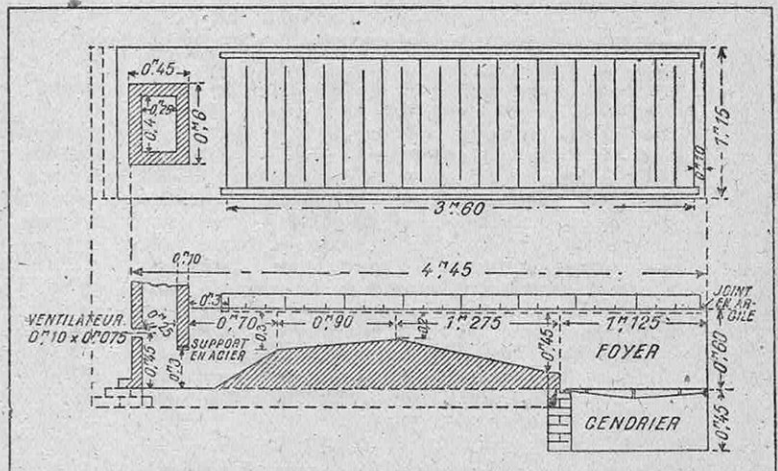


FIG. 2. — ÉVAPORATEUR CONTINU AVEC SON FOYER

La présence de chicanes dans le bac évaporateur oblige le jus à suivre un circuit de grande longueur, ce qui accroît la quantité d'eau évaporée au cours du passage du jus dans cet appareil.

Elle constitue une matière première de choix pour la fabrication de l'alcool, une tonne de cannes effeuillées étant susceptible de fournir, après extraction et fermentation de son jus sucré, entre 75 et 100 litres d'alcool comptés à 100° Gay-Lussac. Une telle industrie présente un grand intérêt pour les pays moyennement chauds comme l'Europe Méridionale et l'Afrique du Nord, c'est-à-dire dans la zone climatique intermédiaire entre celles des cultures à grand rendement de la betterave et de la canne à sucre.

La distillation de la canne de sorgho est en tous points semblable à celle de la canne à sucre; elle utilise le même appareillage et le même procédé de travail.

Les cannes débarrassées de leurs feuilles sur le lieu de récolte, sont amenées à l'usine où elles sont déversées sur le tapis roulant d'un transporteur. Celui-ci les achemine en nappe aussi régulière que possible aux moulins broyeurs qui doivent en exprimer le jus.

Le broyage et l'expression du jus se font, comme pour la canne à sucre, dans une série de moulins à cylindres horizontaux, la matière passant successivement de l'un à l'autre au moyen de tabliers roulants. Le premier moulin, appelé défibreur, se compose généralement d'une paire de cylindres horizontaux superposés, en acier moulé ou en fonte dure, portant sur toute leur surface de travail de fortes dentures en forme de chevrons s'engrenant l'une dans l'autre. Cette véritable mastication de la canne facilite l'expression du jus par les moulins suivants. Le cylindre supérieur est muni de paliers spéciaux à coussinets mobiles, permettant de régler l'écartement de la paire de cylindres pour un débit de travail déterminé; l'effort de pression est maintenu à une valeur constante et réglable au moyen de puissants ressorts à boudin ou de pistons hydrauliques fonctionnant à l'huile, qui agissent sur ces coussinets. Les moulins suivants ont généralement trois cylindres au lieu de deux, soit un cylindre supérieur ou « roll » de tête, muni du dispositif de pression déjà décrit, et deux cylindres inférieurs placés sur un plan horizontal. Ces cylindres sont en fonte dure granuleuse spéciale et creusés de petites rainures circulaires parallèles sur tout leur pourtour. Les écartements entre le cylindre supérieur, ou roll de tête, et les cylindres inférieurs, appelés le plus souvent roll d'alimentation et roll de sortie, sont différents et réglables selon les exigences du travail. Dans l'intervalle triangulaire entre les cylindres se place une lame, appelée bagassière, de forme étudiée pour assurer la translation horizontale de la matière du roll d'alimentation au roll de sortie, ce qui assure ainsi deux pressions successives dans chaque moulin.

Un groupe de moulins comporte, selon les cas, un défibreur et deux, quatre et même cinq moulins, la matière pressée cheminant mécaniquement de l'un à l'autre; le jus obtenu sous la pression considérable exercée par ces appareils est recueilli sous chacun d'eux dans des cuvettes et collecté dans des bacs après

avoir été débarrassé par tamisage des particules solides qu'il a entraînées.

Pour obtenir un bon épuisement, il est nécessaire, après chaque moulin, d'imbiber par pulvérisation la matière pressée d'une certaine quantité d'eau; cette imbibition se fait sur les transporteurs intermédiaires. Les jus obtenus à chaque pression successive sont naturellement de richesse décroissante; les jus faibles obtenus en queue de batterie sont utilisés pour l'imbi-



FIG. 3. — UNE PARTIE D'UN CHAMP DE SORGHO SUCRIER (PROVINCE DE FOGGIO, ITALIE)

biton entre les moulins de tête, ce qui permet d'obtenir finalement un jus moyen de richesse aussi élevée que possible, compte tenu des exigences de l'épuisement. Le rendement en sucre extrait varie, selon l'équipement en moulins, de 90 à 97 % environ du sucre contenu dans la canne mise en œuvre.

La capacité de travail d'une batterie moderne de moulins varie, selon les dimensions, entre 50 et 5 000 tonnes de cannes par vingt-quatre heures, mais les grandes sucreries de cannes coloniales utilisent seules les fortes capacités; les distilleries de sorgho n'écrasent au maximum que quelques centaines de tonnes de cannes par jour.

La matière pressée, appelée « bagasse », présente le résidu ligneux finement divisé; elle sort du dernier moulin à une teneur en eau voisine de 50 %. La bagasse de canne à sucre est utilisée par l'usine même comme combustible dans des chaudières à foyers spéciaux, et elle fournit ainsi toute la vapeur nécessaire à la fabrication, ce qui permet d'installer une distillerie ou une sucrerie sans se préoccuper des possibilités d'approvisionnement en combustible minéral. La bagasse de sorgho peut également être brûlée dans les mêmes conditions, ce qui permet de choisir librement la région où doit être édifiée la distillerie, en se préoccupant seulement de l'approvisionnement abondant en cannes et de l'eau nécessaire à cette industrie.

L'extraction du sucre de la canne de sorgho

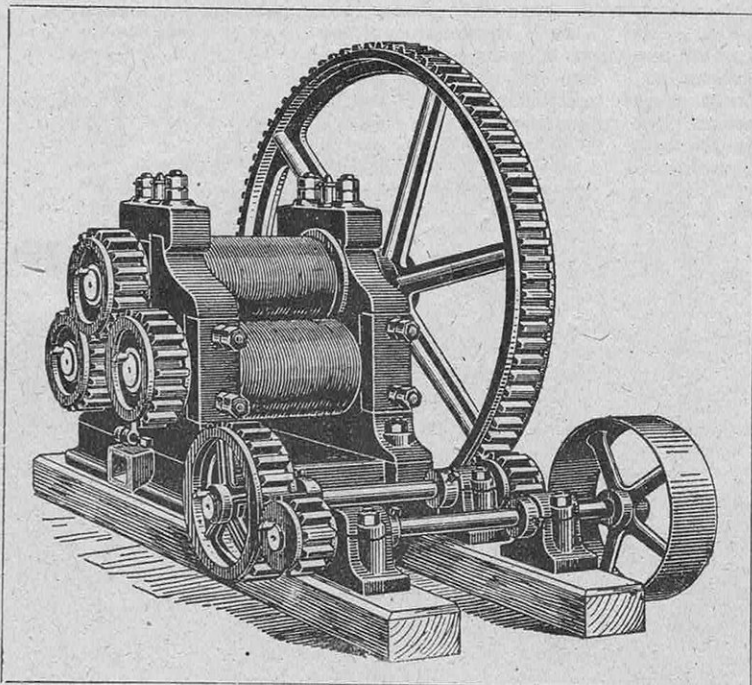


FIG. 4. — MOULIN A TROIS CYLINDRES POUR LE BROYAGE DES CANNES DE SORGHO SUCRIER

Les cannes, broyées une première fois entre le premier cylindre inférieur et le cylindre supérieur, le sont à nouveau entre ce dernier et le deuxième cylindre inférieur, grâce aux cannelures circulaires des cylindres. L'écartement de ceux-ci est réglable; il est évidemment plus faible du côté sortie que du côté entrée.

peut également être opérée par diffusion, en utilisant les batteries à vases des sucreries et distilleries de betteraves. La canne est alors déchiquetée ou tranchée en fines rondelles au lieu d'être écrasée, et la matière ainsi divisée est traitée par épuisement méthodique à l'eau, absolument comme s'il s'agissait de cossettes de betteraves. Certains grandes distilleries de betteraves italiennes ont ainsi utilisé leur matériel de diffusion existant, se contentant de le compléter par des coupe-cannes spéciaux obtenus en modifiant de façon appropriée des coupe-racines à betteraves.

De bons résultats ont été obtenus, mais la batterie de diffusion a l'inconvénient de fournir un résidu épuisé très humide et inutilisable comme combustible, à moins de lui faire subir au préalable une pression énergique pour chasser l'excès d'eau, résultat qu'en l'état actuel du problème le moulin à cylindres est seul capable de réaliser; il faut donc, dans ce cas, soumettre la matière diffusée à plusieurs passages au moulin. On ne peut donc dire que le procédé par diffusion permet de se passer de moulins, ce qui lui enlève une grande partie de son intérêt. Il reste hors de doute que le procédé d'extraction directe par moulins est le plus pratique; aussi est-il à peu

près seul employé, malgré le matériel important qu'il nécessite, avec toutefois cette réserve qu'il est inutilisable pour travailler d'autres matières telles que la betterave ou le topinambour, par exemple, si la distillerie se propose d'utiliser également ces autres sources d'alcool. Le problème est donc à considérer dans chaque cas particulier.

Le jus de sorgho extrait de la canne par pression ou par diffusion est traité ensuite comme s'il s'agissait d'un jus de betteraves, c'est-à-dire qu'il est acidifié par addition d'une dose convenable d'acide sulfurique et envoyé à la fermentation dans de grandes cuves en acier pour obtenir finalement un liquide contenant entre 6 et 8 % d'alcool. Ce liquide est envoyé ensuite à la distillation et on extrait ainsi, selon l'appareillage utilisé, soit des flegmes à haut degré ou de l'alcool absolu utilisables pour la carburant, soit de l'alcool rectifié d'excellente qualité pour tous usages. Nous ne décrivons pas de façon plus complète la technique de la fermentation et de la distillation, qui est très connue.

Dans le cas particulier de l'alcool carburant, ses détracteurs ont toujours objecté qu'il fallait d'abord, pour l'obtenir, consentir une dépense élevée de combustible minéral pour sa fabrication; dans le cas du sorgho, cette objection n'est plus valable, puisque le résidu de la canne suffit, si on consent à le brûler dans les chaudières. Nous verrons plus loin qu'on peut parfois en faire un meilleur usage.

En Europe, l'Italie seule possède jusqu'à présent d'importantes distilleries de sorgho s'approvisionnant dans de vastes zones de culture

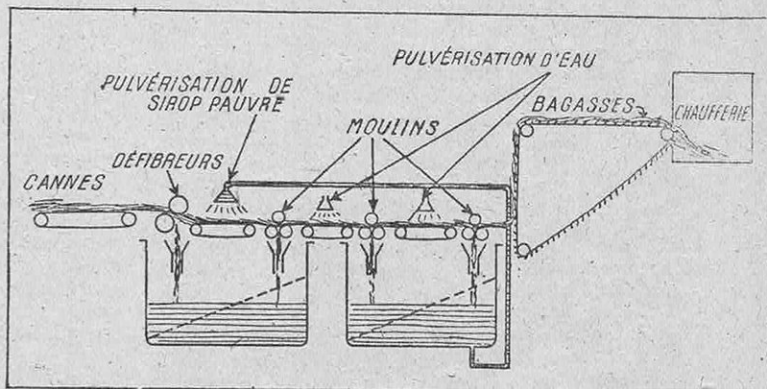


FIG. 5. — SCHÉMA TRÈS SIMPLIFIÉ DE LA PRÉPARATION INDUSTRIELLE DU JUS ET DE LA SÉPARATION DES BAGASSES DES CANNES DE SORGHO

Amenées par des transporteurs, les cannes passent au défibreur, puis aux moulins (généralement trois). Le jus qui s'écoule est recueilli dans des bacs. Le jus pauvre du dernier bac est utilisé pour humidifier par pulvérisation les cannes après le défibreur. Le jus du premier bac se concentre donc progressivement. Pendant leur passage d'un moulin au suivant, on utilise une pulvérisation d'eau. Quant aux bagasses, elles sont amenées à la chaudière par un élévateur à godets.

En ce qui concerne la France, plusieurs distilleries ont été projetées dans le Midi, mais l'état de guerre n'a pas permis une réalisation en raison de la pénurie actuelle de matériaux. Un grand programme est également prévu pour la production d'alcool carburant de sorgho en Afrique du Nord, où de vastes régions irriguées ou facilement irrigables se prêtent particulièrement bien à la culture de cette plante, qui a fait l'objet d'études très intéressantes des services agricoles locaux.

Le jus de sorgho peut également, comme les autres jus sucrés, être soumis à d'autres fermentations que celle conduisant à la production d'alcool éthylique, afin d'obtenir des produits divers du plus haut intérêt, soit pour la carburation, soit pour l'industrie chimique en général : acétones, alcool isobutylique, glycérine, etc... La pureté naturelle de ces jus les désigne particulièrement pour ces applications spéciales.

En Europe, la production de sirop de sorgho à l'échelle vraiment industrielle, la seule à considérer en temps normal, reste à lancer. Une telle fabrication devrait être réalisée avec un matériel moderne, comportant notamment des appareils de filtration, d'épuration et d'évaporation comparables à ceux utilisés par les sucreries de betteraves. Elle pourrait être annexée à une distillerie de sorgho, dont elle utiliserait ainsi le poste de moulins et les services d'eau, de production de vapeur et de force motrice, et d'organisation générale, permettant ainsi de réduire notablement le coût de production. Il ne s'agit évidemment pas de concurrencer l'industrie sucrière existante, les deux produits n'ayant qu'une analogie très relative; au surplus, la consommation des produits sucrés suit une telle courbe ascendante avec l'amélioration du standard de vie, que le sirop de sorgho trouvera aisément sa place dans l'industrie alimentaire et sur la table familiale; il reste d'autre part à développer l'usage du sucre en général chez les populations coloniales, et il s'ouvrira là un marché très intéressant au sucre de sorgho, notamment dans nos possessions d'Afrique où la distillerie de sorgho pourra s'équiper également pour cette fabrication et alimenter les marchés locaux.

### Utilisation du grain

La culture en grand de la canne pour les usages industriels aura pour conséquence d'augmenter considérablement la production du grain, puisqu'à un hectolitre d'alcool tiré de la canne

correspondra environ 100 kg de grain. Il en résultera donc tout d'abord un immense bienfait pour certaines populations souvent sous-alimentées.

Les besoins alimentaires étant satisfaits, il restera pour l'utilisation industrielle des quantités importantes.

On peut d'abord envisager d'employer ce grain pour la fabrication de l'alcool, de l'acétone, de l'alcool isobutylique, de l'acide lactique, etc... et aussi comme matière première pour la production de levure de boulangerie. Cependant, les jus de canne de sorgho et les mélasses de

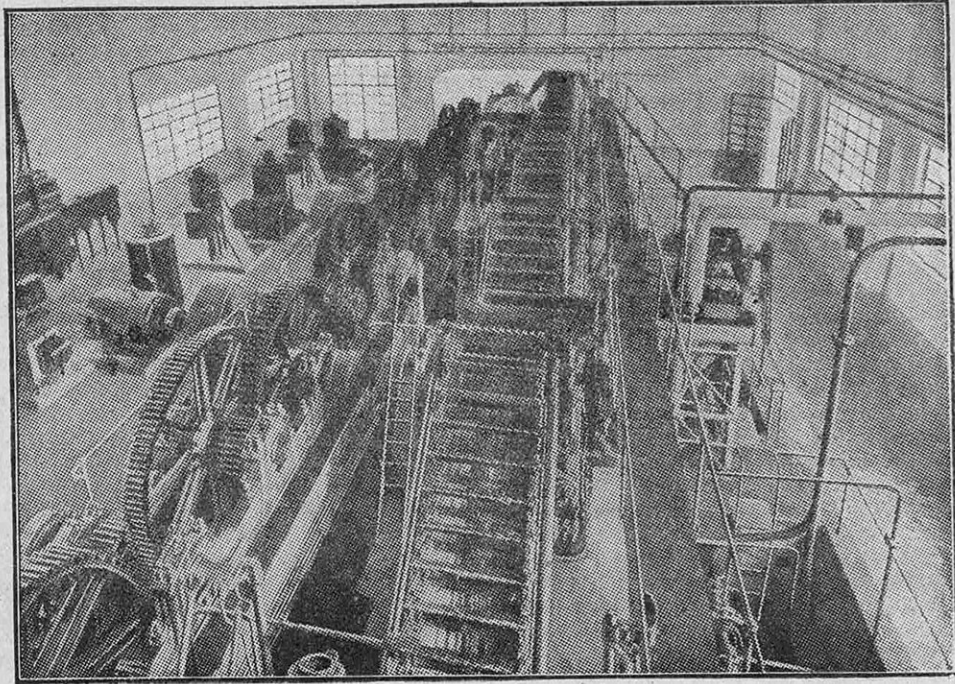


FIG. 6. — VUE INTÉRIEURE DE LA SALLE DES MOULINS D'UNE INSTALLATION ITALIENNE POUR LE TRAITEMENT DU SORGHO SUCRIER

sucrierie sont des matières moins coûteuses. D'autre part, la transformation du grain en jus sucré fermentescible pour l'obtention de ces divers produits exige préalablement une cuisson à la vapeur sous pression et une saccharification de l'amidon par un enzyme (malt ou *Mucor amylo*) ou par des quantités importantes d'un acide minéral, d'où l'obligation d'installer un matériel supplémentaire de prix assez élevé; en outre, il faut pour cela consommer du combustible en quantité appréciable.

Par contre, l'industrie de la glucoserie et celle de l'amidonnerie peuvent tirer avantageusement parti du grain de sorgho, qui contient entre 60 et 65 % d'amidon, car elles consomment déjà obligatoirement du maïs ou du riz. Un large débouché est donc trouvé dans ce sens.

L'Italie, qui a fortement développé au cours de ces dernières années la culture du sorgho pour la production de l'alcool carburant, a été amenée à utiliser le grain pour les besoins alimentaires de sa nombreuse population, en faisant subir à ce grain des préparations diverses permettant de l'incorporer dans l'alimentation courante.

On a tout d'abord songé à le moulin et le bluter par les procédés habituels de la meune-

rie, pour produire des farines de panification; ces farines ont été mélangées, dans la proportion de 5 à 15 %, à la farine de froment et on obtient ainsi, comme avec l'addition de farine de maïs, un excellent pain bien levé. Il n'est toutefois pas possible, dans ces conditions, de dépasser les doses indiquées ci-dessus, car le grain de sorgho est revêtu d'une pellicule colorée en brun ou en violet, qui ne peut être entièrement séparée au blutage, ce qui conduit à une coloration appréciable du pain. Toutefois, cette solution a déjà permis d'améliorer le ravaillement italien.

Les techniciens de ce pays ont cependant fait mieux depuis en utilisant, non plus les appareils de meunerie, mais le matériel de rizerie. On

des résultats obtenus par la nouvelle technique. Il existe un peu partout des rizeries qui pourront utiliser leurs installations existantes pour traiter également le sorgho; d'autre part, rien ne s'oppose à ce que les distilleries de cannes de sorgho complètent leur équipement dans ce sens pour transformer ainsi sur place la totalité du produit de la récolte.

### Utilisation de la bagasse de cannes de sorgho

La bagasse humide, telle qu'elle sort du dernier moulin, peut, comme nous l'avons déjà vu être utilisée sur place comme combustible; elle a un pouvoir calorifique de 1 800 à 2 000 calories selon son degré d'humidité. Toutefois, on peut avoir intérêt à la garder pour en tirer divers produits intéressants. Au surplus, même en l'utilisant comme combustible pour la distillerie, il en reste souvent un excédent pour d'autres usages.

L'industrie italienne en extrait de la cellulose de haute qualité, utilisable pour la fabrication de la rayonne, et une pâte à papier parfaite; la lignine contenue dans cette bagasse présente un grand intérêt pour la production de matières plastiques, comme l'ont montré les essais couronnés de succès des techniciens de ce même pays.

Enfin, la bagasse de sorgho renferme une teneur élevée de pentosanes transformables en furfurole, produit chimique de plus en plus demandé et fabriqué actuellement en quantités importantes en Amérique du Nord pour divers usages, parmi lesquels nous citerons la production de matières plastiques, l'épuration des huiles minérales de graissage, l'addition à l'essence de pétrole comme antidétonant, et la fabrication de nombreux dérivés synthétiques de toutes natures. Certains échantillons de bagasse sèche ont fourni jusqu'à 15 % de furfurole, et il est à noter que la bagasse débarrassée de ses pentosanes reste utilisable comme combustible, avantage sur lequel nous n'insisterons pas.

### Conclusion

Aucune plante n'offre une telle diversité d'emplois à la ferme et dans l'industrie. Nous ne doutons pas que l'agriculture la produira en quantités toujours croissantes, aucune autre n'offrant l'avantage d'une double récolte de tiges et de graines suffisant séparément à rémunérer le producteur. On peut prévoir aussi pour les industries transformatrices un essor prochain de nature à justifier l'investissement de capitaux importants tout en fournissant un nouveau champ d'activité à de nombreux travailleurs.

Docteur DELUCQ.

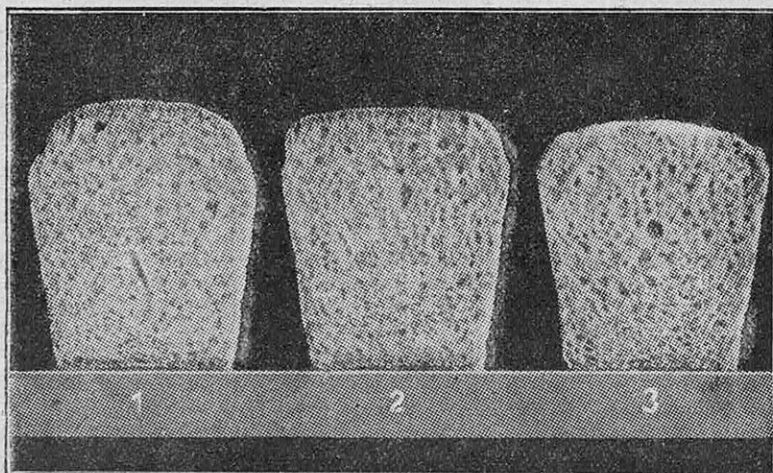


FIG. 7. — DE GAUCHE A DROITE : PAIN DE FROMENT PUR; PAIN DE FROMENT ADDITIONNÉ DE 10 % DE FARINE DE MAÏS; PAIN DE FROMENT ADDITIONNÉ DE 10 % DE FARINE DE SORGHO SUCRIER

sait que la culture du riz est très développée en Italie, ce qui a conduit à installer de nombreuses rizeries pour décortiquer et polir ce grain. Au lieu de réduire le grain de sorgho en farine, on a imaginé de le passer au cône de polissage du riz pour le débarrasser du germe et de la pellicule colorée; à noter qu'une technique semblable est déjà appliquée pour obtenir l'orge perlé bien connu.

Dans ces conditions l'amande du grain, qui est parfaitement blanche, se trouve dégagée sans fragmentation, et trouve de nombreuses applications des plus intéressantes.

Au cours de la décortication, en même temps que le son se séparent les germes, qui trouvent emploi dans la préparation des produits à base de vitamine E (vitamine de la fécondité). Ces produits se diffusent de plus en plus en agriculture pour rendre plus féconds les animaux domestiques. On peut aussi en extraire des graisses dont les germes sont riches (35 % environ). Le résidu, dégraissé, très riche en protéine, se prête excellemment à la fabrication d'extraits végétaux pour bouillons.

Nous n'ajouterons rien à cet exposé éloquent

# LA BATAILLE AÉRONAVALE DES PHILIPPINES ET SES ENSEIGNEMENTS

par Camille ROUGERON

*La bataille aéronavale des Philippines est incontestablement la plus importante de toutes les batailles navales de cette guerre. La flotte japonaise, qui y fut engagée dans son ensemble, y a subi des pertes très graves. L'installation de l'armée, de la marine et de l'aviation américaines dans cette position qui coupe le Japon des mers du Sud aura des conséquences décisives sur sa capacité de poursuivre la lutte. Mais cette bataille mérite d'être étudiée à d'autres titres. Aucune n'avait si bien démontré la fragilité des croiseurs japonais, pour qui la rencontre a été une véritable hécatombe; la puissance de la chasse des porte-avions contre ses adversaires décollant de bases terrestres s'est affirmée; elle est un nouveau pas vers l'unification de l'aviation embarquée sur la base du chasseur-bombardier équipé d'armes modernes qui triomphe aujourd'hui à terre.*

## La deuxième bataille des Philippines

LA flotte japonaise vient de subir aux Philippines ce que le premier communiqué spécial du général Mac Arthur présentait comme « la plus grande défaite de toute la guerre. » La formule est parfaitement exacte. Les résultats de la rencontre qui a mis aux prises les forces aéronavales appuyant le débarquement dans l'île de Leyte et les escadres japonaises venues au secours de la défense, passent en importance, non seulement ceux des batailles de la mer de Corail (18 mai 1942), de Midway (6 juin 1942), de Guadalcanal (5 novembre 1942), et des Philippines (première bataille du 19 juin 1943), mais encore ceux de Pearl-Harbor lui-même (1).

Si l'attaque par surprise de l'aviation japonaise avait mis alors plus de cuirassés américains hors de combat qu'il n'a été coulé ou endommagé gravement de cuirassés japonais aux Philippines, on sait, en effet, que presque tous les navires américains échoués sur les petits fonds en rade de Pearl-Harbor purent être remis en service après réparations plus ou moins longues. Le *West Virginia*, le *Maryland*, le *Tennessee*, le *California* et le *Pennsylvania*, qui étaient dans ce cas, ont pris part à la bataille du 22-27 octobre 1944. Quelques jours auparavant, l'amiral Chester Nimitz annonçait même la rentrée en service de l'*Oklahoma*, le dernier des bâtiments avariés à Pearl-Harbor. La marine japonaise n'a pas cette ressource, et les cuirassés, porte-avions, croiseurs et destroyers coulés aux Philippines doivent être rangés dans la catégorie des pertes définitives.

La flotte de ligne japonaise avait dû se replier devant les avances américaines successives qui l'avaient finalement rejetée, par l'occupation des Mariannes, sur les archipels voisins des Bonin, des Riou-Kiou et des Philippines. Les attaques de porte-avions l'avaient ensuite obligée à éva-

cuer ces bases avancées pour se réfugier dans les ports de la métropole d'une part, dans la région de Singapour d'autre part. Dès le débarquement aux Philippines, on savait que la flotte japonaise avait pris la mer; son commandement avait cru devoir l'annoncer à une opinion publique inquiète au moment où il était persuadé de l'imminence d'un débarquement à Formose: la marine japonaise ne laisserait pas couper, sans intervenir, l'armée qui occupait les immenses territoires conquis dans les mers du Sud. Elle ne pouvait pas davantage tolérer l'occupation des îles centrales des Philippines, qui réalisaient cette même coupure un peu plus loin. Mais les cuirassés japonais et toute leur escorte, du pétrolier ravitailleur au cargo transformé en porte-avions, ne vont pas très vite. Ce qui explique que les quelque milliers de kilomètres à franchir du Japon et de Singapour jusqu'à Leyte aient demandé plusieurs jours, au cours desquels les navires de ligne ennemis n'ont guère gêné la mise à terre des troupes du général Mac Arthur.

Il semble bien que la totalité de la flotte japonaise ait été mise en ligne pour la circonstance. C'était pour elle la seule chance de succès; la méthode des petits paquets ne convenait pas devant les très puissantes formations navales américaines qui appuyaient le débarquement. Il est plus difficile, par contre, d'approuver la division de la flotte japonaise en trois escadres dont deux, largement séparées, venant du sud-ouest et la troisième du nord. La réunion des forces sur l'objectif suppose, aussi bien à la mer qu'à terre, que l'ennemi ne la trouble pas. On s'expose à les voir battre en détail. Au lendemain de sa campagne de Lombardie en 1796, où il écrasa successivement les armées de Wurmser et d'Alvinzi, qui jugea même bon d'amener la sienne en deux fois, Bonaparte n'avait pas assez de mépris pour cette manière de faire: c'était, disait-il, « l'art de faire battre 180 000 hommes par 140 000. » La flotte américaine aura réussi de même à se retourner d'un adversaire à l'autre, pour en venir à bout avant leur réunion.

Comme lors de toutes les grandes batailles

(1) Voir: « La guerre dans le Pacifique Sud » (*Science et Vie*, n° 317, janvier 1944, p. 17) et « Six mois de guerre dans le Pacifique » (*Science et Vie*, n° 299, juillet 1942, p. 35).

navales du Pacifique, la marine japonaise, et la propagande allemande, qui est bien obligée d'abonder dans le même sens, ont annoncé que la rencontre des Philippines se soldait par une écrasante défaite américaine. La série de ces écrasantes défaites aboutit, malheureusement pour cette thèse, à l'occupation d'archipels sans cesse plus proches du Japon; il est donc difficile d'accorder créance à ces affirmations. Au surplus, ces victoires prétendues ne sont pas une

avons de reconnaissance repèrent, dès le 23, deux formations qui se dirigeaient vers les Philippines, l'une à travers la mer de Sibuyana, l'autre à travers la mer de Sulu. La première comprenait cinq navires de ligne, dont deux croiseurs de bataille type *Kongo* datant de 1911-12 et trois cuirassés type *Yamato*, qui sont les plus récents que possède la marine japonaise, huit croiseurs et treize destroyers. La deuxième, se composait de deux cuirassés de la classe *Yamashiro* (1911-13), quatre croiseurs et sept ou huit destroyers.

Les deux adversaires, que séparaient les Philippines, s'attaquèrent le 23 octobre avec leur aviation. Dans la mer de Sibuyana, un cuirassé et un croiseur furent gravement endommagés, incendiés et probablement coulés; trois autres cuirassés furent atteints par bombes et torpilles; un croiseur léger, atteint par une torpille, chavira et coula. Dans la mer de Sulu, des coups au but furent enregistrés sur les deux cuirassés, pendant que les croiseurs et les destroyers étaient balayés à la mitrailleuse et au canon-fusé. Les pertes américaines se limitèrent au porte-avions *Princeton*, atteint par une bombe, incendié, et qui dut être coulé après explosion des soutes.

Le même après-midi du 23, un avion de

reconnaissance repérait une escadre japonaise à 320 km au nord de Luçon, se dirigeant vers le sud. Elle comprenait 17 bâtiments dont deux cuirassés de la classe *Ise* (1914), aménagés par addition d'un pont d'envol, un porte-avions de 14 000 tonnes, de la classe *Zuikaku*, trois porte-avions légers, cinq croiseurs et cinq destroyers.

Les porte-avions de la 3<sup>e</sup> Flotte américaine se dirigèrent rapidement au nord, pendant la nuit, et lancèrent, à l'aube, une attaque aérienne contre la formation japonaise. Celle-ci fut prise complètement au dépourvu. Malgré le nombre des porte-avions japonais, il n'y eut pas d'opposition aérienne sérieuse; les avions embarqués étaient partis se ravitailler dans les bases des Philippines, et le désastre était consommé lorsqu'ils tentèrent de rejoindre leurs navires. Sur les 17 bâtiments japonais, les quatre porte-avions furent coulés, ainsi qu'un croiseur et un destroyer; deux cuirassés, trois croiseurs et quatre destroyers furent endommagés. L'un des cuirassés fut atteint par deux à quatre torpilles et de nombreuses bombes. Aucun des navires de la 3<sup>e</sup> Flotte américaine engagés dans le combat ne fut endommagé; les seules pertes furent de 10 avions, tous abattus par l'artillerie de D.C.A., avec 18 hommes d'équipage. La poursuite dut

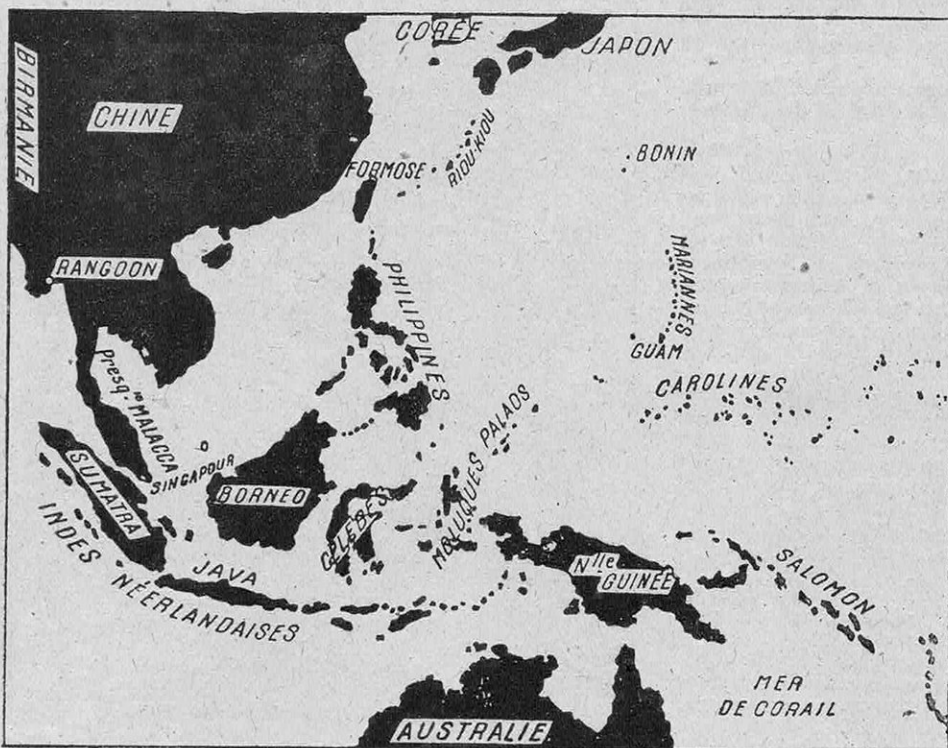


FIG. 1. — CARTE D'ENSEMBLE DES ÎLES DU PACIFIQUE

invention des belligérants du XX<sup>e</sup> siècle, et l'on avait jadis un critère pour départager les adversaires : la victoire était adjugée à celui qui avait chassé l'autre du lieu de combat et s'y était maintenu trois jours au moins. La règle n'a rien perdu de sa valeur, et, comme la marine japonaise n'a pas osé affirmer que ses navires avaient pu remplacer pendant une seule journée les bâtiments américains qui n'ont jamais cessé d'appuyer, au large des îles de Leyte et de Samar, les forces du général Mac Arthur, il ne reste qu'à rejeter cette prétention à une nouvelle victoire de l'Axe dans le Pacifique.

### Les opérations

Il semble bien que les 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> Flottes américaines, dont les communiqués de l'amiral Chester Nimitz ne donnent pas la composition, aient attendu la contre-attaque japonaise à l'est des Philippines, au large des îles Leyte et Samar.

Les premiers mouvements des navires japonais furent signalés, au nord de Singapour, les 21 et 22 octobre, par des sous-marins américains qui coulèrent d'ailleurs deux croiseurs lourds et en endommagèrent gravement un troisième. Les

être interrompue pour se retourner contre les deux escadres japonaises venant du sud-ouest.

L'escadre japonaise de la mer de Sibuyana franchit cependant le détroit de San Bernardino pour s'attaquer, dans la même journée du 24, au large de l'île de Samar, aux unités de la 2<sup>e</sup> Flotte américaine; elle perdit deux croiseurs et un destroyer et dut repasser le détroit en direction de l'ouest aux premières heures de la nuit. Elle perdit au cours de cette retraite, où l'aviation de l'armée vint en aide à la marine, deux croiseurs coulés et un cuirassé probablement coulé; trois cuirassés et trois croiseurs subirent de nouveaux dégâts.

L'escadre qui arrivait par la mer de Sulu tenta, sans succès, de franchir le détroit de Surigao, et fut mise en déroute.

Au total, entre le 22 et le 27 octobre, la flotte japonaise perdit vingt quatre navires dont deux cuirassés, quatre porte-avions, six croiseurs lourds, trois croiseurs légers et neuf destroyers; treize navires furent gravement endommagés et peut-être coulés, dont un cuirassé, trois croiseurs lourds, deux croiseurs légers et sept destroyers; vingt et un bâtiments purent s'échapper après avoir été endommagés, dont six cuirassés, quatre croiseurs lourds, un croiseur léger et dix destroyers.

Au cours de la même action, les pertes subies par les forces navales américaines se réduisirent à un porte-avions léger, le *Princeton*, deux porte-avions d'escorte, trois destroyers et quelques autres navires de moindre importance.

### Les résultats de la bataille des Philippines

Dans l'état où se trouvait la flotte japonaise au début d'octobre 1944, les pertes relatives plus haut sont un véritable désastre.

Si la marine américaine annonce régulièrement les lancements, et même quelquefois les entrées en service, de ses nouveaux grands bâtiments, la marine japonaise a toujours été, depuis une dizaine d'années, d'une discrétion extraordinaire. Ce silence cachait-il quelques escadres de croiseurs de bataille ou de porte-avions construits dans des délais records pour remplacer les pertes graves subies depuis 1941? Ces pertes mêmes, que nous ne connaissions que par des communiqués américains entièrement contredits par les communiqués japonais, étaient-elles bien exactes? Une opération de l'envergure de celle des Philippines fait à la fois la démonstration de cette exactitude et de l'incapacité totale des arsenaux japonais, écrasés sous le poids des réparations de bâtiments de guerre avariés, et obligés de laisser à la flotte marchande, aussi touchée que la flotte de guerre, ses moyens d'entretien et de reconstruction, à accepter cette très lourde tâche supplémentaire que serait la mise en chantier de nouveaux grands bâtiments de guerre destinés à entrer en service avant l'effondrement total.

Dans son communiqué récapitulatif, l'amiral Chester Nimitz s'est borné à donner une énumération, non limitative, des cinq cuirassés rescapés de Pearl-Harbor et de quelques nouveaux porte-avions qui participèrent aux opérations. Mais il est bien évident qu'un débarquement aussi important que celui des Philippines, qui obligeait moralement la flotte japonaise à une réaction, n'avait pas été entrepris sans l'appui des unités les plus modernes de la flotte américaine, réunies en nombre tel qu'aucun échec ne fût à craindre.

Inversement, le commandement naval japonais, tenu, au moins en gros, par son aviation de

reconnaissance, au courant de la composition de cette flotte, ne pouvait moins faire, une fois l'intervention décidée, que de lui opposer la sienne au complet. Les cuirassés qu'il a présentés aux Philippines sont l'ensemble de ses navires de ligne disponibles; il n'a pas, aux Kouriles ou en Birmanie, quelques autres escadres de ligne qu'il se réserverait d'engager à un moment plus opportun. S'il n'a pu faire accompagner par aucun

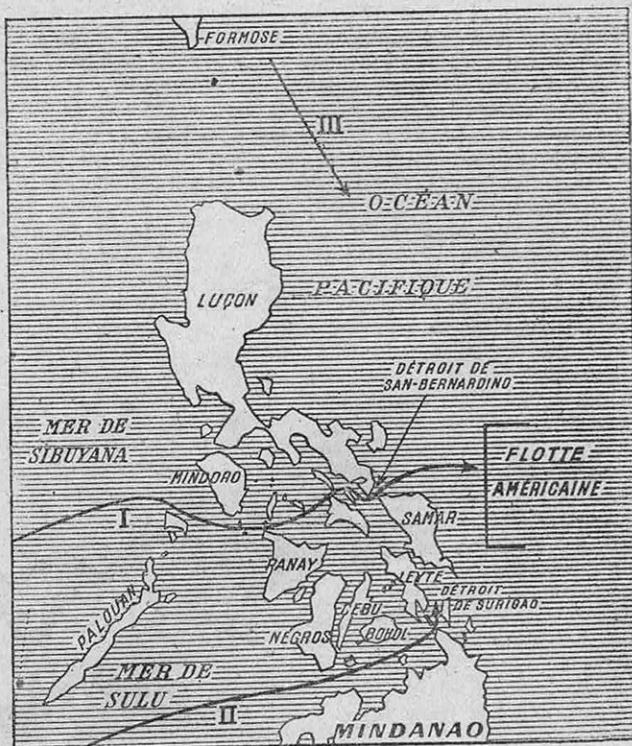


FIG. 2. — LA BATAILLE DES PHILIPPINES

La première formation japonaise, découverte dans la région nord de Singapour, fut attaquée par l'aviation américaine en mer de Sibuyana; elle parvint néanmoins à franchir le détroit de San Bernardino et fut repoussée sous l'action combinée de la flotte et de l'aviation américaines. La deuxième formation japonaise, découverte également au nord de Singapour, fut attaquée par l'aviation en mer de Sulu et ne réussit pas à venir au contact de la flotte américaine à travers le détroit de Surigao. La troisième formation japonaise, découverte à 320 km au nord de Luçon, fut attaquée le jour suivant et dispersée par l'aviation avant d'être venue au contact de la flotte américaine.

porte-avions ses cuirassés partis de Singapour, si un seul *Zuikaku* et trois porte-avions légers sont venus du nord, si les deux vieux cuirassés de la classe *Ise*, du programme de 1914, ont été munis d'un pont d'envol, c'est simplement parce que la marine japonaise n'en a pas d'autres à opposer à l'énorme flotte américaine de porte-avions grands, moyens et petits, dont la bataille des Philippines affirme une fois de plus la maîtrise.

Si l'on persiste à juger les marines sur le nombre et la valeur de leurs navires de ligne, « épine dorsale d'une flotte », disaient naguère les augures, les trois cuirassés japonais coulés ou gravement endommagés sont une perte sérieuse.

L'affaire de Pearl-Harbor n'avait coûté à la marine américaine que l'indisponibilité temporaire



de moins de la moitié des dix-sept à dix-huit navires de ligne qu'elle avait alors en service ou en essais. Encore les navires mis hors de combat n'étaient-ils que les plus anciens. Renforcée par ses constructions nouvelles, elle peut opposer aujourd'hui à son adversaire du Pacifique plus d'une vingtaine de bâtiments de ligne dont sept achevés depuis deux à trois ans, porteurs d'une artillerie de 406 mm, et aussi protégés qu'un navire peut l'être contre les armes variées qui le menacent.

Au contraire, sur les treize navires de ligne que la flotte japonaise avait en service ou en

Si l'on préfère juger une flotte sur ses porte-avions et ses croiseurs, les treize navires de ces deux types coulés et les cinq gravement endommagés, sur les vingt et un qui prirent part à la bataille des Philippines, sont une perte encore plus sérieuse. Les derniers défenseurs du navire de ligne ne le conçoivent plus que se déplaçant à l'abri d'une puissante escorte de bâtiments plus légers et d'avions. Réduite à son épine dorsale, sans mains et sans pieds, sans bras et sans jambes, la marine japonaise ne sera guère à craindre.

A vrai dire, il y a longtemps qu'elle n'était

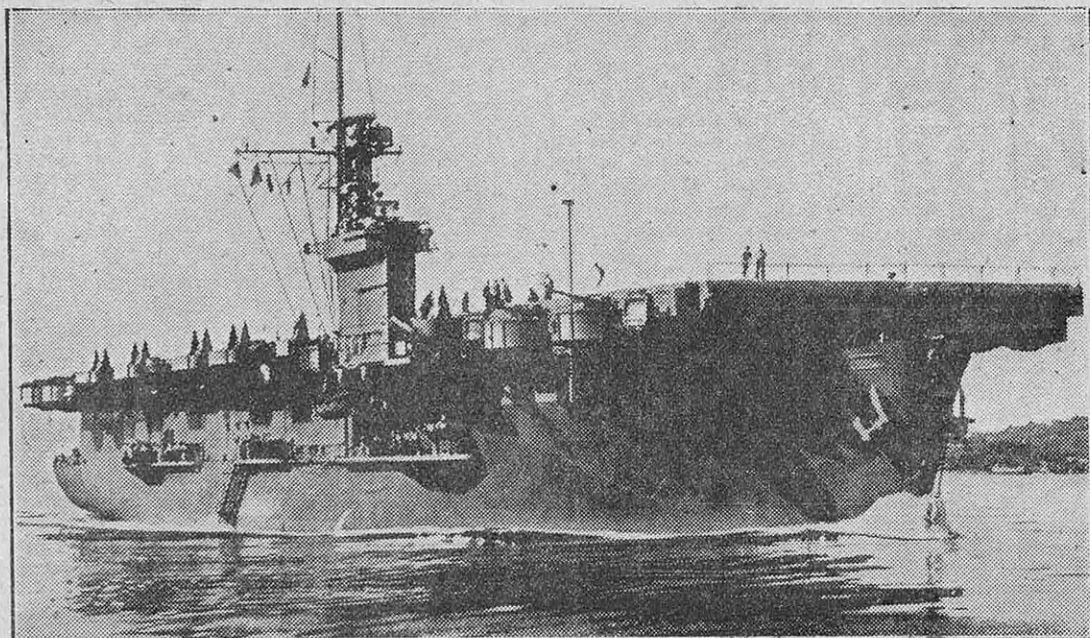


FIG. 3. — UN PORTE-AVIONS D'ESCORTE AMÉRICAIN DE LA CLASSE « CASABLANCA »

Ces porte-avions d'escorte sont du plus récent modèle américain, qui a commencé à être produit dès 1943, et formaient une partie des quarante porte-avions construits cette année-là. Ils ont succédé aux premiers porte-avions d'escorte, aménagés rapidement à partir de coques de navires marchands, qui avaient cependant remporté de brillants succès comme escorteurs de convois et aux Aléoutiennes. Bien que les caractéristiques des Casablanca n'aient pas été publiées, on note aisément sur la photographie l'extrême exigüité de la plate-forme d'envol et la faiblesse du déplacement, qui apparaissent à l'échelle donnée par les hommes d'équipage; la puissance de l'artillerie de D.C.A.; la vitesse élevée liée aux formes effilées de l'avant qui sont indispensables sur les bateaux courts rapides. La vitesse modérée des porte-avions légers japonais, construits comme les premiers porte-avions d'escorte américains à partir de coques de navires marchands, était une gêne sérieuse aussi bien pour les avions (décollage et atterrissage) que pour les opérations en liaison avec des forces navales à grande vitesse. (W.O.I.)

construction fin 1941, très probablement réduits, en octobre 1944, aux neuf qu'elle a présentés aux Philippines, il ne lui en reste que six ou sept, dont plusieurs réclameront certainement un long séjour dans ses arsenaux. Encore faut-il observer que la valeur moyenne de ces bâtiments est très inférieure à celle de leurs adversaires américains. Les deux plus anciens, les croiseurs de bataille type *Kongo*, ne portent qu'une ceinture de 203 mm qui ne leur permet guère de faire figure dans un combat entre escadres de ligne. Les seuls bâtiments modernes, les *Yamato*, ne sont qu'au nombre de trois contre huit américains. La valeur de « l'épine dorsale » de la flotte japonaise peut donc être estimée aujourd'hui entre le quart et le cinquième de celle de la flotte américaine, ou entre la moitié et le tiers de celle dont la Grande-Bretagne vient d'annoncer l'envoi dans les eaux d'Extrême-Orient.

plus dangereuse pour son adversaire principal, et si l'amiral Chester Nimitz, en bon marin, a produit avec satisfaction le bilan détaillé des cuirassés et porte-avions, croiseurs lourds et croiseurs légers, destroyers de gros et de petit tonnage, coulés ou endommagés par les forces qu'il commande, il n'a pas manqué non plus, dans son allocution radiodiffusée du 30 octobre, de passer en revue les conséquences stratégiques de son succès.

Dorénavant, a-t-il dit, les troupes américaines se trouveront au centre de la ligne principale de ravitaillement du Japon, le coupant de ses sources principales ou exclusives de pétrole, de caoutchouc, et de beaucoup d'autres produits indispensables ou utiles à la conduite de la guerre. La flotte américaine du Pacifique trouvera aux Philippines des bases navales beaucoup plus convenables à la conduite de ses opérations que les

Marshall ou les Mariannes. L'aviation américaine enfin, surtout depuis l'entrée en service de ses « Superfortresses », régnera en maîtresse dans toute la zone occupée par l'adversaire, des Indes néerlandaises aux îles sud du Japon, en passant par la mer de Chine et les côtes du continent asiatique.

Il est bien certain que la situation du Japon ainsi coupé des mers du Sud est plus désespérée que jamais. On s'explique que, pour la première fois, toute la flotte japonaise ait été engagée, et que l'attaque ait été poussée à fond malgré les pertes graves subies au cours de la manœuvre d'approche.

La flotte marchande japonaise a subi de telles pertes qu'elle était déjà absolument incapable d'assurer le minimum de transports réclamés par l'utilisation militaire de la « sphère de prospérité de la grande Asie ». Sous les coups conjugués de la flotte de surface, des sous-marins et de l'aviation basée aux Philippines, les restes de cette flotte devront cesser leur activité entre les mers du Sud et la métropole. Ils pourront quelque temps encore échanger entre le Japon, la Corée, le Manchoukouo et la Chine du nord, le soja contre le riz, le saumon contre les nids d'hirondelle, et, des Moluques en Birmanie, le caoutchouc contre le pétrole, le sucre contre l'huile de palme. Mais caoutchouc, pétrole, sucre et huile qui font tant besoin aux dizaines de millions de travailleurs mobilisés pour l'effort de guerre du Japon, ne pourront plus traverser

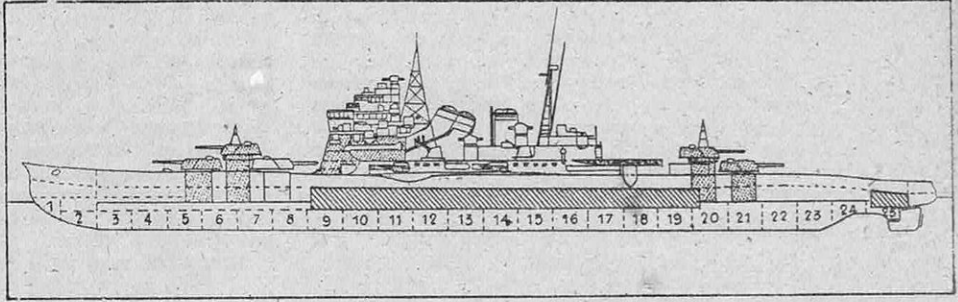


FIG. 5. — UN CROISEUR LOURD JAPONAIS

On note sur ce schéma de l'Atago, le plus récent type de croiseur lourd japonais, que la cuirasse de ceinture ne s'étend que sur la longueur de l'appareil propulsif et non dans la région des soutes à munitions. Cette solution, habituelle sur tous les croiseurs japonais, n'avait plus été admise dans les autres marines, qui n'étaient cependant pas toujours difficiles quant à la protection de leurs croiseurs et qui avaient fini par étendre la cuirasse de ceinture à la région des tourelles. L'insuffisance de la cuirasse de ceinture japonaise explique le chavirement de nombreux croiseurs lourds et légers aux Philippines.

la mer de Chine. Il faudra renvoyer le paysan à son champ et le coolie à son pousse, faute de pouvoir le nourrir ou approvisionner son camion en essence avec les tributs en nature levés dans les conquêtes de 1942.

### La protection du croiseur

Sur beaucoup de points, la bataille des Philippines ne fait qu'apporter des confirmations toujours utiles à des résultats déjà connus. La résistance du croiseur à la bombe et à la torpille d'avions est un de ceux-là.

On savait, depuis que l'aviation japonaise nous l'avait appris en coulant au large de la presqu'île de Malacca le *Repulse* et le *Prince of Wales*, qu'aucun navire, même de ligne, même récent, n'était à l'abri de l'aviation. On savait également d'après l'expérience du *Bismarck* dans l'Atlantique (1), confirmée par celle du *Tirpitz* dans les eaux de Norvège, qu'un navire de ligne convenablement protégé n'est cependant pas aisé à couler. Faute de connaître le type des cuirassés japonais perdus, on ne peut affirmer que les trois plus récents, les *Yamato* de 43 000 tonnes, figurent parmi ceux qui ont pu échapper au désastre; c'est cependant probable. En tout cas, le cuirassé de la classe *Ise* qui a pu encaisser deux à quatre torpilles et de nombreuses bombes, et qui n'est cependant considéré que comme « gravement endommagé », a fait preuve d'une résistance digne d'être notée.

Par contre, les mêmes éloges ne peuvent être faits à l'ensemble des autres bâtiments, et spécialement aux quatre porte-avions, tous coulés, et aux dix-neuf croiseurs lourds et légers dont neuf ont été coulés et cinq gravement endommagés ou peut-être coulés. Si les porte-avions japonais avaient déjà connu un tel sort, notamment à Midway, jamais les croiseurs n'avaient subi pareil désastre.

On savait que la stabilité, ultime protection contre toutes les armes présentes ou futures, n'était pas une qualité dominante des navires japonais. Il ne s'agissait même pas de stabilité après avaries de combat, mais bien de la stabilité du navire intact, dont certains accidents d'avant-guerre avait montré l'insuffisance. Elle se

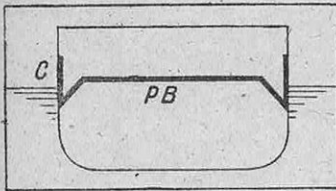


FIG. 4. — LA PROTECTION DES CROISEURS

Un croiseur est généralement protégé, sur une grande partie de sa longueur, par un pont blindé PB, qui s'abaisse en abord au-dessous de la flottaison normale, pour empêcher la pénétration

dans le navire des coups voisins de la flottaison, et qui se relève au centre, à la fois pour augmenter le volume protégé (question de flottabilité après avaries de combat) et pour faciliter l'aménagement des grands compartiments de machines, chaufferies, soutes à munitions, sur des navires de tirant d'eau assez faible. Cette protection est doublée, sur une partie de la longueur seulement, par une cuirasse de ceinture C, qui ajoute son effet à celui du pont blindé, et qui joue un rôle essentiel dans la protection de la stabilité après avaries de combat. Les coups reçus, notamment dans les extrémités non protégées, ont tôt fait d'augmenter l'immersion du pont blindé et de faire prendre de la bande au navire. L'eau pénètre au-dessus du pont blindé par les brèches faites dans la région non protégée par la ceinture et réduit dangereusement la stabilité, même si les compartiments sous pont blindé ont conservé leur flottabilité. Le navire peut ainsi chavirer avec un pont blindé intact.

(1) Voir : « La fin du Hood et du Bismarck » (*Science et Vie*, n° 287, juillet 1941, p. 1).

révélaient, sur tous les grands bâtiments, à leur faible largeur qui réduit la stabilité de forme, et à l'importance et l'élévation de leur artillerie principale et de leur superstructures, qui accentuent l'instabilité de poids. Des largeurs de 15,5 m pour des croiseurs de 7 100 tonnes tels que les *Aoba*, de 19 m pour des croiseurs de 10 000 tonnes tels que les *Nati*, classaient ces bâtiments parmi les plus inaptes qui fussent au maintien à flot après l'envahissement de quelques grands compartiments. La marine japonaise aurait été

de la stabilité après avaries de combat, ne s'étendait que sur la longueur de l'appareil propulsif, soit à peine plus du tiers de la longueur du navire. Parmi les autres marines, les moins soucieuses de la protection de leurs croiseurs avaient fini par comprendre qu'il était indispensable, du point de vue stabilité, d'étendre la cuirasse de ceinture, lorsqu'elles consentaient le sacrifice d'en mettre une, jusqu'aux tranches de soutes à munitions inclusivement; la longueur protégée, si rapprochées que fussent les tourelles

extrêmes, ne descendait pas au-dessous de la moitié de la longueur totale. La marine allemande, qu'il faut malheureusement toujours donner en exemple en matière de protection du navire, avait même, sur ses *Deutschland* et ses *Königsberg*, fait déborder largement la cuirasse de ceinture au delà des tourelles extrêmes, cependant assez éloignées.

La marine japonaise, et beaucoup d'autres, avaient pareillement négligé un autre facteur de stabilité qui n'apparaît pas, comme le précédent, sur les photographies ou les schémas d'annuaires navals, mais qui n'en a pas moins d'importance. Ce qui intervient dans l'évaluation de la stabilité après avaries de combat, c'est non seulement la fraction de longueur protégée, mais encore la fraction du volume de carène protégée. Pour une même longueur relative du caisson de protection, le volume protégé n'est pas le même sur un

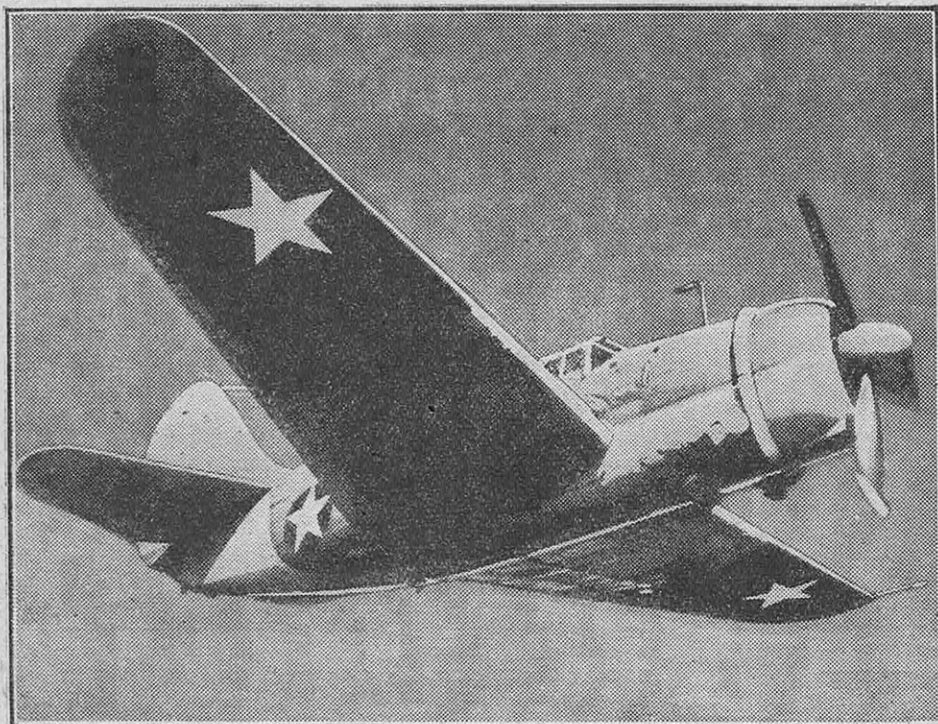


FIG. 6. — LE CURTISS « HELLDIVER », BOMBARDIER EN PIQUÉ DE LA MARINE AMÉRICAINE.

Le « Helldiver », sous la forme donnée par la photographie, est le plus récent type de bombardier en piqué américain. C'est, d'après les communiqués de l'amiral Nimitz, celui qui a été employé aux Philippines. On notera la forme du fuselage, en vue du logement à l'intérieur d'une bombe de gros calibre. Il est équipé d'un moteur Wright « Cyclone 14 » de 1 700 ch et est armé de deux mitrailleuses fixes tirant à travers l'hélice et d'une mitrailleuse mobile tirant vers l'arrière. (O.W.I.)

bien inspirée de prendre modèle, sur ce point, sur son futur partenaire de l'Axe, qui donnait 21,7 m de largeur à des bâtiments de 10 000 tonnes comme les *Deutschland* et les *Prinz Eugen*, ou 36 m à un *Bismarck* et à un *Tirpitz*, quand un *Prince of Wales* n'avait que 31,4 m pour le même déplacement.

La stabilité après avaries de combat des navires allemands s'explique d'ailleurs non seulement par leur largeur, mais par d'autres caractéristiques auxquelles la marine japonaise n'avait pas porté plus d'attention que la plupart des autres. On a coutume de juger la valeur de la protection d'un navire à l'échantillon de sa cuirasse de ceinture ou de ses ponts blindés, sans s'inquiéter de la longueur respective du caisson ainsi protégé et des extrémités décuirassées. Appréciés de la sorte, les croiseurs japonais se classaient parmi les mieux protégés. Mais la cuirasse de ceinture, qui est un élément essentiel

bâtiment aux extrémités très fines, et sur un bâtiment se rapprochant davantage d'une forme cylindrique. Cet affinement des extrémités, qui ne maintient hors de la partie protégée qu'une fraction très faible du volume de carène, s'observait aisément au bassin sur les grands bâtiments allemands livrés aux Alliés en 1919. Il se répercute d'ailleurs sur les formes générales du navire et apparaît nettement, par comparaison avec les formes courantes, sur les vues à la verticale. Les dernières photographies du *Tirpitz* dans les fiords de Norvège qu'a publiées la presse britannique sont caractéristiques à cet égard.

Les croiseurs de la marine japonaise auront été, comme tant d'autres grands bâtiments qui ont assez mal résisté aux projectiles, aux bombes ou aux torpilles, les victimes de cette politique qui ne s'intéresse aux caractéristiques et aux performances des navires de guerre que dans la mesure où elles peuvent se traduire par un

chiffre sur les annuaires. Les croiseurs japonais n'avaient-ils pas été les premiers, et souvent les seuls, à porter 10 pièces de 203 mm pour un déplacement de 10 000 tonnes et 15 pièces de 155 mm pour 8 500 tonnes? Joignez-y une ceinture de 100 mm et plus, un pont blindé de 75 mm, la vitesse très honorable que pouvaient imprimer 120 000 ch à des coques de 195 m, et vous avez, sur le papier, une flotte de croiseurs ne le cédant à aucune autre qui aurait accepté de sacrifier un tel résultat en répartissant le poids affecté à la ceinture cuirassée sur une plus grande longueur, ou de diminuer la vitesse par le choix d'une largeur plus élevée, et l'affinement des extrémités au delà de la valeur optimum pour la résistance à l'avancement. Quelques bombes et torpilles d'avons auront suffi à faire justice de cette méthode.

Les très graves pertes infligées à la flotte japonaise ont été l'œuvre combinée des navires de surface, des sous-marins et de l'aviation navale américaine, à laquelle l'aviation de l'armée a même un instant apporté son concours.

### La part du navire et celle de l'avion

Jusqu'ici, les grandes batailles navales du Pacifique avaient pris, depuis la mer de Corail et Midway, la forme commune d'une rencontre entre deux formations à très grande distance qui ne s'apercevaient et ne se portaient des coups que par leur aviation embarquée. Le résultat avait été aussi brillant qu'aux Philippines, si on le rapporte au nombre des navires engagés. C'est ainsi que la flotte japonaise perdit quelques cuirassés, qui n'intervenaient guère dans ces rencontres, la presque totalité de ses grands porte-avions, et un nombre important de croiseurs et de bâtiments légers.

Il aurait été parfaitement normal, de la part de la marine américaine, que cette tactique fût préméditée. Une bonne part de ses navires de ligne venaient d'être mis hors de combat pour longtemps; elle pouvait juger préférable de ne pas engager les autres, et de profiter de sa supériorité numérique et qualitative en porte-avions et en aviation embarquée pour user la flotte japonaise jusqu'à la rentrée en service des navires de ligne endommagés à Pearl-Harbor, et à l'achèvement de l'énorme programme de bâtiments neufs alors en construction. Mais, pour se battre, il faut être deux, dans le Pacifique surtout où celui des adversaires qui se main-

tient à 500 ou 1 000 km de l'autre, en se repliant sur ses bases dès que la poursuite est entamée, ne court aucun risque d'être rejoint. Or, il ne semble pas qu'à aucun moment les cuirassés japonais aient offert le combat à ce qui restait en service des cuirassés américains.

Aux Philippines, la situation était différente. L'attaque japonaise ne se limitait pas à une force de porte-avions lâchant ses appareils à quelques centaines de kilomètres de l'objectif, pour une excellente raison qui était la perte

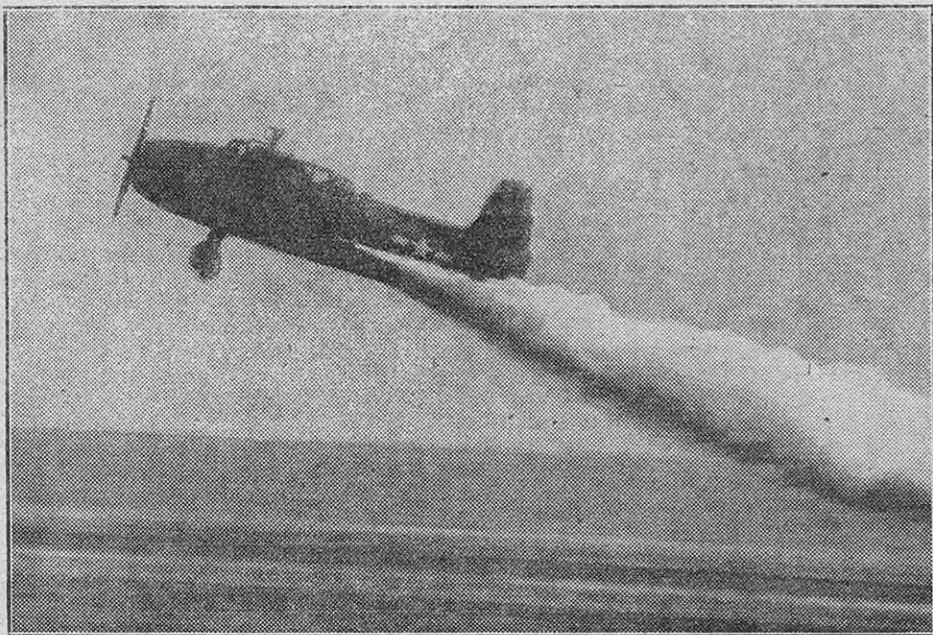


FIG. 7. — DÉCOLLAGE D'UN AVION TORPILLEUR GRUMMAN « AVENGER » AU MOYEN DE FUSÉES

L'avion torpilleur Grumman « Avenger » décolle avec l'aide de quatre fusées, de 330 ch chacune, qui permettent le départ sur courte distance, par exemple sur porte-avions d'escorte, de l'appareil très chargé. On notera le cabré très accentué au décollage, qui n'est possible que sur les appareils très peu chargés au mètre carré ou au cheval, ce qui n'est pas le cas de l'« Avenger » sans fusées. L'avantage du cabré, pendant la durée d'action de la fusée, est de faire prendre immédiatement de la hauteur; le pilote passe ensuite en vol horizontal ou piqué léger pour compléter sa vitesse. (O.W.I.)

de la presque totalité de ces porte-avions dans les rencontres précédentes. Mais une deuxième raison obligeait la marine japonaise à engager ses cuirassés, et à les engager à fond. Sa flotte de ligne, maintenue à l'arrière, avait peu souffert jusqu'ici. L'opinion publique, impressionnée par un an d'avances américaines ininterrompues vers le cœur de l'empire, ne pouvait admettre l'inaction de neuf de ses plus grands navires, pendant que se consolidait aux Philippines l'installation de l'armée américaine. Les cuirassés japonais ont été lancés dans la bataille, et jusqu'au contact de la flotte adverse, comme le prouvent les traversées ou tentatives de traversée des passages intérieurs de l'archipel.

L'amiral Nimitz avait donc pour la première fois le choix entier de sa riposte. Il pouvait se porter au-devant de telle ou telle des formations que l'adversaire dirigeait sur Samar, ou les attendre; il pouvait réserver la part qu'il jugeait la plus opportune à l'action des diverses forces placées sous ses ordres. On comprend d'ailleurs très bien que, même disposant d'une aviation

surabondante pour repousser les tentatives japonaises, il ait voulu répartir la tâche entre celle-ci et la puissante flotte de surface et sous-marine que les Etats Unis entretiennent et accroissent depuis trois ans.

Quoi qu'il en soit, la part de l'aviation américaine embarquée, partout où elle a été engagée, apparaît prépondérante. Le communiqué récapitulatif de l'amiral Nimitz ne permet de la pré-

### La chasse embarquée

Ni les bombardiers en piqué, ni les avions torpilleurs, les Curtiss « Helldiver » et les Grumman « Avenger », n'auraient pu remplir leur mission d'attaque si la chasse des porte-avions ne les avait escortés au-dessus de leurs objectifs. Les navires de surface américains n'auraient pas mieux repoussé, avec leur artillerie, les bombardiers et torpilleurs japonais, si la même aviation de chasse ne leur avait interdit l'approche, à eux et à leur escorte. La maîtrise de la mer est, de plus en plus, une question de maîtrise de l'air, donc de supériorité de la chasse dans la zone contestée.

Ce n'est pas là une nouveauté. La première démonstration en a été donnée au cours de la campagne de Crète (1), lorsque la R. A. F. ayant été privée de ses terrains, la « Royal Navy » dut se replier avec elle sur Alexandrie. Le succès de l'aviation japonaise sur le *Prince of Wales* et le *Rapulse*, qui avaient négligé de se faire accompagner par la chasse, fut une réédition de cette même démonstration. Quelques mois plus tard, dans un secteur où la « Luftwaffe » était cependant très inférieure à son adversaire, elle faisait la contre-épreuve par une concentration temporaire de chasse sur le Pas de Calais, qui permettait au *Scharnhorst*, au *Gnei-*

*senau* et au *Prinz Eugen* de rentrer de Brest en Allemagne.

Ce qui est nouveau dans la bataille aéronavale des Philippines, c'est la supériorité écrasante de la chasse américaine embarquée sur la chasse japonaise basée à terre; les événements se déroulèrent en effet de telle façon que les appareils des porte-avions japonais, en cours de ravitaillement à terre, n'intervinrent guère.

Pendant longtemps, la chasse embarquée avait été surclassée très nettement par la chasse terrestre. La preuve en avait été faite notamment à Kirkenès où les appareils d'un porte-avions britannique subirent de très grosses pertes au cours d'une attaque de navires au port. Les porte-avions d'escorte des convois britanniques qui ravitaillaient Malte eurent toujours, de ce fait, une tâche très difficile; cependant ils pou-

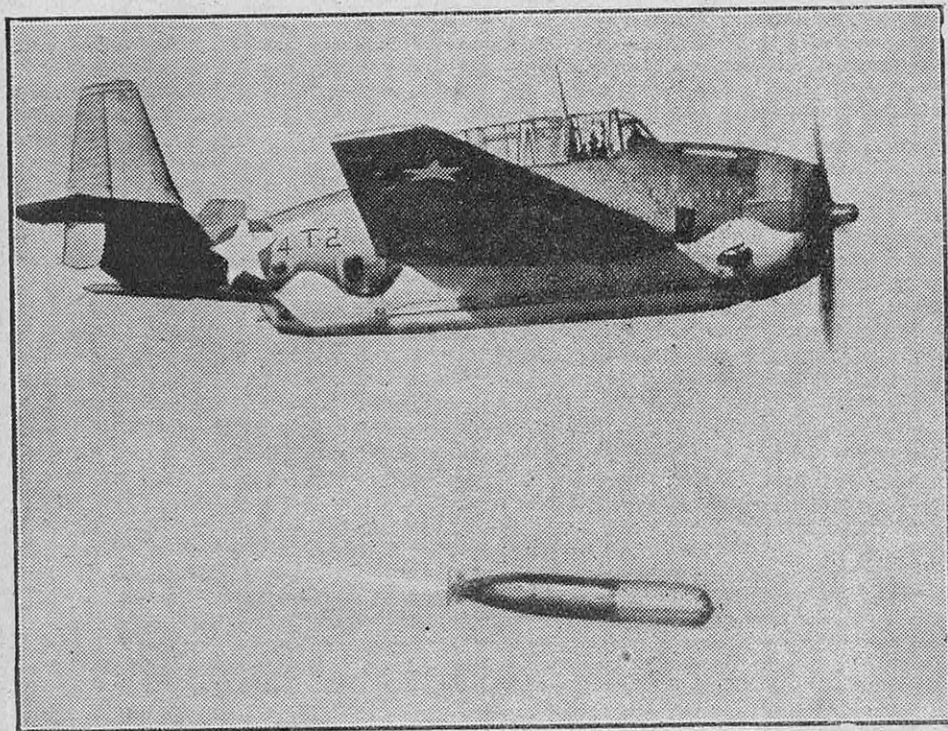


FIG. 8. — UN GRUMMAN « AVENGER », AVEC TORPILLE EN FUSELAGE, VIENT DE LA LANCER

Le Grumman « Avenger » est un avion torpilleur équipé d'un moteur à refroidissement à air de 1 600 ch au décollage, Wright « Cyclone 14 ». Il peut emporter une bombe de 1 000 kg ou une torpille de 533 mm dans le fuselage. Il est armé de deux mitrailleuses à l'avant du fuselage, synchronisées pour le tir à travers l'hélice, d'une mitrailleuse mobile au poste inférieur arrière et de deux mitrailleuses dans une coupole pivotante sur le dos du fuselage. Son équipage se compose de trois ou quatre hommes. Sa vitesse maximum est de 430 km/h. (O.W.I.)

ciser que pour les opérations dirigées contre l'escadre japonaise venant du Nord et attaquée au large de Luçon par plusieurs groupes de porte-avions de la troisième flotte. Sur les dix-sept navires japonais attaqués, six furent coulés à la fois par les navires et les avions américains. Un croiseur léger seulement est signalé comme coulé par la seule action des unités de surface; trois porte-avions, dont le plus gros, ont été coulés par la seule action des avions. Un porte-avions, immobilisé par les avions, a été achevé au canon; un destroyer, touché également par les avions, a été achevé par un sous-marin. Les neuf autres navires, simplement endommagés, ont été touchés à la fois par l'aviation et les navires de surface. L'escadre japonaise dut faire demi-tour avant de rejoindre les deux autres; elle ne fut d'ailleurs pas poursuivie, les porte-avions américains ayant été rappelés pour intervenir dans le combat contre les deux autres escadres japonaises.

(1) Voir : « La bataille de Crète » (*Science et Vie*, n° 287, juillet 1941, p. 23).

vaient compter sur l'aviation de Malte, pendant la dernière partie de leur parcours, pour les protéger contre l'aviation germano-italienne de Sicile.

C'est à l'aviation japonaise que revient le mérite d'avoir montré que la vieille tradition navale, qui imposait aux chasseurs embarqués des exigences telles que leurs performances s'en ressentaient gravement, n'avait aucun fondement sérieux. Le même appareil pouvait indifféremment servir à terre et à bord. En 1941 et 1942, les chasseurs « Double Zéro » ouvrirent triomphalement la route des mers et des archipels du Sud aussi bien aux escadres qu'aux armées japonaises.

Si l'idée était incontestablement nouvelle, la

tative américaine était d'autant plus méritoire que les « Hellcat » et les « Thunderbolt » sont beaucoup plus chargés au mètre carré que les « Seafire » et les « Spitfire », eux-mêmes plus chargés que les « Double Zéro ».

C'est seulement aux Philippines que les Grumman « Hellcat » ont montré, indiscutablement, leur supériorité écrasante sur leurs adversaires japonais, améliorés d'ailleurs dans l'intervalle. Les précédents débarquements américains avaient eu lieu dans les archipels où la défense aérienne japonaise, très dispersée, n'avait pu opposer d'effectifs importants aux très grosses concentrations aéronavales américaines. Quelques bombardements de terrains avaient suffi à réduire la résistance.

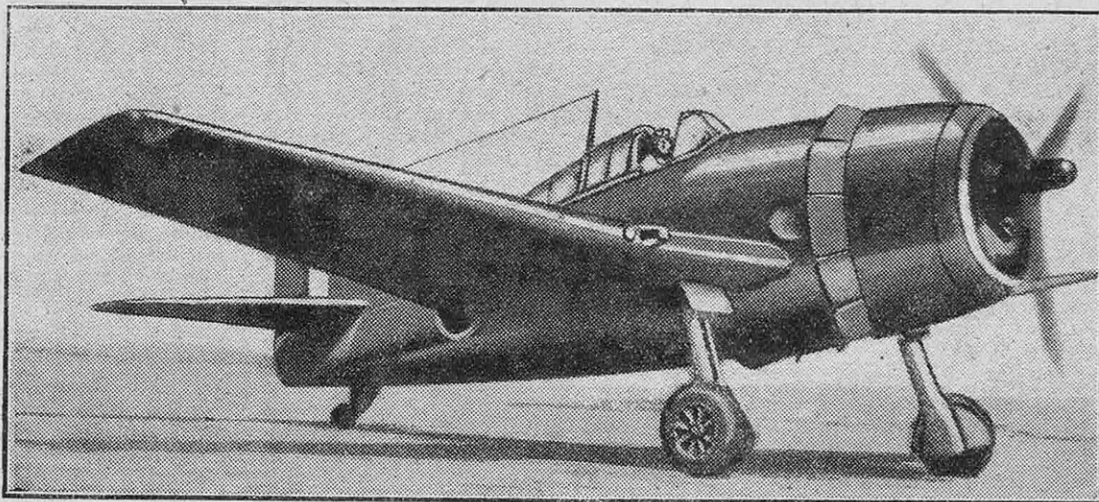


FIG. 9. — LE CHASSEUR MONOPLANE AMÉRICAIN POUR PORTE-AVIONS GRUMMAN F 6-F « HELLCAT »

Ce chasseur est équipé d'un moteur à refroidissement à air Pratt et Whitney « Double Wasp » développant 2 000 ch et lui donnant une vitesse maximum de 640 km/h. Son armement comporte des mitrailleuses lourdes de 12,7 mm et des canons de 20 mm.

réalisation péchait sur un point essentiel. L'aviation japonaise avait bien unifié sa chasse terrestre et sa chasse embarquée, mais sur la base des caractéristiques habituellement imposées à cette dernière. Les « Double Zéro » étaient des appareils de faible puissance, à faible charge alaire de 100 kg/m<sup>2</sup>. Leurs succès n'étaient pas dus à leurs performances, mais bien à la carence presque absolue des aviations alliées dans le Pacifique, et à la destruction par surprise, sur leurs terrains, des faibles effectifs qu'elles y entretenaient. Dès qu'elles purent amener en Nouvelle-Guinée et en Birmanie les chasseurs terrestres et les bombardiers quadrimoteurs et bimoteurs en service sur les autres théâtres d'opérations, la prétendue supériorité des « Double Zéro » s'effondra.

Il était réservé aux marines britannique et américaine de reprendre l'idée japonaise, mais avec des appareils qui fussent vraiment de la classe des meilleurs chasseurs terrestres. La marine britannique accepta, la première, une version navale du Vickers Supermarine « Spitfire », le « Seafire », aux performances très voisines. La marine américaine suivit, avec ses Grumman « Hellcat » à moteur de 2 000 ch et qui peuvent être considérés comme une transposition, pour la chasse embarquée, des Republic « Thunderbolt » à moteur de même puissance. La ten-

La situation n'était pas la même aux Philippines. La surface totale de l'archipel est hors de toute proportion avec celle des Gilbert, des Marshall, des Mariannes. L'aviation qui y était basée était certainement en rapport avec l'armée qu'elle appuyait, dont on évaluait les effectifs à environ 500 000 hommes. Les terrains étaient nombreux, et n'avaient pu être tous détruits. Des Indes Néerlandaises à la Chine du Sud et à Formose, il est certain que toute l'aviation terrestre disponible avait dû être dirigée sur les Philippines, pour soutenir l'action de la flotte. C'est uniquement sur une aviation terrestre que pouvaient compter les deux escadres venues de Singapour.

Les Grumman « Hellcat » ont nettement surclassé leurs adversaires. Ils ont pu escorter bombardiers et torpilleurs amis, repousser bombardiers et torpilleurs adverses, en ne perdant qu'un appareil contre cinq au cours des combats.

« Un avion, et tout est sauvé », disait-on quelquefois au cours de la précédente guerre. Cette formule elliptique visait à soutenir qu'avec un type de chasseur, de classe nettement supérieure à celle de l'adversaire, les aviations de chasse, de bombardement, d'observation, d'intervention au sol... de l'ennemi étaient condamnées à l'impuissance, quels que fussent leurs effectifs. C'est actuellement ce qui arrive à l'aviation japo-

naise, mais on n'aurait certainement pas supposé, il y a trente ans, que cette infériorité aérienne aboutirait par surcroît à l'effondrement de la puissance terrestre et navale d'un Empire qui commande aujourd'hui à près de cinq cent millions d'hommes. Tel est l'un des inconvénients qu'il y a à ne pas savoir faire un moteur d'avion de 2 000 ch.

### Vers le chasseur-bombardier naval

Il aura fallu trente ans aux marines pour se décider à embarquer sur un navire le même appareil que les armées destinaient à leurs missions de chasse. Ne croyons pas que le problème se soit simplifié dans l'intervalle. Des premiers Morane et Fokker de 1915, de quelques centaines de kilogrammes, au moteur d'une centaine de chevaux, jusqu'à leurs successeurs, dix fois plus lourds, au moteur vingt fois plus puissant, qui décollent ou atterrissent à une vitesse supérieure à la vitesse maximum des premiers, le « progrès » n'aura pas joué pour aider à l'introduction à bord du chasseur terrestre. Des croiseurs de bataille transformés qui offraient aux joujoux aériens d'autrefois leurs plates-formes de 270 m et leurs 34 nœuds, jusqu'aux porte-avions « d'escorte » ou « légers » qui reçoivent les monstres d'aujourd'hui et ne sont guère que des cargos rapides, le « progrès » du porte-avions n'aura pas davantage facilité l'adaptation.

Aucun exemple n'est plus propre à montrer que les plus importants des progrès militaires n'ont aucune liaison nécessaire avec les progrès techniques.

Il n'y a qu'une dizaine d'années qu'on a proposé la réunion du chasseur et du bombardier, sous la forme du chasseur emportant ses bombes en surcharge (1), en même temps que le remplacement de ces bombes par des engins un peu moins primitifs, plus légers, plus efficaces et qu'on puisse lancer de plus loin. L'aviation terrestre a fini par admettre l'un et l'autre de ces « progrès ». Les Hawker « Typhoon » avec leurs huit bombes-fusées remplacent aujourd'hui avantageusement les « Stukas » de 1939 et leur bombe de 500 kg. Il suffit donc d'un peu de patience pour apprendre qu'on aura accroché, sous la voilure d'un Grumman « Hellcat », les huit engins qui, avec un peu plus de poudre et un peu moins de métal, perforeront aussi bien les ponts, les cuirasses de ceinture et les caissons de protection contre les explosions sous-marines, aboliront la distinction surannée entre la bombe et la torpille, et enverront au fond un cuirassé d'une seule salve.

Camille ROUGERON.

(1) Voir : « Le bombardement de jour avec escorte de chasse et le chasseur bombardier » (*Science et Vie*, n° 294, février 1942, p. 87) et « Du destroyer d'escorte au chasseur-bombardier » (*Science et Vie*, n° 365, janvier 1943, p. 43).

Avec la reprise des relations avec l'Afrique du Nord, le problème de l'équipement agricole de l'Algérie est revenu au premier plan de l'actualité. Cet équipement dépend pour une grande part de l'électrification du pays puisque 71 % de l'énergie produite va à l'agriculture (toute la culture maraîchère et une partie de la culture de la vigne sont à base de pompage dans l'eau du sous-sol) et aux industries connexes, et seulement 16 % à l'éclairage et 13 % à la traction. En 1939, l'Algérie produisait 290 millions de kWh au prix de revient de 0,35 francs le kWh. Il semble que d'ici une dizaine d'années, temps moyen de réalisation d'un programme de grands travaux, cette production doive être au moins doublée. Car, avant la guerre, 14 % seulement de cette énergie était d'origine hydraulique. L'expérience de cette période de quatre années inclinera certainement les techniciens à améliorer le rapport : production hydraulique, production thermique. Comme le fait remarquer M. Weckel dans un rapport remarquablement documenté, « l'équipement thermique d'un pays qui n'a presque pas de ressources charbonnières n'accroît pratiquement pas son potentiel économique, puisque l'élément principal de production lui manque. Au contraire, l'équipement hydro-électrique augmente ce potentiel. C'est un outil que l'on peut léguer intact et sans dépréciation aux générations à venir. » Le projet d'équipement énergétique algérien pour les 10 ans qui vont suivre, prévoit, en dehors de l'achèvement immédiat du programme entamé en 1940, qui doit apporter 46 millions de kWh, la construction d'une première tranche de 5 usines totalisant 41 millions de kWh par an, puis de trois grandes usines (Oued Agrioun, Oued Djendjen, Bou Sellam), produisant chacune plus de 100 millions de kWh et la réalisation des lignes d'interconnexion correspondantes. Un tel programme prévoit la combinaison de la production d'énergie avec l'irrigation d'un territoire de plus de 300 000 hectares (le nouveau développement agricole de l'Algérie, fondé sur les irrigations par canaux, est déjà très avancé dans la plaine du Chélif) ; c'est pourquoi la plupart de ces usines fonctionneront au fil des irrigations et devront être complétées par des usines-tampons thermiques installées dans les grands ports : Alger, Oran, Bône.

## LES APPLICATIONS ET L'AVENIR DES MÉTAUX PULVÉRULENTS

par M. GAUTIER

*Au moyen âge, la technique fondamentale de fabrication du fer reposait sur la réduction, par chauffage avec le charbon de bois, du minerai oxydé et le martelage de la masse spongieuse obtenue pour la rendre compacte. Ce procédé, qui ignorait la fusion du métal, est tombé en désuétude depuis que la métallurgie moderne réalise couramment la coulée de la fonte et de l'acier dans des moules appropriés. Des circonstances particulières ont remis en honneur depuis quelques années le travail des métaux sous leur forme pulvérulente, sans passer par la fusion. Déjà, au milieu du siècle dernier, des objets en platine, telles que des monnaies, pouvaient être obtenus par compression de platine pulvérulent, suivie d'un traitement à haute température. Mais c'est seulement au début du siècle, lorsque le filament de carbone des lampes à incandescence a cédé la place aux filaments à base de métaux difficilement fusibles : osmium, tantale et surtout tungstène, lorsque la diffusion des machines électriques a exigé la fabrication massive de balais (par mélange de charbon ou de graphite avec des poudres métalliques) que la « métallurgie des poudres » a pris une importance véritablement industrielle. Cette importance est allée peu à peu en croissant au fur et à mesure que les progrès de la science et de la technique autorisaient de nouvelles applications, par exemple la réalisation de paliers et de coussinets dont la forme la plus perfectionnée est aujourd'hui celle des coussinets en métal aggloméré poreux autolubrifiant. Une nouvelle étape fut marquée par l'apparition des outils de coupe à base de carbures métalliques, surtout de carbure de tungstène, qui révélait les possibilités insoupçonnées jusqu'alors de la métallurgie des poudres. Elle fut étendue non seulement à la fabrication des aimants permanents, mais même à celle de pièces en cuivre, en nickel ou en fer dotées de qualités que la technique classique de la fonderie est impuissante à fournir. La fabrication de petits objets en fer par simple compression suivie de traitements thermiques permet de réaliser de très importantes économies de matière en supprimant tout déchet, d'énergie en autorisant l'emploi de températures plus basses que celles nécessitées par la fusion, et de main-d'œuvre spécialisée en éliminant la plupart des opérations ultérieures d'usinage.*

**O**N entend par métaux pulvérulents des métaux ou alliages obtenus à un état de division plus ou moins poussé, dont les dimensions peuvent varier depuis celles de la poudre impalpable jusqu'à 0,5 mm environ.

L'utilisation des métaux pulvérulents avait déjà pris une certaine extension au cours des années qui ont précédé la guerre, en particulier en ce qui concerne la protection des peintures et vernis contre l'action destructrice des rayons ultraviolets et certaines applications de la mécanique et de l'électricité. En France en particulier, on consommait, en 1938, 400 t environ de poudre d'aluminium, dont 300 t fabriquées en France, et 250 t de poudres de cuivre seul ou allié, dont 150 t d'importation.

Au fur et à mesure que progressent les techniques spéciales à ce genre de matériau, les emplois de métaux pulvérulents tendent à se développer de plus en plus actuellement, à la fois pour des raisons d'ordre technique, et pour des raisons intimement liées à la pénurie des

matières premières. C'est une nécessité impérieuse en effet de remplacer, dans toute la mesure du possible, les métaux rares par des produits de substitution plus faciles à approvisionner, de réemployer tous les déchets, et de réaliser des économies de main-d'œuvre, de matière et d'énergie.

Au demeurant, l'emploi des métaux pulvérulents s'impose presque complètement lorsqu'on désire obtenir des pièces de formes ou de propriétés qu'il serait difficile, sinon impossible, de réaliser autrement.

Souvent, à égalité de qualité des produits à fabriquer et *a fortiori*, à supériorité de cette qualité, il est plus commode de les obtenir à partir des métaux pulvérulents qu'à partir des métaux massifs par les procédés de fonderie.

Les fabrications à partir de métaux pulvérulents conduisent fréquemment à un bilan général plus économique.

On préférera faire appel aux métaux pulvérulents lorsque, sous réserve de précautions particulières en cours de fabrication, et grâce à



un contrôle serré des pièces, il est possible, comme c'est le cas le plus souvent, d'obtenir, sans usinage supplémentaire, des pièces aux cotes définitives aux tolérances près, d'ailleurs très faibles. Enfin, on passera évidemment par la forme pulvérulente lorsqu'il s'agira d'obtenir les métaux précieux (or, argent) à partir de leurs solutions salines, par voie de déplacement.

Ajoutons que l'emploi des poudres métalliques permet :

— D'assurer, comme nous l'avons dit, une

la forme d'agglomérés par compression avec ou sans liant, traités ou non thermiquement ensuite.

Nous allons exposer les divers modes de fabrications des poudres, réservant pour chaque application particulière la description des procédés de fabrication des agglomérés.

### Comment combattre la combustion spontanée des poudres métalliques

Remarquons tout d'abord que les métaux pulvérulents offrent une surface totale considérable par suite de l'état de division dans lequel ils se trouvent. Pour s'en rendre compte, il suffit de considérer que si l'on divise un cube de 10 mm de côté, ayant une surface latérale de 6 cm<sup>2</sup>, par des plans parallèles aux faces distants de 0,0001 mm, la surface totale latérale de ces cubes devient 600 000 cm<sup>2</sup>, soit 60 m<sup>2</sup>, elle est donc 100 000 fois plus grande que celle du cube primitif.

Cette surface considérable des métaux pulvérulents les rend particulièrement sensibles aux oxydations, et comme celles-ci donnent lieu à un important dégagement de chaleur, il peut arriver que les particules de métal se trouvent, de ce fait, portées au rouge très rapidement : d'où des risques sérieux d'explosion si la quantité d'air en présence correspond sensiblement à l'équation stricte de combustion.

Ce risque se trouve encore accru du fait que, au cours de la fabrication, les particules en cause sont appelées à frotter énergiquement les unes contre les autres et contre les parois des appareils et, par suite, à se charger d'électricité; dans certaines conditions, alors, elles peuvent donner lieu à des étincelles électriques amorçant la combustion.

En fait, des accidents très graves se sont produits dans les débuts de la préparation des métaux pulvérulents, particulièrement en ce qui concerne les poudres d'aluminium et de magnésium qui s'enflamment assez facilement.

On a donc dû prendre un certain nombre de précautions pour y remédier, et en particulier assécher rapidement les poudres humides, mettre à la terre toutes les pièces des installations de fabrication, ne réaliser la partie des opérations qui doit être effectuée à chaud qu'en présence d'un gaz non oxydant ou inerte, enduire enfin d'une matière grasse les particules, ce qui, d'autre part, a pour avantage de les

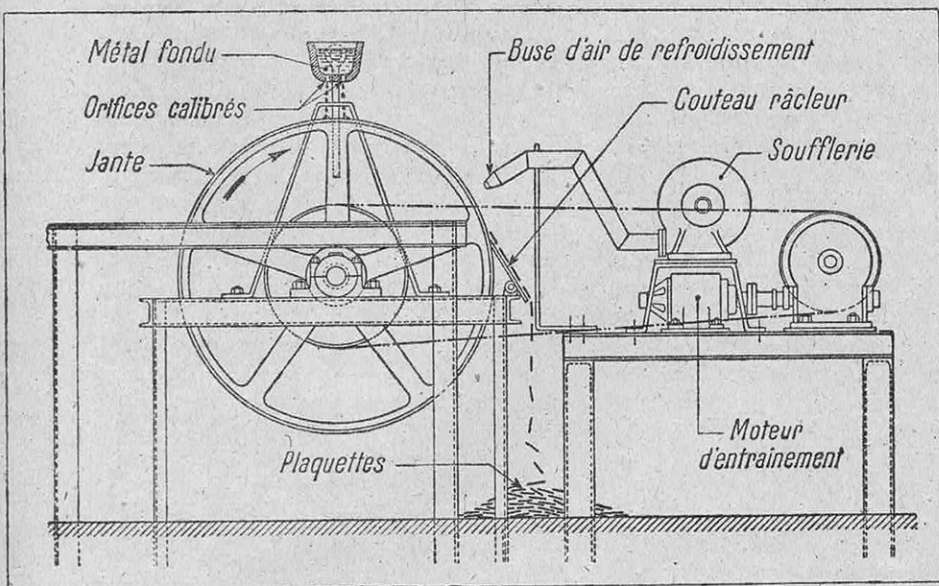


FIG. 1. — MACHINE A COULER LES PLAQUETTES-ÉBAUCHES POUR LA FABRICATION DES POUDRES MÉTALLIQUES

Le métal fondu est versé dans une trémie terminée, à sa partie inférieure, par des orifices calibrés qui débitent sur la jante d'une roue de 1,5 m de diamètre, tournant à faible vitesse (1 tour en 2 minutes). La goutte métallique qui tombe s'écrase au contact de la jante et s'étale en donnant naissance à des plaquettes elliptiques de 15 à 20 mm de large sur 40 à 60 mm de long et 0,5 à 1 mm d'épaisseur. Ces plaquettes se détachent d'elles-mêmes après qu'un vij courant d'air les a refroidies brusquement. Le cas échéant, un couteau râcleur, placé tangentiellement, achève le détachement des plaquettes. On pourrait aussi assurer un écoulement continu du métal et obtenir ainsi une bande assez régulière de métal d'environ 20 mm de largeur qu'on sectionnerait tous les 20 mm. Lorsqu'il s'agit d'un métal peu coulant, on ajoute au bain fondu un peu d'aluminium qui facilite la coulée et protège le métal contre l'oxydation.

protection efficace des peintures et vernis contre les rayons ultraviolets;

— De protéger les métaux oxydables par projection, sur leur surface, d'autres métaux moins oxydables fondus à l'état pulvérulent (métallisation), et, par chauffage au contact des surfaces métalliques, de leur communiquer une certaine dureté (cémentation);

— De procéder à la soudure de bout en bout des rails au moyen de la poudre d'aluminium (aluminothermie);

— De fabriquer certains produits au moyen de procédés catalytiques dans lesquels le métal, à l'état spongieux, demeure inaltéré (mousse de platine, par exemple);

— Enfin de masquer certains objectifs aux yeux de l'ennemi au cours des guerres, au moyen de nuages de fumée provenant de leur combustion incomplète (poudres de zinc).

Les métaux pulvérulents sont utilisés, soit sous leur forme naturelle de poudres, soit sous

rendre brillantes, qualité requise pour les peintures métalliques.

Des précautions complémentaires ont dû être prises ensuite pour assurer une bonne conservation des poudres fabriquées. A cet effet, on les stocke dans des boîtes métalliques étanches, et, lorsqu'il s'agit de poudres métalliques destinées aux peintures, on les malaxe préalablement avec du white spirit (1), du xylène ou de l'essence de térébenthine préoxydée pour obtenir une pâte plus facile à conserver.

### Les procédés de fabrication des métaux pulvérulents

On peut préparer les métaux pulvérulents de différentes façons, savoir :

1° Par pulvérisation mécanique ;

2° Par réduction à chaud et volatilisation, procédé qui comporte lui-même trois variantes :

— Par évaporation suivie d'une condensation ;

— Par réduction d'oxydes ou de sels ;

— Par préparation préalable d'un composé volatil qu'on dissocie ensuite ;

3° Par voie électrolytique ;

4° Par voie chimique.

### La pulvérisation mécanique

Lorsque l'on dispose de déchets tout venant, on commence par fabriquer des plaquettes de faibles dimensions (fig. 1) et l'on procède ensuite au dégrossissage de la poudre.

A cet effet, les plaquettes passent dans une batterie de bocards dégrossisseurs, placés, au nombre de 10 à 12, sur une circonférence, et constitués par de petits moutons verticaux pesant de 60 à 80 kg, suivant la nature du métal à broyer, et battant de 60 à 85 coups par minute. Au moyen d'un dispositif approprié, la charge de plaquettes est retournée sens dessus dessous à chaque coup de mouton. On ajoute à la charge un peu de matières grasses, au préalable, pour faciliter l'écrasement, réduire l'oxydation et commencer le brillantage des particules.

Chaque batterie peut traiter une dizaine de kg de métal et la durée de l'opération peut varier entre 4 et 6 h suivant la nature du métal.

Après un tamisage, à l'issue duquel les par-

ticules refusées sont renvoyées aux bocards dégrossisseurs, celles qui ont passé à travers le tamis sont envoyées dans une batterie de bocards finisseurs analogues aux premiers, mais montés en ligne droite et pouvant traiter de 6 à 20 kg de particules dégrossies. L'opération dure entre 2 et 4 h suivant la nature du métal et le degré de finesse à obtenir.

Le finissage est suivi d'un tamisage ou mieux d'un blutage qui permet de sélectionner les diverses granulations de poudres obtenues.

Si les poudres obtenues sont destinées à des peintures métalliques, il faut ensuite procéder au brillantage final. Dans ce but, on fait tourner la poudre pendant plusieurs heures dans un cylindre à chicanes muni de brosses tournantes en soie, après avoir ajouté à la masse un corps gras (oléine, stéarine, huile d'olive), la température étant maintenue à 40° C environ. Nous avons déjà indiqué les précautions à prendre pour éviter tout accident.

Le cas échéant, en vue de certaines applications, on procède à un dégraissage de la poudre au moyen de solvants volatils appropriés, la poudre étant ensuite séchée dans le vide pour récupérer les solvants.

Il faut faire une mention spéciale de quelques fabrications particulières :

Pour la poudre de magnésium, on utilise des copeaux de 1,5 à 3 mm de côté, tirés de lingots tournés et broyés ensuite dans des pulvérisateurs à marteaux (fig. 2) ;

Pour la fabrication de la poudre d'aluminium à partir des déchets de papier d'aluminium, on procède (procédé Harvey) à leur déchetage grossier au moyen de scies circulaires tournant, en face de tambours pleins, à des vitesses différentes ; le finissage s'effectue dans des broyeurs à boulets, en atmosphère inerte pour des raisons déjà exposées. La poudre est entraînée par un courant de gaz contenant une faible quantité d'oxygène donnant lieu à une oxydation ménagée qui protège la poudre (pellicule superficielle d'alumine) et, au moment où elle arrivera au contact de l'air, s'opposera à son oxydation vive suivie d'une brusque inflammation ;

Pour la préparation des grenailles, ou poudres massives, et, comme on dit, fluentes, employées en métallisation, on peut procéder comme suit : pulvériser le métal fondu par un jet d'air ou

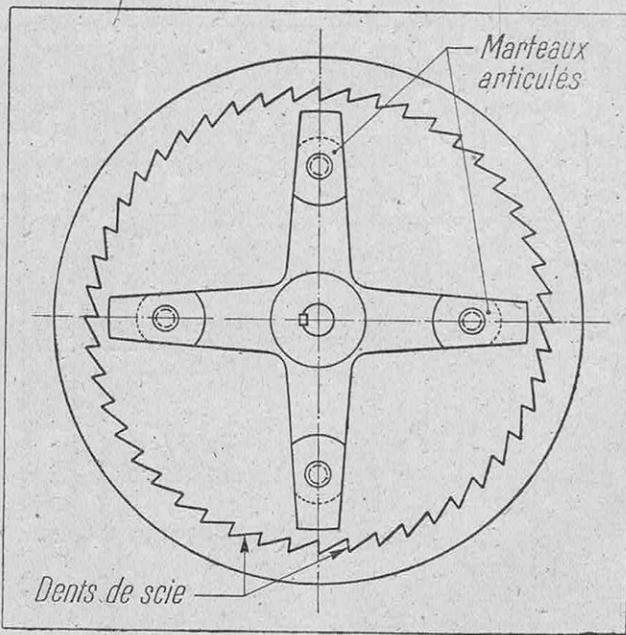


FIG. 2. — SCHÉMA D'UN BROYEUR A MARTEAUX POUR LA FABRICATION DE LA POUDRE DE MAGNÉSIMUM

Les copeaux de magnésium sont déchetés par des marteaux articulés qui, tournant à 3 000 tours/mn, les projettent sur des aspérités en forme de dents de scie placées à la périphérie du tambour de l'appareil. On obtient ainsi des particules de 0,05 à 0,35 mm.

(1) Variété d'essence lourde dont on a éliminé les fractions trop volatiles, employée surtout comme solvant dans l'industrie des couleurs et vernis.

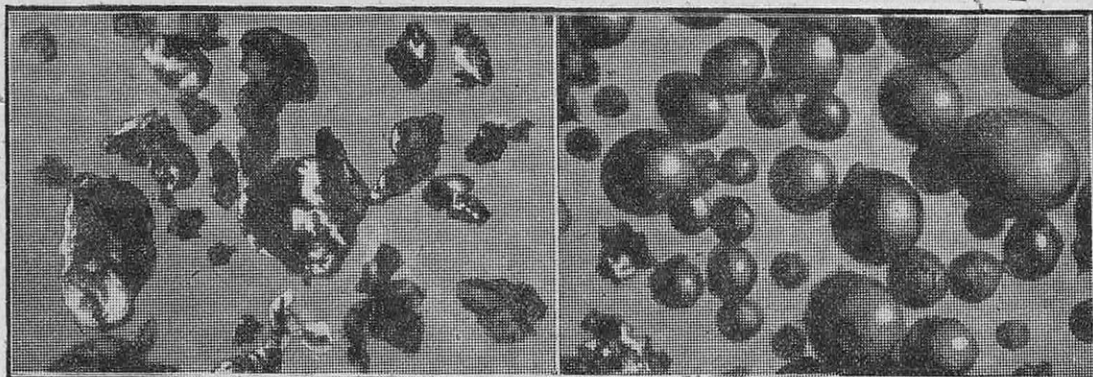
mieux par un jet de gaz inerte sous pression de 8 à 15 kg/cm<sup>2</sup>; les particules se déposent sélectivement sur les parois d'un tunnel de grande longueur faisant suite à la chambre de pulvérisation;

On peut aussi chauffer le métal, en petits lingots, au voisinage de son point de fusion, ce qui a pour effet de détruire la cohésion moléculaire des cristaux qui se scindent rapidement lorsqu'on le soumet ensuite soit à un broyage, soit simplement à des trépidations.

## L'électrolyse

L'électrolyse d'une solution saline métallique, dont la concentration en ions métal est faible, particulièrement quand on ajoute à l'électrolyte du carbone finement divisé, donne lieu, à la cathode, à un dépôt de métal finement divisé, avec un rendement voisin de 90 %.

On peut ainsi, par exemple, obtenir de la poudre de cuivre à partir d'une solution de sulfate de cuivre à 0,625 grammes de cuivre par



Les grenailles ainsi obtenues peuvent servir de matière première pour l'obtention de poudres dans des bocards.

### Réduction à chaud et volatilisisation

La réduction des oxydes métalliques à une température inférieure au point de fusion des métaux correspondants donne naissance à des métaux extrêmement divisés. On peut ainsi préparer le fer, le cobalt, le nickel, le cuivre en réduisant

leur oxydes par l'hydrogène, l'oxyde de carbone, etc. Le métal obtenu sera même très pur si l'oxyde a été obtenu à partir du grilage du nitrate et pourra servir de catalyseur (le nickel par exemple).

Si le métal est volatil à la température de l'opération, ou bien si celle-ci est voisine du point d'ébullition, il sera entraîné par le courant gazeux et se déposera soit à l'état liquide, soit à l'état pulvérulent. C'est ainsi qu'on prépare le zinc et la poudre correspondante. La poudre obtenue sera lourde et stable, ou bien légère, cristalline et très altérable à l'air suivant que la vapeur du métal sera saturante ou sèche.

On peut aussi transformer d'abord le métal en un produit volatil — le nickel, par exemple, en nickel-carbonyle — qu'on dissocie ensuite sur du métal déjà divisé dont les particules se nourrissent en quelque sorte pendant la dissociation.

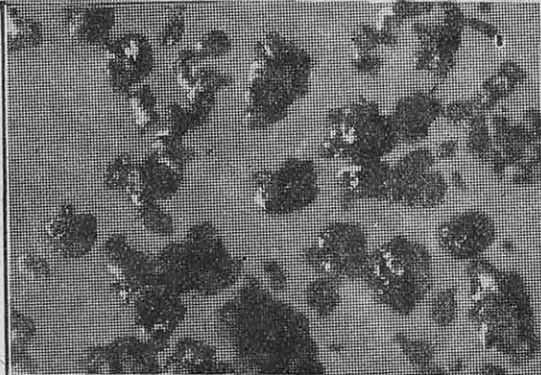


FIG. 3. — MICROGRAPHIES DE POUDRES MÉTALLIQUES

La poudre en haut, à gauche, a été obtenue par pulvérisation mécanique. Celle en haut, à droite, par pulvérisation du métal fondu par un jet de gaz. Celle du bas par réduction d'un oxyde métallique.

litre titrant 40 g d'acide sulfurique libre par litre. La cathode est constituée par du cuivre laminé ou bien par de l'aluminium graissé et l'électrolyte est maintenu en mouvement, tandis que la cathode est brossée constamment.

La poudre obtenue doit être séchée rapidement en atmosphère inerte pour ne pas s'oxyder. Comme elle est cristalline, on la broie dans un broyeur à billes de 5 mm, si elle est destinée à la fabrication de balais électriques, ou, de 20 mm, si elle est destinée à la métallisation (poudre fluente).

On peut, par ce procédé, préparer également des poudres de zinc, de cadmium, de plomb, d'argent, de chrome, en partant d'électrolytes appropriés.

### Autres procédés

En général, un métal déplace toujours des solutions un métal plus noble que lui; le métal déplacé se présente en poudre. On peut ainsi obtenir de la poudre de cuivre en déplaçant celui-ci d'une solution de sulfate de cuivre par des copeaux de zinc ou d'aluminium. En employant de la poudre d'aluminium, on peut déplacer de leurs solutions salines, le nickel, l'or, l'argent, l'étain, le plomb, le cadmium, le fer.

On peut obtenir d'autre part des poudres de laiton en chauffant ensemble, dans un gaz inerte,

des poudres de cuivre et de zinc en proportions voulues. Le zinc fond et se diffuse dans le cuivre donnant de la poudre de laiton.

### Les applications : la protection des peintures et vernis

Les peintures et vernis comprennent, en général, un support constitué le plus souvent par de l'huile naturelle, ou cuite, de préférence, pour les peintures, et, pour les vernis non à l'alcool, par des solutions de résines naturelles ou synthétiques dans cette huile. Des pigments colorés sont incorporés à ce support. Ces peintures résistent assez mal à l'action des rayons ultraviolets. Elles finissent par gercer et s'écailler, surtout lorsque le support ne s'est pas accroché suffisamment à une surface métallique mal décapée (graisseuse ou mal dérouillée).

Pour obvier à cet inconvénient, on a imaginé d'adjoindre aux peintures et vernis, particulièrement à ceux exposés aux intempéries et aux rayons solaires, un écran protecteur constitué par des particules métalliques extra-minces susceptibles de flotter à la surface du support pendant le séchage et, en s'imbriquant les unes dans les autres, de former une surface impénétrable aux rayons destructeurs.

A cet effet, on a utilisé des poudres composées de paillettes laminées à partir d'un métal aussi pur que possible pour qu'il soit très ductile et ne se transforme pas indûment en poudre impalpable au cours de la fabrication. L'épaisseur optimum des paillettes est de l'ordre de 0,001 mm et, leur largeur, de 100 fois l'épaisseur. Elles ne doivent pas toutes avoir les mêmes dimensions, afin que les plus petites viennent combler les interstices entre les plus grandes et que le recouvrement obtenu soit efficace.

Les avantages des peintures ainsi traitées à la poudre d'aluminium peuvent se résumer comme suit :

- Grande résistance aux agents de corrosion;
- Opacité presque absolue de la surface;

- Pouvoir réfléchissant élevé (70 %) permettant des économies d'éclairage dans les locaux dont les parois sont ainsi peintes et une visibilité meilleure des obstacles la nuit;

- Réduction des pertes par évaporation dans les citernes;

- Réduction des pertes par rayonnement des fours, tuyauteries, par suite du faible pouvoir émissif (30 %) de ces peintures;

- Pouvoir couvrant élevé (1 kg de

peinture au vernis-aluminium couvre entre 15 et 18 m<sup>2</sup> et 1 kg de peinture au brai-aluminium couvre encore entre 10 et 12 m<sup>2</sup>);

- Possibilité de faire des peintures incombustibles en utilisant, comme supports, des vernis spéciaux;

- Facilité d'entretien par de simples lavages à l'eau alcaline.

Moyennant certaines précautions, on parvient également à incorporer de la poudre d'aluminium à des supports sombres, tels que brai et goudron, à des enduits silicatés, à des matières plastiques, telles que le caoutchouc synthétique, et à des masses telles que la bakélite, le rhodoïd, etc. L'effet décoratif obtenu est remarquable et la protection est absolue contre les rayons ultraviolets et contre la corrosion.

S'agissant d'effet décoratif, il convient de signaler particulièrement les poudres obtenues à partir du cuivre ou de ses alliages, sans ou après oxydation ménagée, qui permettent d'obtenir des teintes variées suivant qu'on opère avec le cuivre naturel ou les laitons de divers titres, légèrement oxydés ou non.

### La protection des métaux et la décoration par métallisation

Dans le procédé Shori, un chalumeau à gros excès d'air, formant pistolet, projette les particules fondues d'une poudre métallique fluente, sur un objet quelconque préalablement nettoyé et décapé. C'est ce qu'on appelle la « métallisation » (1). On peut opérer sur des étoffes, des papiers, du verre, des bois, des substances minérales et des métaux et obtenir ainsi de beaux effets décoratifs.

Au surplus, on peut aussi recouvrir d'autres métaux d'une pellicule d'aluminium ou de zinc, ce qui a pour effet de les protéger contre la corrosion et l'oxydation à chaud. Avec l'aluminium et le magnésium, on peut obtenir, par polissage, une surface très brillante pouvant rivaliser avec les surfaces chromées.

Enfin, en chauffant directement une surface en acier doux au contact avec des poudres de zinc (shéardisation), ou bien de chrome, de nickel, on réalise un recouvrement qui, non seulement protège la surface métallique sous jacente contre les corrosions et l'oxydation, mais encore lui donne un certain degré de dureté (cémentation).

(1) Dans la métallisation par le procédé Schoop, le métal parvient au pistolet métallisant sous la forme d'un fil. Voir *Science et Vie*, n° 163, juin 1931.

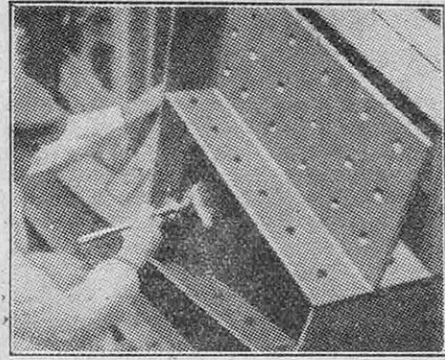


FIG. 5. — TRAITEMENT D'UNE PIÈCE PAR LA PEINTURE A L'ALUMINIUM

A la partie supérieure, les paillettes sont remontées à la surface : la peinture apparaît brillante. A la partie inférieure, en cours de peinture, les paillettes sont dans la masse du support : la peinture est encore noire.

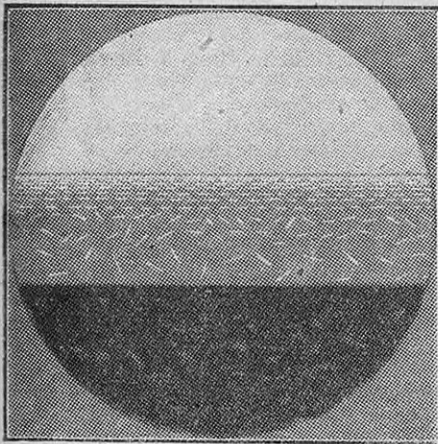


FIG. 4. — LA PEINTURE A L'ALUMINIUM

On voit ici, en coupe, le schéma théorique de la pellicule de peinture. Les paillettes de poudre remontent à la surface par un phénomène de tension superficielle et protègent la peinture contre les radiations.

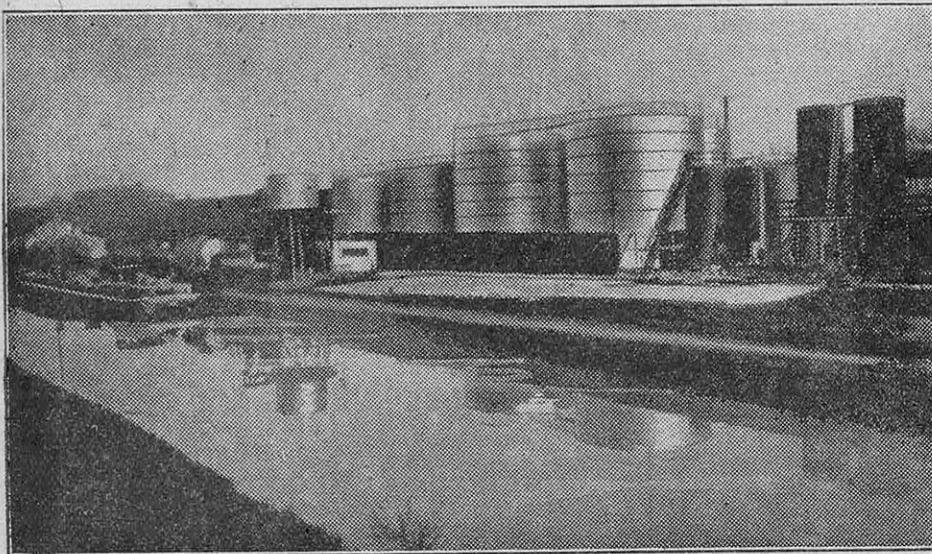


FIG. 6. — RÉSERVOIRS DE PÉTROLE ET D'ESSENCE PEINTS A L'ALUMINIUM  
La peinture absorbant peu les rayons calorifiques, la perte par évaporation est réduite de 33 % environ par rapport à des réservoirs peints en noir.

### Les métaux réfractaires

On entend par métaux réfractaires les métaux fondant à une température élevée, tels que le platine, le tungstène, le molybdène, le tantale, etc. Par coulée, on obtiendrait un métal peu sain, très dur et aussi très fragile. Les résultats obtenus sont bien meilleurs lorsque l'on part de la poudre de métal.

Nous prendrons comme exemple le tungstène. La poudre s'obtient en réduisant à chaud l'oxyde par un courant d'hydrogène. Elle est ensuite agglomérée à la presse après une addition de paraffine; on obtient ainsi des barrettes de 0,2 à 6 mm de long et d'une section de 1 cm<sup>2</sup>. Elles sont peu résistantes. On les soumet alors à l'action d'un courant d'hydrogène à une température de 900 à 1100° C; c'est ce qu'on appelle l'opération du *préfritage*. Elle accroît notablement la résistance des barrettes et en facilite la manutention. Les barrettes sont ensuite placées entre deux contacts refroidis à l'eau laissant passer un courant alternatif, de manière à les porter à une température voisine du point de fusion. Il se produit un retrait de 20 % environ. Les barrettes deviennent plus dures, mais restent encore fragiles à la température ambiante. Portées ensuite à une température de 1300°, elles sont martelées et peuvent être étirées jusqu'à la dimension d'un fil qu'on enroule et qui est utilisé comme filament dans les lampes à incandescence.

### Les alliages de coupe

Les carbures métalliques sont des corps extrêmement durs qu'on utilise, sous la forme d'outils de coupe, pour usiner les métaux. Parmi eux, le carbure de tung-

tène occupe une place de choix. Parfois, on lui adjoint le carbure de titane avec addition d'un métal de liaison tel que le cobalt (entre 3 et 13 %), uni au nickel ou au fer. Aux Etats-Unis, toutefois, il semble qu'on préfère le carbure de tantale.

Ces carbures pourraient, en principe, être obtenus par fusion, bien que le point de fusion soit très élevé (3 000° pour le carbure de tungstène). Mais le produit obtenu serait extrêmement fragile et, par conséquent, inemployable pour l'usinage des métaux, car il ne résisterait pas aux chocs inévitables, en particulier lors de la mise en prise de l'outil.

L'application à ce cas de la métallurgie des métaux pulvérulents permet de tourner la difficulté. On obtient alors un outil qui combine la dureté des particules du carbure à la ténacité du métal de liaison.

En ce qui concerne, par exemple, les outils au carbure de tungstène allié au cobalt, on prépare des poudres de ces deux métaux par réduction de leurs oxydes dans un courant d'hydrogène, à chaud, l'opération étant répétée autant de fois que nécessaire pour obtenir une poudre répondant à la granulation et aux qualités désirées. La poudre de tungstène obtenue est chauffée avec du carbone dans un tube de carbone à l'intérieur duquel circule un courant d'hydrogène à 1500°. Il se produit une cémentation superficielle des particules de tungstène aboutissant à la formation du carbure. Celui-ci est brassé longtemps avec la poudre de cobalt

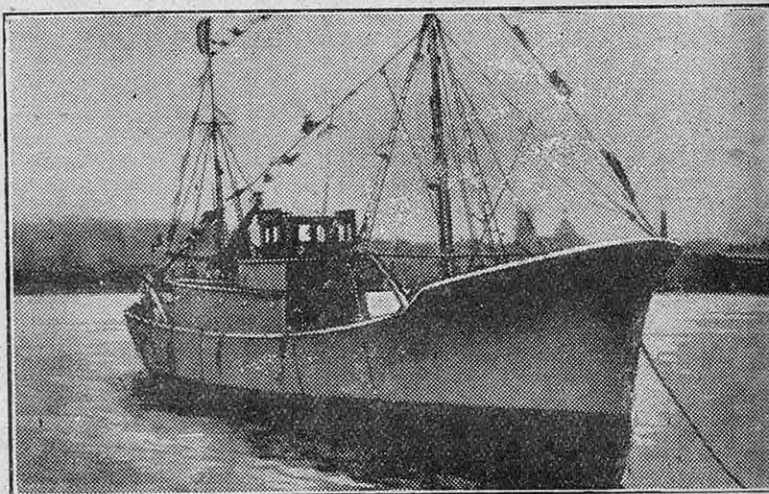


FIG. 7. — UNE COQUE DE CHALUTIER PEINTE A L'ALUMINIUM

pour obtenir un mélange aussi homogène que possible. Ce mélange, après addition de paraffine, est soumis à une compression énergique dans une presse hydraulique, les moules ayant une forme parallélépipédique. Les barrettes obtenues sont tout juste, assez résistantes pour pouvoir être manipulées. Elles sont soumises à un pré-frittage à  $800^{\circ}$  dans un four tubulaire en présence d'hydrogène; la résistance s'améliore et on peut usiner les barrettes au moyen de meules au carborundum, les tourner et les percer. On procède ensuite à un frittage à  $1400^{\circ}$  dans un tube de carbone en présence d'hydrogène, le tube étant chauffé électriquement au moyen d'une spire de tungstène traversée par un courant et protégée elle-même par un cou-

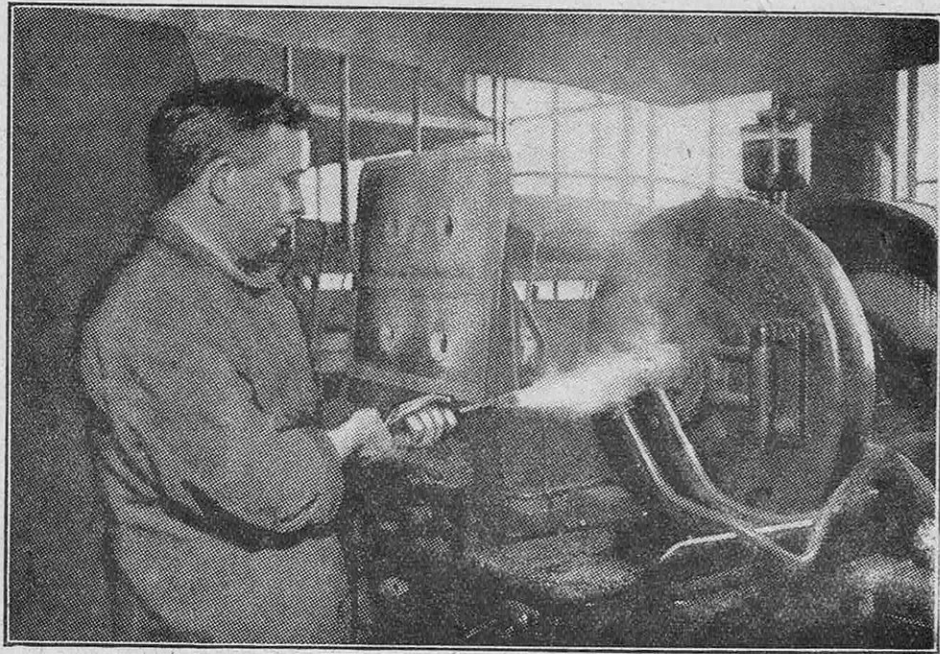


FIG. 9. — LE MARTELAGÉ DU TUNGSTÈNE POUR LA PRÉPARATION DU TUNGSTÈNE DUCTILE DESTINÉ À CONSTITUER LE FILAMENT DES LAMPES D'ÉCLAIRAGE

L'oxyde de tungstène réduit par l'hydrogène donne une poudre dont les particules ont en moyenne quelques microns seulement. Cette poudre est comprimée à la presse hydraulique et les barres obtenues subissent une cuisson préalable, puis un « frittage » à  $3000^{\circ}$  C par chauffage par un courant électrique. Pour leur donner une ductilité suffisante, on les soumet au martelage. La barre portée à haute température dans un des fours électriques visibles à gauche est maintenue dans une pince et introduite lentement dans la marteuse (voir fig. 8). (Philips.)

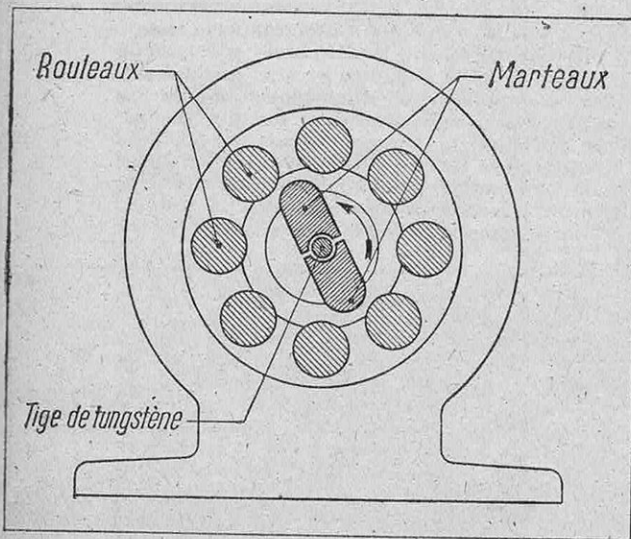


FIG. 8. — SCHÉMA D'UNE MARTELEUSE RAPIDE POUR LA FABRICATION DU TUNGSTÈNE DUCTILE

Les marteaux sont animés d'un vif mouvement de rotation et par suite de la force centrifuge coulisent dans la rainure et sont projetés vers l'extérieur. Ils viennent alors toucher les rouleaux à la périphérie de la cage qui les renvoient au centre. Les marteaux sont frappés ainsi violemment l'un contre l'autre, et la tige de tungstène au centre reçoit environ 10 000 coups par minute. En prenant des marteaux à encoche de plus en plus étroite, on amincit graduellement la tige. (Philips.)

rant d'hydrogène. On tient compte, au préalable, du retrait qui peut atteindre 20 %. Les plaquettes sont ensuite fixées sur l'outil par compression énergique et polies par un disque muni de diamants.

### Les coussinets autolubrifiants

Comparativement aux coussinets en métal massif antifriction, les coussinets garnis de bronze poreux imprégnés d'huile au préalable, conduisent à une importante économie de métaux rares (cuivre, étain) et d'huile de graissage; en outre, avec ces coussinets, le graissage se trouve assuré dès la mise en route, c'est-à-dire à un moment où il est particulièrement nécessaire qu'il le soit, puisque c'est justement à ce moment que le grippage a le plus de tendance à se produire avec des coussinets en métal massif, même graissés sous pression, la pression de graissage n'étant susceptible de s'établir qu'au bout d'un certain temps. Par ailleurs, si pour de fortes pressions sur le coussinet on est conduit tout de même à conserver avec le coussinet en métal poreux le graissage sous pression, le graissage s'effectue dans de meilleures conditions, le métal poreux jouant le rôle de filtre par rapport aux impuretés qui polluent l'huile et répartissant celle-ci beaucoup plus uniformément sur toute la surface. Il convient d'ajouter que, dans le coussinet en métal poreux autolubrifiant, aucune fuite d'huile n'est à craindre, ce qui est précieux pour les machines à fabriquer les textiles et les produits alimentaires.

Aussi les coussinets en métal poreux sont-ils

très employés, depuis une quinzaine d'années, dans l'aviation, dans le matériel électrique (petits appareils à grande vitesse devant fonctionner longtemps et silencieusement sans être huilés, tels que : ventilateurs d'appareillements, sécheurs de cheveux, tondeuses, machines à coudre, aspirateurs de poussières, machines à laver, petites perceuses, démarreurs d'autos, frigidaires), dans les appareils mécaniques légers (chaînes sans fin à godets, ascenseurs, palier de barres d'accouplement de tracteurs, machines textiles, agricoles, de produits d'alimentation) et même d'appareils mécaniques lourds (poulies de grues lourdes, chemins roulants de gros laminoirs, etc.).

Le principe de fonctionnement des coussinets en métal poreux dérive de celui des métaux antifriction. On considère que les excellentes qualités de ceux-ci sont dues à ce qu'ils sont constitués en partie d'éléments durs et en partie d'éléments mous. Ce principe est ici poussé à l'extrême, en ce sens que les éléments durs sont constitués par les grains de métal et les éléments mous par les pores entre les grains de métal, pores qui sont remplis d'une huile de graissage non résinifiable afin qu'elle ne parvienne pas avec le temps à boucher ces pores.

Les qualités des coussinets en cause sont fonction de la nature des métaux constituants, de leur granulation, de la température d'agglomération, de la pression et de la durée de l'opération, des conditions de refroidissement, des traitements éventuels ultérieurs et de la nature de l'huile d'imprégnation.

En particulier, si pour les coussinets supportant une charge modérée à grande vitesse, on a été conduit depuis le début à utiliser le bronze à 90 % de cuivre et 10 % d'étain, pour les coussinets supportant une charge élevée à faible vitesse, il a fallu employer un allié cuivre-laiton, bientôt remplacé, en raison de la pénurie de métaux rares, par du fer additionné d'abord de 20 % de cuivre, puis de 10 % de plomb, proportion qu'on a pu sans inconvénient ramener enfin entre 2 et 5 %, le plomb améliorant grandement les propriétés de frottement.

A porosité égale, tandis que les coussinets en bronze poreux ont une résistance à la traction comprise entre 2 et 3 kg/mm<sup>2</sup>, les coussinets en fer poreux ont une résistance de 15 kg/mm<sup>2</sup>. Toutefois, la dureté du fer poreux étant très supérieure à celle du bronze, il est nécessaire de cémenter les arbres appelés à tourner dans les coussinets en fer poreux.

Pour fabriquer le bronze poreux, on utilise des poudres de cuivre et d'étain, aussi pures

que possible, qu'on mélange intimement, après addition de graphite ou de lubrifiant. On soumet le mélange à une forte compression dans des moules appropriés, avec noyau mobile, dans des presses hydrauliques, ou de préférence, pour accroître considérablement la production, dans des presses mécaniques du genre de celles utilisées pour les comprimés pharmaceutiques. On peut ainsi sortir 500 pièces à la minute, l'alimentation en poudres et l'éjection des pièces terminées étant automatiques. Pour assurer une compression uniforme, la pression s'exerce sur les deux extrémités du coussinet avec, comme nous l'avons dit, un noyau mobile.

A la sortie de la presse, les coussinets sont frittés dans un four cylindrique de grande longueur, chauffé extérieurement en atmosphère réductrice, généralement constituée par du gaz de ville brûlé incomplètement. Les coussinets traversent le four, portés par une longue chaîne, et se refroidissent lentement. L'étain fond, puis diffuse dans le cuivre, formant ainsi une masse dont on règle la porosité entre 25 et 40 % en volume. On peut, moyennant quelques précautions, obtenir les coussinets aux cotes définitives, à de très faibles tolérances près. Il convient, dans ce but, de tenir compte des déformations au frittage : ce sont généralement des gonflements. Il n'est donc pas, en général, besoin d'usiner les coussinets. Après imprégnation d'huile par un séjour de 15 minutes dans une chambre à vide à 110°, on peut, si on le désire, terminer le calibrage des coussinets

dans la presse d'agglomération.

On procède de la même façon pour obtenir des coussinets en fer poreux. On part, à cet effet, de limaille de fer pur additionnée de 2 à 5 % de poudre de plomb et moins de 5 % en volume de graphite. L'agglomération nécessite une pression beaucoup plus forte que pour le bronze (de 1 à 10 t/cm<sup>2</sup> suivant la nature de la limaille et la porosité à réaliser qui peut varier entre 5 et 30 %). Le frittage s'effectue à 1.100° et de la même façon que pour le bronze. Il donne lieu à un léger retrait dont il convient de tenir compte au préalable. On calibre les coussinets à chaud ensuite si besoin est, on procède à l'imprégnation, souvent après une addition de graphite colloïdal à l'huile.

### Les aimants permanents en fer aggloméré

Les alliages fer-nickel-aluminium-cobalt, éventuellement additionnés de cuivre, employés en

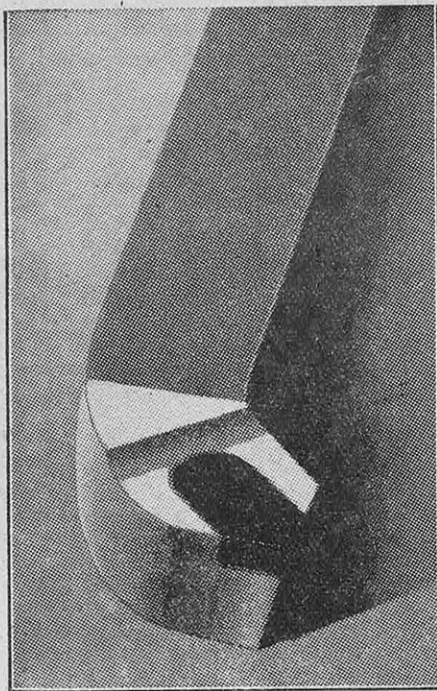


FIG. 10. — OUTIL DE COUPE PORTANT UNE PLAQUETTE DE MÉTAL « WIDIA » A BASE DE CARBURE DE TUNGSTÈNE, OBTENU PAR COMPRESSION ET « FRITTAGE »

raison de leurs propriétés particulières pour fabriquer des aimants permanents (1) sont très difficiles à obtenir de fonderie et alors de mauvaise qualité. Leur point de fusion est élevé (1500°), ils sont visqueux et peu coulants, il se produit au cours de l'opération une perte d'aluminium par oxydation, l'alliage est dur mais fragile et difficilement usinable, d'où l'impossibilité de fabriquer des aimants de petites dimensions.

Aussi applique-t-on la technique des poudres à leur fabrication.

On part, soit de limailles, soit de déchets de fabrication antérieure, préalablement lessivés à la potasse pour dissoudre le liant. Les matières sont pulvérisées dans des broyeurs à boulets ou dans des casseurs à mâchoires. Néanmoins, il faut utiliser des granulations différentes pour obtenir un aggloméré compact contenant beaucoup de fer par unité de volume;

si on part d'une granulation unique, en effet, même avec une forte pression d'agglomération, telle que 4 000 kg/cm<sup>2</sup>, par exemple, la densité de l'aggloméré ne dépasse par 4,9 g/cm<sup>3</sup>. En partant de granulations différentes, il se produit un meilleur tassement, les grains les plus petits venant occuper les interstices entre les plus gros. La composition la meilleure du mélange de granulation à utiliser semble être 50 % de grains de 1 mm, 20 % de grains de 0,5 mm et 30 % de grains de 0,05 mm. On ajoute 5 % en poids de résines synthétique et on obtient par compression un aggloméré homogène dans lequel les grains se pressent comme dans une grappe de raisins très serrée.

On part des poudres elles-mêmes lorsque l'aimant à fabriquer est de forme simple; dans le cas contraire, on fabrique au préalable des tablettes qui doivent être rapidement employées

avant durcissement de la résine. La pression de compression de 1000 kg/cm<sup>2</sup> est maintenue pendant quelques secondes.

On peut ainsi obtenir de tout petits aimants sous leur forme définitive avec

(1) Leur composition est la suivante : nickel, 17/20 %; aluminium, 9/13 %; cobalt, 5/12 %; le reste en fer.

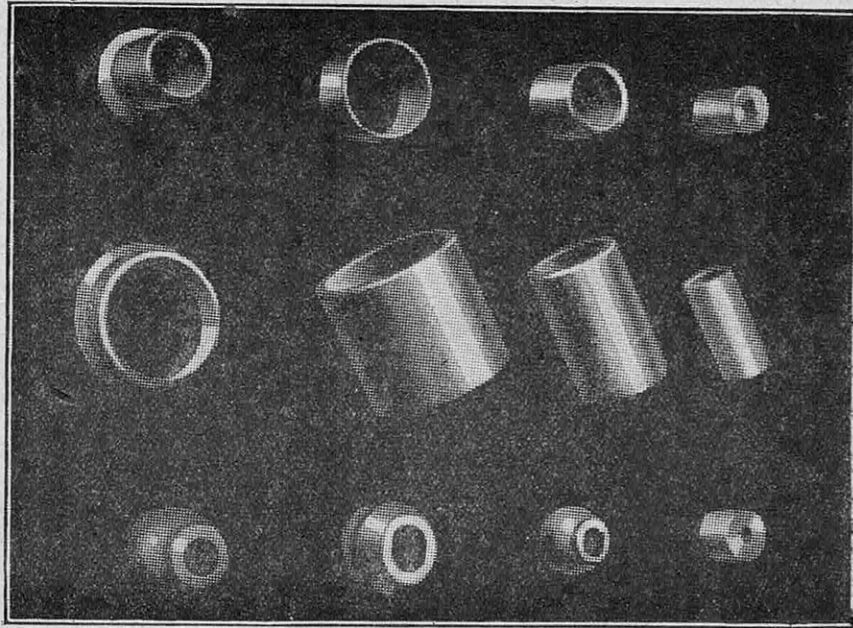


FIG. 12. — QUELQUES TYPES DE COUSSINETS EN BRONZE POREUX (CALCAR)

une très faible tolérance (0,1 mm, par exemple, pour une longueur de 20 mm). En utilisant une presse à plusieurs matrices, il est possible de sortir jusqu'à 120 aimants par heure.

Le liant donne de l'élasticité à l'aimant et l'excédent qui reste à la surface lui donne un bel aspect et le protège contre les corrosions. On peut éventuellement ménager des trous dans la masse pendant la fabrication.

### Les contacts électriques bi-métal

Les pièces de contact électriques doivent présenter un ensemble de qualités remarquables et, d'ailleurs, en partie contradictoires : conductibilité électrique, thermique et point de fusion élevés, grande dureté, grande résistance à l'usure, faible résistance de contact, faible tension de vapeur, résistance à la formation d'un film superficiel ou au ternissage, résistance au soudage et à la formation d'un cratère sous l'effet des arcs de fermeture ou de coupure ou au passage du courant. On conçoit qu'il n'existe pas de métal répondant à la fois à l'ensemble de ces conditions; par contre, en associant deux métaux convenablement choisis, il est possible, grâce à un compromis, de s'en approcher. Mais les deux métaux étant susceptibles d'avoir des propriétés très différentes, il est difficile, sinon impossible, de les associer par fusion; tandis qu'en partant de leurs poudres, et en appliquant la technique des métaux pulvérulents, il devient aisé de tourner les difficultés et d'aboutir à de bons agglomérés de contact.

### La fabrication d'objets en fer

La fabrication, à partir du fer en poudre, de nombreuses petites pièces en fer, a été entreprise sur une grande échelle aux États-Unis. Le prix des moules se trouve largement compensé par la réduction notable des dépenses de main-d'œuvre résultant de la suppression des

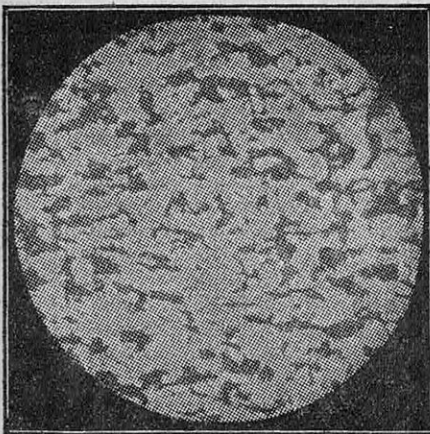


FIG. 11. — TEXTURE D'UN COUSSINET EN BRONZE POREUX (CALCAR)



opérations d'usinage. Il en résulte au total une importante économie sur les dépenses de fabrication. Les pièces obtenues sont réalisées sensiblement à leurs cotes définitives, à de faibles tolérances près.

Suivant la nature de la limaille dont on part et la pression d'agglomération utilisée, le métal obtenu est plus ou moins poreux.

La pression d'agglomération peut aller de 45 à 65 kg/mm<sup>2</sup>. Les fours de frittage sont à sole mobile sous forme d'une longue chaîne transporteuse; ils sont chauffés en atmosphère inerte (hydrogène ou gaz de ville incomplètement brûlé) à une température de 1100°, la durée de l'opération étant de 20 à 40 minutes. Il se produit au frittage un léger retrait pouvant atteindre 3 % et dont on tient compte au préalable. Si besoin, les pièces sont calibrées ensuite en repassant à la presse à une température de 400 à 500°.

On peut ainsi réaliser des pièces dont la résistance à la traction dépasse 79 kg/cm<sup>2</sup>. Toutefois, pour ne pas exagérer l'usure des moules qui est fonction de la pression, usure qu'on combat d'ailleurs en enduisant la poudre de graphite ou d'un lubrifiant, il est prudent de ne pas dépasser une pression d'agglomération de 25 kg/cm<sup>2</sup>.

Les pièces ainsi réalisées ont des propriétés voisines de celles des fontes ordinaires; on peut espérer qu'en partant de poudres d'aciers alliés, en améliorant la tenue des moules et en augmentant, en conséquence, la pression d'agglomération, on arrivera à des résultats encore meilleurs.

### Le « hot pressing »

Avant de conclure, il paraît utile de dire quelques mots d'un procédé complémentaire mis en œuvre aux Etats-Unis, le « hot pressing » ou « compression à chaud », qui permet d'améliorer sensiblement les qualités des produits agglomérés.

On reprend, dans ce procédé, les objets obtenus par agglomération à froid et on leur fait subir une ou plusieurs compressions complémentaires, mais à chaud cette fois, ce qui a pour effet d'améliorer leur résistance à tel point qu'ils peuvent rivaliser à ce point de vue avec les produits moulés correspondants et même les dépasser.

On peut ainsi, en partant de tournures d'acier, obtenir par « hot pressing », au bout de six opérations consécutives, des agglomérés dont la résistance égale trois fois celle de la fonte.

Voici le détail de l'opération : les tournures ou copeaux d'acier sont pulvérisés dans un broyeur à marteaux ou dans un concasseur à mâchoires, puis agglomérés à la presse hydraulique sous pression pouvant atteindre 45 kg/mm<sup>2</sup>. Les pièces sont ensuite « frittées » dans un four à sole constituée par des chaînes transporteuses, à la température de 1050°, et en atmosphère inerte. Puis elles repassent à chaud dans une presse munie de deux matrices du type à charnière agissant aux deux extrémités de la pièce et refroidies à l'eau. Huit mâchoires répartissent la pression d'une façon aussi uniforme que possible sur toute la surface latérale de la pièce pendant que les deux matrices exer-

cent leur compression. La production peut atteindre 12 pièces à la minute. Ces pièces sont éjectées de la presse et tombent dans un bain de trempe à l'eau.

### L'avenir de la « métallurgie des poudres »

Les métaux pulvérulents ont déjà donné lieu à de nombreuses et intéressantes applications dans le domaine des peintures, de la métallurgie, des métaux rares, de la mécanique et de l'électricité.

Grâce à leur emploi, on a pu, avec succès :

— Protéger les peintures contre les corrosions et un vieillissement prématuré sous l'action des rayons ultraviolets;

— Protéger les surfaces métalliques contre les oxydations et les corrosions;

— Fabriquer les matériaux réfractaires et les obtenir plus sains et plus résistants que par les procédés de fonderie;

— Fabriquer des outils de coupe robustes qu'on n'aurait pu obtenir par d'autres procédés;

— Fabriquer d'excellents coussinets poreux autolubrifiants;

— Construire de petits aimants de formes variées et possédant de bonnes qualités magnétiques qu'on n'aurait pu obtenir par d'autres procédés;

— Fabriquer d'excellents contacts bi-métal pour les besoins du matériel électrique, qu'aucun autre procédé n'aurait permis de réaliser.

Très souvent, d'autre part, les pièces ainsi fabriquées, l'ont été beaucoup plus économiquement que celles obtenues à partir des métaux massifs et ont donné lieu à de sérieuses économies en service courant.

Dans une certaine mesure, on pouvait, dans les débuts de cette technique nouvelle, lui reprocher d'aboutir à des pièces moins résistantes, dans certains cas, que celles provenant des techniques appliquées aux métaux massifs; il n'en est plus de même aujourd'hui, depuis qu'on a complété cette technique par l'application du procédé complémentaire dit du « hot pressing ».

La technique en cause n'a pas, d'ailleurs, reçu tous les perfectionnements qu'on pourrait lui donner. En particulier, on peut espérer qu'on l'appliquera à des poudres de métaux ou d'alliages plus résistants que ceux auxquels elle s'applique actuellement, qu'on parviendra à réduire l'usure des moules par l'emploi de métaux appropriés soumis à des traitements plus à cœur, ce qui permettra de réaliser, sans inconvénient, des pressions d'agglomération plus élevées que celles actuellement utilisées, et d'augmenter ainsi la compacité et par suite la résistance des objets obtenus.

Au demeurant, la nécessité où l'on se trouvera, pendant un certain temps après la fin de la guerre actuelle, de réduire la consommation de métaux au strict minimum et de ne pas gaspiller la main-d'œuvre, devant l'immense tâche de la restauration du pays, conduira certainement à développer notablement les applications des métaux pulvérulents dont la matière première peut être constituée pour la plus grande part par des déchets.

M. GAUTIER.

# L'ARITHMÉTIQUE DE L'INFINI

par Maurice FRÉCHET  
Professeur à la Sorbonne

*Le créateur de l'arithmétique de l'infini, l'inventeur des nombres cardinaux et ordinaux infinis (nombres « transfinis ») est le mathématicien allemand (israélite d'origine russe) Georg Cantor. L'arithmétique élémentaire ne dénombre que des ensembles finis d'objets et d'ailleurs, dans ce but, ne fait pas autre chose que d'établir une correspondance entre leurs éléments pris deux à deux. Il a fallu attendre des siècles pour qu'un homme, Cantor, eût enfin l'idée, pourtant simple, d'appliquer la même conception aux ensembles infinis. Il a pu ainsi définir des nombres infinis, et démontrer l'existence non pas d'un seul nombre infini, mais d'une infinité de ces nombres. Les applications pratiques du « transfini » apparaissent assez problématiques aujourd'hui, mais il s'agit incontestablement d'une conquête importante de l'esprit humain. Les exemples ne manquent pas de découvertes et de théories en apparence dénuées d'intérêt pratique et qui sont devenues subitement indispensables à notre compréhension de l'Univers.*

**L'**INFINI est-il un nombre? Si c'est un nombre, peut-on effectuer sur lui des opérations? Y a-t-il un seul ou plusieurs nombres infinis ou même une infinité de nombres infinis distincts?

C'est à ces questions que nous voudrions répondre. Mais auparavant, il nous faut distinguer deux points de vue où l'on peut se placer pour traiter de l'infini : celui du philosophe et celui du mathématicien.

## Pascal et Pasteur devant l'infini

Le philosophe, c'est d'abord vous et moi, c'est tout homme qui, devant les questions que lui pose la vie, se voit contraint de leur donner des réponses ou d'essayer d'en donner. Qu'est-ce que le bien? Qu'est-ce que le mal? Pourquoi vivons-nous? Que nous révèlent nos sensations? Dans les divers degrés de petitesse ou de grandeur, peut-on s'arrêter? L'infini existe-t-il? Qu'est-ce que l'infini?

Le savant n'est pas à l'abri de ces inquiétudes métaphysiques comme le montrent les passages suivants de Pascal et de Pasteur, que nos lecteurs auront plaisir à relire ci-dessous.

Qui ne connaît ce célèbre morceau des pensées de Pascal :

« Qu'est-ce qu'un homme dans l'infini, qui peut le comprendre? Mais pour lui présenter un autre prodige aussi étonnant, qu'il recherche dans ce qu'il connaît les choses les plus délicates, qu'il se perde dans ces merveilles aussi étonnantes par leur petitesse que les autres par leur étendue...

« Qui se considérera de la sorte s'effrayera sans doute de se voir comme perdu dans la masse que la nature lui a donnée entre ces deux abîmes de l'infini et du néant, dont il est également éloigné. Il tremblera dans la vue de ces merveilles; et je crois que, sa curiosité se changeant en admiration, il sera plus disposé à les contempler en silence qu'à les rechercher avec présomption.

« Car enfin qu'est-ce que l'homme dans la nature? Un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout.

Il est infiniment éloigné des deux extrêmes, et son être n'est pas moins distant du néant dont il est tiré que de l'infini où il est englouti. »

Nous reproduisons encore l'alinéa suivant, moins souvent cité dans les anthologies.

« ... Ces mots : mouvement, nombre, espace, sans s'arrêter à les définir inutilement. [la géométrie] en pénètre la nature et en découvre les merveilleuses propriétés...

« La principale est les deux infinités qui se rencontrent dans toutes, l'une de grandeur, l'autre de petitesse...

« Quelque grand que soit un nombre on peut en concevoir un plus grand et encore un qui surpasse le dernier et ainsi de suite à l'infini sans jamais arriver à un qui ne puisse être augmenté. Et au contraire, quelque petit que soit un nombre, comme la centième ou la dix millième partie, on peut encore en concevoir un moindre, et toujours à l'infini sans arriver au zéro ou néant. »

De son côté, Pasteur s'exprime ainsi dans son discours de réception à l'Académie française :

« Au delà de cette voûte étoilée, qu'y a-t-il? De nouveaux cieus étoilés. Soit! Et au delà? L'esprit humain, poussé par une force invincible, ne cessera jamais de se demander : qu'y a-t-il au delà? Veut-il s'arrêter, soit dans le temps, soit dans l'espace? Comme le point où il s'arrête n'est qu'une grandeur finie, plus grande seulement que toutes celles qui l'ont précédée, à peine commence-t-il à l'envisager, que revient l'implacable question, et toujours sans qu'il puisse faire taire le cri de sa curiosité. Il ne sert de rien de répondre : au delà sont des espaces, des temps, ou des grandeurs sans limites. Nul ne comprend ces paroles. Celui qui proclame l'existence de l'infini, et personne ne peut y échapper, accumule dans cette affirmation plus de surnaturel qu'il n'y en a dans tous les miracles de toutes les religions; car la notion de l'infini a ce double caractère de s'imposer et d'être incompréhensible. Quand cette notion s'empare de l'entendement, il n'y a qu'à se prosterner. Encore à ce moment de poignantes angoisses il faut demander grâce à sa raison : tous les ressorts de

la vie intellectuelle menacent de se détendre, on se sent prêt d'être saisi de la sublime folie de Pascal. »

N'est-il pas cependant possible de considérer l'infini de sang-froid et de le faire rentrer dans le domaine du calcul ?

### Y a-t-il un nombre plus grand que tous les autres ?

Les mathématiciens peuvent s'intéresser individuellement au point de vue philosophique ; mais en tant que mathématiciens, ils ont soin, dans la mesure possible, de dégager leurs investigations de toute considération philosophique.

Comment l'infini peut-il s'introduire en mathématique ? Aux temps préhistoriques, l'homme ne savait guère compter au delà de quelques unités ; il arrivait à 20 en comptant tous ses doigts.

Plus tard, des systèmes de numération s'établissent et permettent d'aller beaucoup plus loin, mais restent encore incommodes. Le système grec fondé sur l'emploi des lettres de l'alphabet s'arrête à la myriade de myriade, c'est-à-dire (puisqu'une myriade signifie dix mille), à cent millions. Aussi certains pensaient qu'on ne pouvait compter des ensembles trop vastes d'éléments. Et Archimède a écrit un mémoire (l'Arénaire)

pour les réfuter : « D'aucuns pensent, roi Gélon, écrit-il pour débiter, que le nombre des grains de sable est infiniment grand ; et ils visent ainsi, non seulement le sable des environs de Syracuse et du reste de la Sicile, mais encore celui qui gît dans toute contrée habitée ou inhabitable. D'autres soutiennent que ce nombre n'est pas infini, mais que l'on ne pourrait pas en énoncer un qui fût assez grand pour surpasser la multitude de ces grains de sable... »

Ce passage montre déjà les difficultés que présentait la notion de l'infini aux premiers mathématiciens. Ces difficultés aujourd'hui n'arrêteraient certainement aucun élève de l'enseignement secondaire, ni probablement les élèves des écoles primaires. Et pourtant, on voit l'illustre Archimède, à qui sont dues tant de grandes découvertes, poursuivre ainsi : « Or, je tâcherai de te faire voir, au moyen de démonstrations géométriques dont tu pourras suivre les raisonnements, que certains nombres... surpassent non seulement le nombre des grains de sable dont le volume serait celui de la Terre (en supposant toutes les mers et les vallées de la Terre remplies jusqu'au niveau des plus hautes montagnes), mais encore le nombre de grains de sable dont le volume serait égal à celui du monde. (Tu auras retenu que le monde est le nom donné par la plupart des astronomes à la sphère dont le centre est le centre de la Terre et dont le rayon est égal à la droite tirée entre le centre du Soleil et le centre de la Terre.) »

Et Archimède démontre péniblement cette proposition qui paraîtrait aujourd'hui évidente. Il évalue par étapes successives le nombre de grains de sable contenus dans une sphère du diamètre d'un doigt comme inférieur à « une myriade de fois le nombre de six myriades et de quatre mille » (soit en numération moderne 640 000 000), et le diamètre du monde (fig. 1), comme inférieur à cent myriades de myriades de stade (un stade vaut environ 13 mètres). Et pour en déduire le nombre des grains de sable qui suffirait à remplir le monde, il se voit contraint à proposer une numération nouvelle allant au delà de la numération grecque classique. Il prend comme unités nouvelles la myriade carrée, la quatrième puissance de la myriade..., la puissance d'ordre  $2n$  de la myriade, etc..., et il les appelle unités d'ordre  $2, 3, \dots, (n+1), \dots$  Il trouve ainsi que le nombre cherché est inférieur à mille unités des nombres d'ordre sept, c'est-à-dire à  $10^{51}$  (fig. 1).

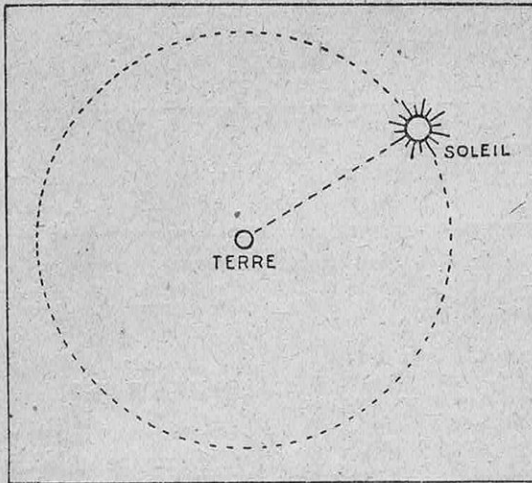


FIG. 1. — UN NOMBRE TRÈS GRAND, MAIS NON INFINIMENT GRAND : LE NOMBRE DE GRAINS DE SABLES SUFFISANT POUR REMPLIR LA SPHÈRE AYANT POUR CENTRE LA TERRE ET POUR RAYON SA DISTANCE AU SOLEIL. (D'APRÈS ARCHIMÈDE IL EST INFÉRIEUR À  $10^{51}$ )

On a maintenant les moyens d'aller bien au delà. Il est même concevable théoriquement qu'on puisse imaginer un nombre supérieur à celui des éléments de tout ensemble que nous pourrions dénombrer. Mais quelle que soit la manière de nous y prendre, il est certain que, pour chaque degré déterminé de civilisation, il y a une limite aux nombres que l'on peut effectivement compter. Toute conception d'un nombre supérieur à cette borne est purement théorique. Si  $N$  est cette borne, les nombres correspondant à une réalité sont au plus égaux à  $N$ . Mais alors faudra-t-il s'en tenir à cette limite pour les raisonnements ? Que de complications ! Par exemple, on observe que si  $n$  est un entier quelconque la somme,  $s$ , de l'unité et du produit des  $n$  premiers nombres entiers n'est divisible par aucun de ces  $n$  premiers entiers. On en déduit cette proposition importante : si  $n$  est un nombre premier (1), il existe un nombre premier supérieur à  $n$ . Devra-t-on ajouter : pourvu que  $s$  ne dépasse pas  $N$  ?

Il est plus simple de ne jamais s'occuper de cette limitation et d'imaginer purement et simplement la suite des entiers comme illimitée. Et voici l'infini introduit en mathématiques, non comme l'affirmation que cet infini correspond à une réalité sensible, mais comme une commodité de langage.

Nous avons déjà depuis longtemps professé ces idées, qui ne sont pas très répandues (2). Cependant, les deux passages suivants montrent

(1) C'est-à-dire un nombre qui n'est divisible que par lui-même et par l'unité.

(2) Ces idées sont distinctes de celles de certains mathématiciens qui, comme Kronecker, comme Robin, se refusent à admettre l'infini en mathématiques.

que nous pouvons nous autoriser d'illustres pré-  
déscesseurs.

Dans une lettre à Dancicourt, Leibniz écrivait :  
« Je leur témoignais que je ne croyais point qu'il  
y eût des grandeurs véritablement infinies, ni vé-  
ritablement infinitésimales, que ce n'était que  
des fictions utiles pour abrégier, et pour parler  
universellement, comme les racines imaginaires  
dans l'algèbre. »

Et Buffon, d'autre part, s'exprime ainsi : « Dès  
les premiers pas qu'on fait en géométrie, on  
trouve l'infini... Disons donc ici deux mots de  
la nature de cet infini, qui, en éclairant les hom-  
mes, semble les avoir éblouis. »

« ... une chose finie est une chose qui a des  
termes, des bornes; une chose infinie n'est que  
cette même chose finie à laquelle nous ôtons  
ces termes et ces bornes: ainsi l'idée de l'infini  
n'est qu'une  
idée de priva-  
tion et n'a point  
d'objet réel...  
Ces nombres ne  
sont que des  
représentations  
et n'existent ja-  
mais indépen-  
damment des  
choses qu'elles  
représentent; les  
caractères qui

les désignent ne leur donnent point de réa-  
lité, il leur faut un sujet, ou plutôt un  
assemblage de sujets à représenter, pour que  
leur existence soit possible; j'entends leur exis-  
tence intelligible, car ils n'en peuvent avoir de  
réelle; or, un assemblage d'unités ou de sujets  
ne peut jamais être que fini; c'est-à-dire qu'on  
pourra toujours assigner les parties dont il est  
composé; par conséquent, le nombre ne peut être  
infini quelqu'augmentation qu'on lui donne... »  
Et plus loin : « La plupart de nos erreurs en  
métaphysique viennent de la réalité que nous  
donnons aux idées de privation; nous connais-  
sons le fini, nous y voyons des propriétés réelles,  
nous l'en dépouillons, et en le considérant après  
ce dépouillement, nous ne le reconnaissons plus  
et nous croyons avoir créé un être nouveau, tan-  
dis que nous n'avons fait que détruire quelque  
partie de celui qui nous était entièrement  
connu. »

On ne doit donc considérer l'infini, soit en  
petit, soit en grand, que comme une privation,  
un retranchement à l'idée du fini, dont on peut  
se servir comme d'une supposition qui, dans  
quelques cas, peut aider à simplifier les idées  
et doit généraliser leurs résultats dans la prati-  
que des Sciences: ainsi, tout l'art se réduit à  
tirer parti de cette supposition en tâchant de  
l'appliquer aux sujets que l'on considère. Tout  
le mérite est donc dans l'application, en un mot,  
dans l'emploi qu'on en fait.

### L'infini potentiel

L'infini s'est introduit aussi à l'occasion des  
progressions géométriques (1).

Quand la « raison » de la progression est in-  
férieure à l'unité, on peut prouver que la somme  
des  $n$  premiers termes, tout en croissant avec  $n$ ,  
croît de plus en plus lentement et s'approche de  
plus en plus d'un certain nombre égal au quo-

(1) C'est-à-dire des suites de nombres dont chacun  
est le produit du précédent par un nombre fixe  
appelé « raison » de cette progression.

tinet du premier terme par l'excès de l'unité sur  
la raison. Bien que l'addition d'un nombre infini  
de termes soit une opération qui ne corresponde  
exactement à aucune réalité concrète, il est na-  
turel de dire cependant que ce quotient est la  
somme de la suite illimitée des termes de la  
série (fig. 2).

Cet exemple nous conduit à distinguer deux  
sortes d'infinis, l'infini actuel et l'infini potentiel.  
L'infini potentiel se rencontre quand on a af-  
faire comme ici à un ensemble variable dont le  
nombre des termes croît au delà de toute limite.  
L'infini actuel se présente quand on se trouve  
en présence d'un ensemble fixe d'objets dont le  
nombre est illimité.

L'infini potentiel est à la base des notions  
de limite, d'infiniment petit et d'infiniment  
grand (1). Nous nous contenterons de signaler

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^n} + \dots$$

FIG. 2. — UNE PROGRESSION GÉOMÉTRIQUE CONVERGENTE : LA  
SOMME DE SES TERMES, EN NOMBRE ILLIMITÉ, EST FINIE. DANS  
L'EXEMPLE CI-DESSUS, ELLE N'EST AUTRE QUE L'UNITÉ

qu'on y rencon-  
tre déjà une  
arithmétique un  
peu particulière  
conduisant à des  
propositions  
comme celle-ci :  
« l'ordre » (2)  
de la somme de  
deux infiniment  
grands positifs  
est, non pas su-  
périeur, mais  
égal au plus grand des deux ordres de ces  
infiniment grands.

### Georg Cantor découvre des nombres cardinaux « transfinis »

Passons à l'infini actuel. Sa conception a donné  
lieu à beaucoup de critiques de la part des phi-  
losophes; nombre d'entre eux ne voulaient ad-  
mettre l'infini que sous la forme potentielle.  
Leur thèse est exprimée par l'adage latin :

*Nihil est in infinito quod non prius fuerit in  
finito.* (Rien n'est dans l'infini qui n'aurait été  
d'abord dans le fini.)

Aussi est-ce bien une révolution qui a été  
provoquée en mathématiques par l'introduction  
— due à Cantor, entre 1874 et 1892 — des nom-  
bres dits « transfinis »...

Les explications de Cantor, embarrassées de  
considérations métaphysiques, étant assez obscu-  
res, nous présenterons donc les nombres trans-  
finis sous leur forme moderne, qui est beaucoup  
plus claire.

Le point de départ est simple. Il s'agit de

(1) Lorsque on dit, par exemple, que  $\frac{1}{x}$  tend vers  
l'infini quand  $x$  tend vers zéro (on écrit alors :  $\frac{1}{x}$   
 $\rightarrow \infty$  quand  $x \rightarrow 0$ ) ou lorsque l'on dit que  $\frac{1}{x}$  est  
infiniment grand quand  $x$  est infiniment petit, c'est là  
un langage abrégé et intuitif signifiant simplement  
qu'il suffit de prendre  $x$  assez petit pour rendre  $\frac{1}{x}$   
plus grand qu'une quantité donnée d'avance.

(2) Si  $y$  est une fonction de  $x$  telle que  $\frac{y}{x^n}$  ait une  
limite finie et non nulle quand  $x$  tend vers zéro, on  
dit que  $y$  est un infiniment petit d'ordre  $n$ ,  $x$  étant  
l'infiniment petit principal.

formuler la définition du nombre des éléments d'un ensemble d'objets d'une façon qui garde un sens quand cet ensemble est infini (comme, par exemple, l'ensemble des points d'une droite).

Mais, pour échapper aux difficultés d'ordre philosophique qui entourent la notion de nombre, au lieu de dire précisément ce qu'est un nombre, nous nous contenterons de préciser les propriétés que nous lui supposons et qui nous suffisent. Sans définir le nombre d'éléments d'un ensemble, nous indiquerons comment comparer numériquement deux ensem-

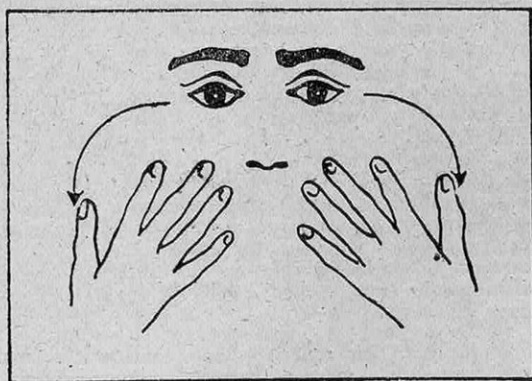


FIG. 3. — PRINCIPE DE LA COMPARAISON DE DEUX ENSEMBLES

Les deux ensembles considérés à titre d'exemple sont ici : l'ensemble des deux yeux et l'ensemble des dix doigts. Pour les comparer, nous associerons l'œil droit avec le pouce droit et l'œil gauche avec le pouce gauche dans une première opération dont le résultat pourra s'énoncer : le nombre des yeux est au plus égal à celui des doigts. Dans une deuxième opération, nous tenterons d'associer chaque doigt à un œil sans qu'un œil soit associé à plus d'un doigt, ce qui se trouvera impossible. Nous dirons alors que le nombre des doigts n'est pas au plus égal à celui des yeux, donc qu'il lui est supérieur. Pratiquement, nous jugeons le nombre de nos yeux comme inférieur au nombre de nos doigts en associant inconsciemment les yeux à deux des doigts. C'est le même principe d'association des éléments deux à deux que l'on emploie pour la comparaison d'ensembles quelconques, même infinis.

bles : considérant deux ensembles E et F, nous dirons quand le nombre d'éléments de E est inférieur, égal ou supérieur à celui des éléments de F.

Auparavant, et à cet effet, nous convenons que le nombre des éléments de E est au plus égal à celui de F, s'il est possible d'associer chaque élément de E à un élément de F (deux éléments de l'un de ces ensembles ne pouvant pas, par convention, être associés à un même élément de l'autre). En permutant E, F, on verra de même dans quel cas le nombre d'éléments de E sera dit au moins égal à celui de F.

Il est donc naturel de dire que le nombre d'éléments de l'ensemble E est égal à celui des éléments de l'ensemble F, si chacun de ces nombres est au plus égal à l'autre.

2	4	6	.....	32	.....
↓	↓	↓		↓	
1	3	5	.....	31	.....

FIG. 4. — LE NOMBRE (INFINI) DES ENTIERS PAIRS EST ÉGAL AU NOMBRE (INFINI) DES ENTIERS IMPAIRS

Le nombre d'éléments de E sera inférieur à celui des éléments de F si le premier est au plus égal au second sans que le second soit au plus égal au premier.

Il est clair que les nombres d'éléments des ensembles finis, c'est-à-dire les nombres entiers ordinaires vérifient ces conditions. Par exemple, le nombre de mes yeux est inférieur à celui de mes doigts. Car je puis associer mon œil droit par exemple avec mon pouce droit, et mon œil gauche avec mon pouce gauche : donc le nombre de mes yeux est au plus égal à celui de mes doigts (fig. 3). Mais si j'associe chacun de mes doigts, soit à mon œil droit, soit à mon œil gauche, il y aura fatalement un œil qui correspondra à plusieurs de mes doigts. C'est dire que le nombre de mes doigts n'est pas au plus égal au nombre de mes yeux.

On pourrait objecter qu'en réalité c'est par une opération mentale toute différente que nous jugeons l'inégalité des nombres d'éléments de deux ensembles. Nous comptons 2 yeux, 10 doigts et nous savons que 2 est inférieur à 10. Mais cette façon d'opérer n'est qu'en apparence différente de celle décrite plus haut. Quand nous comptons les doigts nous leur faisons correspondre successivement les signes représentatifs 1, 2, ..., 10; de même pour les yeux auxquels nous faisons correspondre les signes 1 et 2 ... L'ensemble (1 et 2) appartient à l'ensemble (1, 2, ..., 10). On s'est servi de l'intermédiaire commode des signes 1, 2 ... mais il en est bien résulté finalement une correspondance déterminée entre les yeux et les deux premiers doigts.

En revenant à des ensembles quelconques, on observe que si l'on peut associer les éléments de deux ensembles E, F de sorte que la correspondance s'étende à tous les éléments de E et de F, les nombres des éléments de E et de F sont égaux d'après la définition donnée plus haut. La réciproque ne s'impose pas a priori. Mais Félix Bernstein a démontré que si les nombres des éléments de E et de F sont égaux on peut, en effet, associer les éléments de E et de F de sorte qu'aucun élément (de E ou de F) ne reste en dehors de la correspondance.

1	2	3	4	.....	n	.....
↓	↓	↓	↓		↓	
2	4	6	8	.....	2n	.....

FIG. 5. — LA SUITE DE TOUS LES ENTIERS A LE MÊME NOMBRE (INFINI) D'ÉLÉMENTS QUE LA SUITE DES SEULS ENTIERS PAIRS QUI N'EN EST POURTANT QU'UNE PARTIE

Il serait possible de prolonger indéfiniment les deux suites ci-dessus en associant deux à deux leurs éléments, suivant le principe adopté pour la comparaison des ensembles. Il faut donc conclure que les nombres (infinis) de leurs éléments sont égaux.

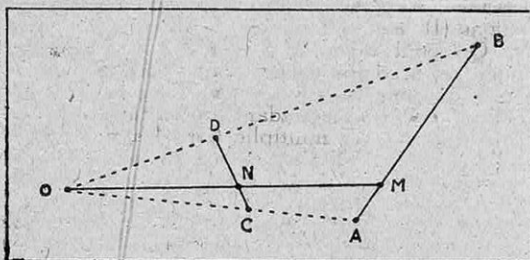


FIG. 6. — TOUS LES SEGMENTS COMPORTENT LE MÊME NOMBRE (INFINI) DE POINTS

Il est possible, en effet, d'associer deux à deux tous les points de ces segments, quelles que soient leurs longueurs (par exemple, en traçant des droites telles que  $ONM$  qui associent les points  $N$  et  $M$ ). Une correspondance peut être établie même lorsqu'un des segments est indéfiniment prolongé, ou lorsqu'il s'agit de lignes courbes.

C'est maintenant le moment de constater que les définitions précédentes gardent un sens pour des ensembles infinis. Par exemple, le nombre des entiers pairs est égal (au sens précis qui vient d'être donné à l'égalité de deux nombres) au nombre des entiers impairs. Car on peut établir entre ces deux ensembles une correspondance qui les épuise comme celle qui est indiquée par des flèches dans la figure 4, page 41. Seulement, quand les définitions précédentes — que nous sommes habitués à n'appliquer qu'aux ensembles finis — auront été étendues aux ensembles infinis, nous ne devons pas nous étonner de rencontrer des propositions inattendues. Si elles nous paraissent paradoxales, c'est seulement parce qu'elles le seraient effectivement si on les appliquait uniquement aux ensembles auxquels nous sommes habitués, aux ensembles finis. Par exemple, il n'est pas impossible que la partie soit aussi nombreuse que le tout. La figure 5 en donne la preuve. On peut en donner un autre exemple dont l'importance est infiniment plus grande. G. Cantor a démontré, en effet, que le nombre des points d'un carré est aussi grand que celui des points d'un des côtés de ce carré (1).

Ce résultat, au premier abord surprenant, prouve qu'on faisait fausse route quand on définissait le nombre de dimensions d'un espace comme le nombre de quantités qu'il faut connaître pour déterminer la position d'un point de cet espace. D'après cette définition, on déclarait que le nombre de dimensions d'un carré est égal à 2 tandis que celui du côté est égal à 1. Il semblait, en effet, nécessaire de connaître deux nombres pour déterminer la position d'un point du carré (par exemple, les distances de ce point à deux côtés rectangulaires). Le théorème de Cantor montre qu'un seul nombre suffit pour déterminer la position d'un point  $M$  du carré. En effet, d'après ce théorème, on peut associer à chaque point  $M$  du carré un point  $m$  d'un côté  $AB$  du carré. La position de  $M$  sera donc entièrement déterminée par la distance  $Am$ .

Ce théorème paraissait d'abord faire évanouir la notion de dimension. On voit le moyen de la faire ressusciter quand on dénombre que la correspondance entre  $M$  et  $m$  ne peut être partout continue, c'est-à-dire que si  $M'$  et  $m'$  sont deux autres positions correspondantes de  $M$  et  $m$ , alors, lorsque  $M'$  est voisin de  $M$ ,  $m'$  peut ne pas être voisin de  $m$  (fig. 7). On pourra donc revenir à la

(1) Cela est vrai également pour le nombre des points dans le volume d'un cube.

définition ci-dessus du nombre de dimensions pourvu qu'on impose la condition supplémentaire de continuité à la correspondance entre un point de l'espace et l'ensemble de quantités qui déterminent sa position.

Mais, après cette digression, revenons aux définitions de l'égalité et de l'inégalité de deux nombres. D'après elles, le nombre des éléments de la suite  $S$  de tous les entiers est supérieur à celui des éléments de tout ensemble fini. On a donc le droit d'adjoindre au moins un signe numérique distinctif à la suite des entiers, par exemple le signe  $\infty$  (énoncé : infini), déjà employé plus haut, et qui représentait, par exemple, le nombre des éléments de la suite  $S$ . L'infini est supérieur (non seulement intuitivement, mais au sens précis donné plus haut) à tout entier. Mais la généralisation introduite par Cantor n'aurait rien apporté de nouveau s'il avait suffi d'un seul signe pour représenter l'un quelconque des nombres d'éléments des ensembles infinis. C'est donc une autre contribution essentielle de Cantor que d'avoir prouvé que ces nombres ne sont pas tous égaux. Et il l'a montré dans un cas particulièrement important : le nombre des éléments de l'ensemble  $C$  des nombres dits réels (à savoir des nombres entiers, fractionnaires ou incommensurables) est supérieur au nombre d'éléments de la suite  $S$  de tous les entiers. En d'autres termes, il est impossible de numéroter (à l'aide d'indices entiers) l'ensemble  $C$  de tous les nombres réels (1).

(1) Les nombres « algébriques » sont les nombres tels que  $\sqrt{2}$  qui peuvent être obtenus par les opérations fondamentales de l'arithmétique (plus généralement, ce sont les racines d'équations polynomiales à coefficients entiers). On démontre que l'ensemble des nombres algébriques, qui comprend comme cas particuliers tous les nombres entiers et fractionnaires, peut être numéroté au moyen de la série des nombres naturels, 1, 2, 3, 4, 5, .... Mais il existe d'autres nombres infiniment plus nombreux, les nombres transcendants, dont le type est le nombre  $\pi$ . C'est l'ensemble des nombres réels, lequel contient

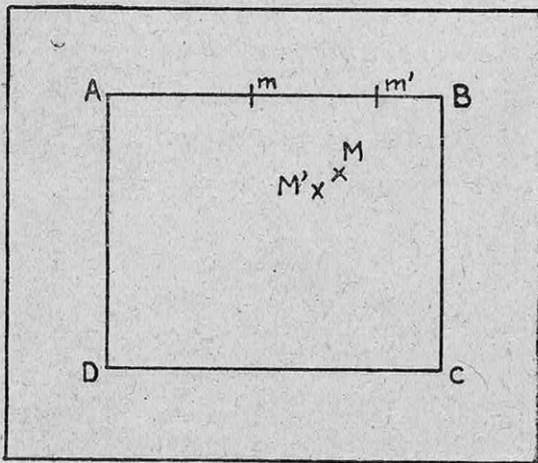


FIG. 7. — LE NOMBRE (INFINI) DES POINTS DE LA SURFACE D'UN CARRÉ EST ÉGAL AU NOMBRE (INFINI) DES POINTS DE SON CÔTÉ

On démontre qu'on peut, en effet, établir une correspondance entre chaque point  $M$  du carré et un point associé,  $m$ , du côté  $AB$ . Mais, dans une telle correspondance, pour un point  $M'$  voisin de  $M$ , le point correspondant  $m'$  de  $AB$  peut n'être pas voisin de  $m$  : la correspondance n'est pas « continue ».

Il en résulte qu'il existe au moins deux nombres infinis distincts. Ce pas décisif une fois fait, il est facile de définir d'autres nombres infinis distincts des précédents.

Mais ces deux nombres infinis restent, de loin, les deux plus importants parmi les nombres infinis. Aussi a-t-on donné un qualificatif à tous les ensembles qui peuvent être numérotés (par des indices entiers), on les appelle *ensembles dénombrables*. Il est facile de voir que leur nombre commun d'éléments (qui est plus grand que tout entier) est le plus petit des nombres infinis. G. Cantor le représente par le caractère hébraïque *aleph* (1). Il est intéressant d'indiquer quelques exemples d'ensembles dénombrables. Tel est, d'abord, bien entendu, l'ensemble des entiers.

Sont aussi dénombrables :

l'ensemble des entiers précédés du signe + ou du signe - ;

l'ensemble des fractions (2) ;

l'ensemble des points d'un carré dont les dis-

tes nombres « naturels » (entiers), fractionnaires, incommensurables et transcendants, qui ne peut être numéroté à l'aide de la seule suite des nombres naturels. On dit quelquefois que l'ensemble des nombres réels a la « puissance du continu », car on démontre qu'il y a autant de nombres réels que de points sur une ligne (donc que de points sur une surface, dans un volume, etc...).

(1) On représente d'ordinaire par C le nombre (transfini) des points d'un segment de droite.

(2) Si l'on considère, par exemple, les fractions

tances aux côtés sont représentées par des fractions (1), e.c...

On peut même indiquer des catégories plus générales, d'ensembles dénombrables.

Mais nous ne voulons pas fatiguer le lecteur. Avertissons-le cependant qu'on a aussi défini l'addition et la multiplication des nombres généralisés introduits plus haut. D'autre part, nous dirons seulement ici que, dans ce qui précède, nous aurions dû dire partout nombre cardinal au lieu de nombre. Car, pour abrégé, nous avons laissé délibérément de côté la définition des nombres ordinaux qui est plus complexe que celle des nombres cardinaux. Cantor a généralisé séparément dans le domaine du transfini les nombres cardinaux et ordinaux.

M. FRÉCHET.

entre 0 et 1, on peut en écrire la suite de la façon suivante :

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}, \dots, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \frac{3}{n}, \dots, \frac{n-1}{n}, \dots$$

puis en supprimer les fractions réductibles, telles que

$\frac{2}{2}$

— dont la valeur se trouve déjà dans la suite, et

$\frac{4}{4}$

enfin numéroté la suite obtenue dans l'ordre où elle se présente. L'ensemble de ces fractions est donc dénombrable. On en déduit facilement qu'il en est de même de l'ensemble de toutes les fractions.

(1) Il ne faut pas inclure les points dont les distances soient représentées par des nombres incommensurables ou transcendants, car on obtient alors un ensemble « transfini », non dénombrable.

## LES A COTÉ DE LA SCIENCE INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

### La récupération de l'énergie aux bancs d'essais des moteurs d'aviation

LA consommation de combustible d'un moteur d'aviation moderne de grande puissance, fonctionnant dans les meilleures conditions, est de quelque 200 g par cheval-heure ou 270 g par kilowatt-heure. Au cours des essais de mise au point à l'usine, le moteur fonctionnant plus ou moins longtemps à des régimes éloignés de son régime nominal, la consommation moyenne est sensiblement supérieure. Pour ces essais, il n'est pas rare qu'un moteur de 2 000 ch développe jusqu'à 2 000 kWh qui sont absorbés par les

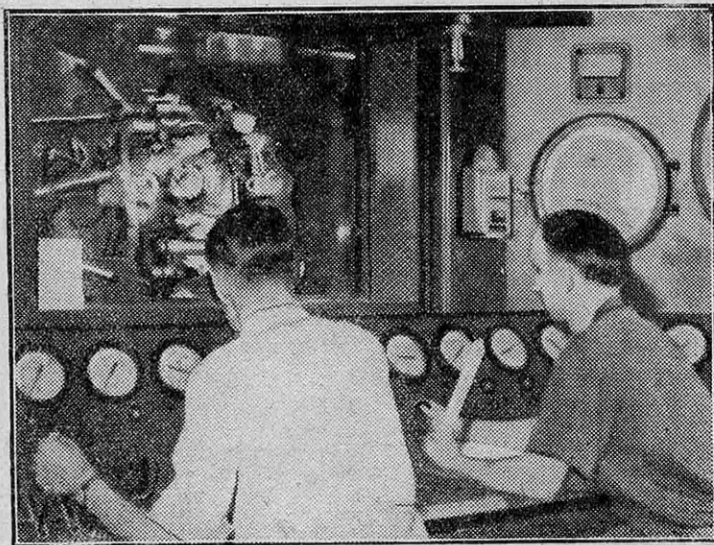


FIG. 1. — AUX USINES FORD DE RIVER-ROUGE LES BANC D'ESSAIS DES MOTEURS D'AVIATION DE 200 CH SONT LOGÉS DANS DES CABINES INSONORISÉES ET PERMETTANT LA RÉCUPÉRATION DE L'ÉNERGIE DÉVELOPPÉE PAR LES MOTEURS

freins du banc d'essais et qui ne représentent pas loin de 1 000 litres d'essence.

C'est pourquoi, depuis que les moteurs sortent des usines au rythme accéléré qu'exige l'équipement des flottes aériennes, on s'est posé le problème de la récupération de cette énergie. Si on peut admettre, en gros, que la récupération de l'énergie développée en brûlant un litre d'essence sur un banc d'essais correspond à une économie d'un kilogramme de charbon, on voit quel tonnage appréciable de combustible solide on économiserait en récupérant l'énergie perdue dans la mise au point des centaines de milliers de moteurs de toutes puissances que sort actuellement l'industrie américaine.

Techniquement, le pro-

blème de cette récupération est ardu. Le moteur d'avion doit, en principe, entraîner un alternateur débitant sur le réseau général de distribution de l'usine. Bien que sa vitesse de rotation soit essentiellement variable, la puissance fournie doit l'être à la fréquence constante du réseau. La General Electric Co aux Etats-Unis, et l'English Electric Co en Grande-Bretagne ont résolu le problème en reliant le moteur d'avion à une machine synchrone par l'intermédiaire d'un accouplement hydraulique. La machine synchrone fonctionne à volonté en moteur ou en génératrice, absorbant à chaque instant la puissance variable débitée par ce moteur, aux pertes dans l'accouplement près.

Dans les usines américai-

nes de la Ford Motor Co qui fabriquent en grande série les moteurs Pratt et Whitney « Double Wasp » de 18 cylindres en double étoile développant 2 000 ch, des bancs d'essais ont été ainsi équipés. Pour éviter toute perte de temps dans le montage, chaque banc est mobile, et le moteur y est fixé directement dans les ateliers de montage. Une puissante grue le soulève avec son lourd socle d'acier et le transporte sur les rails aboutissant aux cellules insonorisées des essais.

On estime que cette installation permet aux bancs d'essais de fournir 53 % de la consommation d'électricité des ateliers de fabrication des moteurs.

V. RUBOR.

## NUMÉROS DISPONIBLES

Nous pouvons fournir à nos lecteurs les numéros suivants :

**166, 200, 201, 202, 204, 210, 211, 213, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 227, 231, 234, 237, 238, 239, 244, 263, 264, 265, 268, 272, 273, 275, 276, 278, 279, 280, 281, 289, 290, 291, 303, 307, 308, 309, 322, 323, 326, 327.**

Envoyer **exclusivement par chèque postal** au C. C. Postal Toulouse 184.05 :

— **10 francs** par exemplaire commandé pour les numéros ordinaires;

— **20 francs** pour les numéros spéciaux : **280, 284.**

Nous nous réservons le droit de rembourser les lecteurs dont les commandes ne pourront être assurées, par suite de l'épuisement du stock.

**Pour être sur de lire régulièrement *SCIENCE ET VIE*,**

**abonnez-vous :**

	Francs	Étranger
Envois simplement affranchis.....	110 francs	200 francs
Envois recommandés.....	140 francs	250 francs



Tous les règlements doivent être effectués par chèque postal : 184.05 Toulouse. Nous n'acceptons pas les timbres-poste.

Prière de joindre 3 francs pour les changements d'adresse.

La *table générale des matières* n° 1 à 186 (1913-1932) est expédiée franco contre 25 francs.



# "L'Électricité c'est l'avenir des jeunes"



Étudiez chez vous, sans interrompre vos occupations, la plus jeune et la plus passionnante des sciences

## L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS

En 6 mois, grâce à notre méthode moderne d'enseignement pratique professionnel, vous deviendrez l'expert recherché dans l'Industrie, le Cinéma, la Télévision, l'Amplification, etc

## INSTITUT ELECTRO-RADIO

6, RUE DE TÉHÉRAN-PARIS - 8<sup>e</sup>

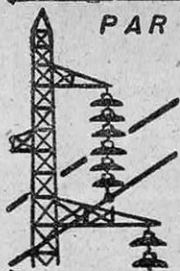
DE SUITE, écrivez-nous pour recevoir gratuitement notre luxueux programme. Service V S

"L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES"  
PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

## APPRENEZ L'ÉLECTRICITÉ

PAR CORRESPONDANCE

sans connaître les  
mathématiques



Tous les phénomènes électriques ainsi que leurs applications industrielles et ménagères les plus récentes sont étudiées dans le cours pratique d'électricité sans nécessiter aucune connaissance mathématique spéciale.

Chacune des manifestations de l'électricité est expliquée à l'aide de comparaison avec des phénomènes connus par tous et toutes les formules de calcul sont indiquées avec la manière de les utiliser. En dix mois vous serez à même de résoudre tous les problèmes pratiques de l'électricité industrielle.

Ce cours s'adresse aux praticiens de l'électricité, aux radio-électriciens, aux mécaniciens, aux vendeurs de matériel électrique et à tous ceux qui sans aucune étude préalable désirent connaître réellement l'électricité, tout en ne consacrant à ce travail que quelques heures par semaine.

**COURS  
PRATIQUE  
D'ÉLECTRICITÉ**

**BON**  
pour la documentation 4 A  
(joindre 4 f 50 en timbres).

122, Boulevard Pereire - PARIS-17<sup>e</sup>

## Un quart de siècle

C'est en effet en 1919 que, sous le nom de « Ecole T.S.F. Lavigne », nous faisons notre première publicité dans « Science et Vie ».

C'est avec plaisir que nous reprenons contact avec le public choisi des lecteurs de ce périodique.

Après quatre années de bâillon, nous avons enfin le droit de reprendre notre enseignement normal.

Pour rattraper dans une certaine limite le temps perdu, nous avons pris des mesures pour ouvrir une deuxième session de cours le 3 janvier et avons, d'autre part, établi des cours préparatoires par correspondance susceptibles de faire gagner un an aux élèves qui se destinent à la rentrée d'octobre 1945.

Afin de nous éviter une correspondance fastidieuse, nous prions les personnes intéressées de vouloir bien nous donner les renseignements ci-dessous :

### Bulletin de renseignements

Nom : ..... Age : .....

Adresse : .....

Diplômes obtenus : .....

Niveau d'instruction en mathématiques : .....

**BUT DES ETUDES :** Opérateur (Marine - Aviation - Stations aéronautiques - Sécurité Nationale - Police Paris, Colonies - Chemins de Fer). — Industrie : (Radiotechnicien (I), agent technique, sous-ingénieur). — Certificat d'études supérieures.

1. Rayer les mentions inutiles.

## ÉCOLE FRANÇAISE DE RADIOÉLECTRICITÉ

10, rue Amyot - PARIS (5<sup>e</sup>)

Téléph. Port-Royal 05.95

## LES MEILLEURES ETUDES PAR CORRESPONDANCE

se font à l'ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS où les meilleurs maîtres, appliquant les meilleures méthodes d'enseignement par correspondance, forment les meilleurs élèves.

### LA CÉLEBRE METHODE DE CULTURE MENTALE DUNAMIS

... permet à chacun, moyennant vingt à trente minutes par jour d'exercices attrayants de développer au maximum son attention, son intelligence, sa mémoire, son imagination, sa volonté, d'acquiescer la confiance en soi et, selon l'expression d'un éminent pédagogue, de FORCER LE SUCCES EN TOUS DOMAINES. Elle s'adresse à tous ceux, hommes et femmes, qui veulent non seulement conserver intact, mais encore accroître chaque jour, le trésor de leurs facultés mentales. Demandez la notice gratuite numéro R. 870.

### LE COURS DE DESSIN

... où, pour la première fois dans l'histoire de l'enseignement des arts graphiques, a été appliqué le principe : « APPRENDRE A DESSINER, C'EST APPRENDRE A VOIR; QUI SAIT VOIR, SAIT DEJA DESSINER », vous rendra capable de dessiner paysages, natures mortes et portraits; en outre, il vous permettra, le cas échéant, de vous spécialiser dans une des nombreuses carrières ouvertes aux dessinateurs. Demandez la notice gratuite numéro R. 871.

### LE COURS D'ELOQUENCE

... vous rendra maître de votre langage, vous affranchira de la funeste timidité, vous donnera le moyen de vous exprimer dans les termes les plus choisis et les plus persuasifs; vous permettra, d'une part, d'improviser compliments, speeches ou allocutions dans toutes les circonstances de la vie familiale ou professionnelle, et, d'autre part, de préparer aisément des conférences, des discours selon les meilleures et les plus sûres traditions de l'art oratoire. Demandez la brochure gratuite numéro R. 872.

### LE COURS DE PUBLICITE

... essentiellement pratique, mettra à votre disposition tous les secrets de la technique publicitaire sous toutes ses formes, et vous permettra soit de vous créer une situation dans la publicité, soit de développer dans des proportions inespérées le volume de vos affaires, qu'elle qu'en soit l'importance actuelle. (Notice grat. n° R. 873.)

Si vous désirez faire des ETUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES, n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au BREVET ELEMENTAIRE, au B.E.P.S., au CERTIFICAT D'ETUDES CLASSIQUES ou MODERNES et au BACCALAUREAT. Demandez l'envoi gratuit de la brochure numéro R. 874 (études primaires) ou numéro R. 875 (études secondaires).

## ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, boulevard des Belges, LYON (Rhône).

16, rue du Général-Malletterre, PARIS (16e).

Devenez  
**DESSINATEUR  
et PEINTRE!**



Renseignez-vous aujourd'hui même sur l'ÉCOLE INTERNATIONALE et sur les lucratives et passionnantes carrières auxquelles vous pourrez prétendre lorsque vous saurez dessiner. L'ÉCOLE INTERNATIONALE vous offre gratuitement un très bel Album qui vous expliquera comment vous pouvez apprendre rapidement et agréablement, chez vous, à dessiner et à peindre. Pour recevoir cet Album, sans aucun engagement pour vous, il vous suffit de découper le bon ci-dessous, d'y joindre 5 Frs, à votre gré, ainsi que votre nom et adresse, et d'adresser aussitôt votre lettre à

**L'ÉCOLE INTERNATIONALE**  
PAR CORRESPONDANCE  
**DE DESSIN ET DE PEINTURE**  
SERVICE DN \_\_\_\_\_ PRINCIPAUTÉ DE MONACO



# VOTRE AVENIR *est dans* LA RADIO

*Inscrivez-vous à nos  
cours du JOUR, du SOIR  
ou par CORRESPONDANCE*



## ECOLE CENTRALE DE T.S.F.

12, Rue de la Lune - Paris -

PUBLICITÉS RÉUNIES

## COURS DE DESSIN PAR CORRESPONDANCE

**D**epuis 34 ans Marc SAUREL enseigne le dessin par correspondance. Il possède en cette matière une expérience très complète qui lui a permis d'inventer des méthodes entièrement nouvelles, jeunes et vivantes, adaptées à tous les genres de dessin, comme le démontre l'exposition du DESSIN FACILE où étaient exposés, pendant le mois de décembre, près de cinq cents dessins exécutés par les élèves. C'est une véritable joie d'apprendre le dessin par la méthode Marc SAUREL qui permet de très rapides progrès dès le début. De magnifiques planches photographiques établies spécialement dans un but éducatif sont fournies gratuitement avec le cours, ce qui permet d'étudier chez soi, sans perdre de temps, à rechercher d'introuvables modèles.



*Dessin  
d'Étude*

*Pour les Adultes :*

### “LE DESSIN FACILE”

*Croquis, paysages, portrait, caricature. Beaux modèles fournis avec le cours, leçons à l'essai.*

*Pour les Enfants :*

### “JE DESSINE”

*en dix leçons abondamment illustrées.*

*Cours techniques :*

Dessin industriel	Dessin de Publicité
Dessin de Mode	Dessin
Dessin Animé de	d'illustration
Cinéma	Dessin de lettres

**BON**

S. V. 50

Demandez la brochure illustrée en spécifiant le cours qui vous intéresse. Joindre 4 fr. 50 en timbres et le bon ci-contre.



“LE DESSIN FACILE”

11, R. KEPPLER - PARIS (16°)

# NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



# NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS - ST-DENIS (SEINE) - PLAINE : 16.55