

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Notice de la Revue	
Auteur(s) ou collectivité(s)	La science et la vie
Auteur(s)	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Adresse	Paris : La science et la vie, 1913-1945
Collation	339 vol. : ill. ; 24 cm
Cote	SCI.VIE
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Note	À partir de février 1943, le titre devient "Science et Vie". La bibliothèque du Cnam ne possède pas de collection, la numérisation a été faite grâce au prêt de la collection privée de M. Pierre Cubaud.

Notice du Volume	
Auteur(s) volume	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Volume	Tome 61. n. 296. Avril 1942
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1942
Collation	1 vol. (VIII p. - p.[169]-224) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 296
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/12/2019
Date de génération du PDF	05/12/2019
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?SCVIE.296

Avril 1942

12 francs

la Science et la Vie



PÂQUES 1942

Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

ECOLE SPECIALE DE T.S.F.

Normalement à PARIS SECTION DE L'ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL Pendant la guerre

Sauf pendant la guerre Fondée en 1917 3, Rue du Lycée

COURS PAR CORRESPONDANCE (Inscription à toute époque)

Les élèves des Cours par correspondance reçoivent des cours autographiés ou ouvrages imprimés et des séries de devoirs qui leur sont corrigés et retournés conformément à un emploi du temps.

SECTION ADMINISTRATIVE

L'importance de cette section est des plus grandes, car les seuls brevets de Radiotélégraphiste délivrés par l'Etat sont les trois certificats que délivre après examen le Ministre des P. T. T. :

CERTIFICAT SPÉCIAL

Accessible aux jeunes gens ayant une bonne instruction primaire.

CERTIFICAT DE 2^e CLASSE

Accessible aux jeunes gens ayant une bonne instruction primaire supérieure ou ayant fait le lycée jusqu'à la seconde.

CERTIFICAT DE 1^{re} CLASSE

Accessible aux jeunes gens ayant terminé la classe de première de lycée.

A QUOI SERVENT CES BREVETS ?

Le certificat spécial permet l'entrée dans les armes du Génie, de l'Air, de la Marine de guerre. Il permet d'être embarqué comme écouteur à bord des navires de commerce. Il peut servir aux officiers de la Marine marchande et aux navigateurs aériens.

Le certificat de 2^e classe, à condition d'être titulaire du diplôme de Radio de la Marine marchande, permet de naviguer comme officier sur les navires de commerce.

Le certificat de 1^{re} classe permet de devenir officier chef à bord des navires de commerce. Il est exigé pour se présenter à tous les concours administratifs : Aviation civile, Police, P. T. T., etc.

A noter que les concours d'opérateur et de Chef de Poste radioélectricien du Ministère de l'Air sont des plus intéressants.

DIPLOME DE RADIOTÉLÉGRAPHISTE DE LA MARINE MARCHANDE

Ce diplôme est délivré par le Ministre de la Marine après un examen portant sur la navigation. Ajouté au certificat de 1^{re} ou 2^e classe des P. T. T., il permet de naviguer comme officier sur les navires de commerce.

Les candidats doivent posséder la 1^{re} ou 2^e classe P. T. T.

Opérateur du Ministère de l'Air, Inspecteur radio de la Police, etc.

SECTION INDUSTRIE

COURS DE MONTEUR-DÉPANNEUR

Notions d'arithmétique, algèbre, géométrie, Electricité, T. S. F. Dépannage, Construction et Montage de postes.

COURS D'ADJOINT TECHNIQUE OU D'OPÉRATEUR

Arithmétique, Algèbre, Géométrie, Physique, Mécanique, Electricité industrielle, T. S. F. Dessin, Dépannage, Construction et Montage de postes.

COURS DE RADIOTECHNICIEN OU CHEF DE POSTE

Arithmétique, Algèbre, Géométrie, Trigonométrie, Règle à calcul, Mécanique, Résistance des matériaux, Physique, Chimie, Electricité, Moteurs thermiques, Radiotechnique théorique et appliquée, Dépannage, Construction et montage, Dessin.

COURS DE SOUS-INGÉNIEUR

Algèbre, Géométrie, Trigonométrie, Règle à calcul, Mécanique, Résistance des matériaux, Electricité (courant continu, courant alternatif), Unités des mesures électriques, Mesures électriques, Radioélectricité théorique et appliquée, Émission, Réception, Installation et ensemble, Ondes dirigées, Machines et moteurs thermiques, etc.

COURS D'INGÉNIEUR

Mathématiques supérieures, Géométrie analytique, Géométrie descriptive, Physique, Thermodynamique, Mécanique, Résistance des matériaux, Electricité (moteurs et machines), Electrotechnique, Essais des moteurs, Calcul des machines, Mesures, Construction de l'appareillage, Radioélectricité technique, théorique et appliquée, Projets, Rapports techniques, Machines et moteurs thermiques.

COURS SUR PLACE

L'École libre de Navigation Maritime, 21, Boulevard Frenck-Pilatte, NICE, reçoit des jeunes gens, candidats aux divers brevets spéciaux, 2^e classe ou 1^{re} classe (P. T. T., Marine marchande), comme élèves externes ou internes. Un cours préparatoire d'aspirant radio, pour l'entrée aux sections ci-dessus, y est également organisé.

Envoi gratuit du programme détaillé pour chaque section.
(Joindre un timbre pour réponse)

CECI INTÉRESSE

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

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

L'ÉCOLE UNIVERSELLE par correspondance de Paris

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

- BROCHURE N° L. 517.** — CLASSES PRIMAIRES ET PRIMAIRES SUPÉRIEURES COMPLÈTES, depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Certificat d'études, Certificat d'études préparatoires, Bourses, Brevets, C. A. P.
- BROCHURE N° L. 518.** — CLASSES SECONDAIRES COMPLÈTES, depuis la onzième jusqu'à la classe de Mathématiques spéciales incluse. Examens de passage, Certificat d'études classiques ou modernes du 1^{er} cycle, Diplôme de fin d'études secondaires, Baccalauréats.
- BROCHURE N° L. 519.** — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats (Lettres, Sciences, Langues vivantes, Classes élémentaires des Lycées, Professorats pratiques), Examens professionnels, P. C. B., etc.
- BROCHURE N° L. 520.** — TOUTES LES GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES : Agriculture, Industrie, Travaux publics, Mines, Commerce, Armée et Marine, Enseignement, Beaux-Arts, Assistance, etc.
- BROCHURE N° L. 521.** — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES.
- BROCHURE N° L. 522.** — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS : Ingénieur (diplôme d'Etat), Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de chantier, Contremaître, etc.
- BROCHURE N° L. 523.** — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE, du Génie rural, etc.
- BROCHURE N° L. 524.** — CARRIÈRES DU COMMERCE (Administrateur commercial, Secrétaire, Correspondancier, Sténo-dactylo, Représentant, Services de publicité, Expert-comptable, Comptable, (Teneur de livres), de l'INDUSTRIE HOTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.
- BROCHURE N° L. 525.** — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE.
- BROCHURE N° L. 526.** — LANGUES VIVANTES (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Russe, Portugais, Arabe, Annamite), TOURISME (Interprète), etc.
- BROCHURE N° L. 527.** — AIR, RADIO, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, T. S. F., etc.
- BROCHURE N° L. 528.** — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, JOURNALISME (Rédaction, Administration, Direction), etc.
- BROCHURE N° L. 529.** — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Instruments de jazz, Professorats, etc.
- BROCHURE N° L. 530.** — ARTS DU DESSIN : Dessin pratique, Anatomie artistique, Dessin de Mode, Illustration, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Fusain, Pastel, Professorats, Métiers d'art, etc.
- BROCHURE N° L. 531.** — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE : Petite main, Seconde main, Première main, Vendeuse, Retoucheuse, Coupeur, Coupeuse, Modéliste, Professorats, etc.
- BROCHURE N° L. 532.** — CARRIÈRES FÉMININES dans toutes les branches de l'activité.
- BROCHURE N° L. 533.** — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ : Coiffeuse, Manucure, Pédicure, Masseur, etc.

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

DES MILLIERS DE SUCCÈS

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

ÉCOLE UNIVERSELLE

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

Apprenez à dessiner en 10 mois

par la Nouvelle Méthode MARC SAUREL



"LE DESSIN FACILE"

★ 30 ans de pratique et de succès continuels ont permis à Marc SAUREL, pionnier de l'enseignement du dessin par correspondance, de perfectionner sa nouvelle méthode qui, dès son apparition, a obtenu le plus éclatant succès. 2 heures par semaine suffisent pour l'étude des leçons. De magnifiques planches photographiques vous sont fournies avec les cours, évitant la recherche de modèles souvent introuvables. Ainsi vous pouvez étudier le dessin chez vous, le soir, sous la lampe, à vos heures de loisir. C'est quelque chose de neuf, d'incédit. L'enseignement du DESSIN FACILE vous spécialise suivant vos désirs dans les carrières lucratives du dessin ; Illustration, Publicité,

Mode, etc... ★ Retournez-nous le Bon ci-contre avec votre nom et votre adresse, pour recevoir gratuitement nos Notices illustrées.

Si vous savez déjà dessiner apprenez le DESSIN ANIMÉ

★ Suivez le cours technique de Dessin Animé que vient de créer la jeune et moderne Ecole du "Dessin Facile". Par le dessin vous pénétrerez dans le monde magique du cinéma.



"LE DESSIN FACILE"

à BANDOL (Var)

Siège à PARIS, 11, rue Képpler — 16*

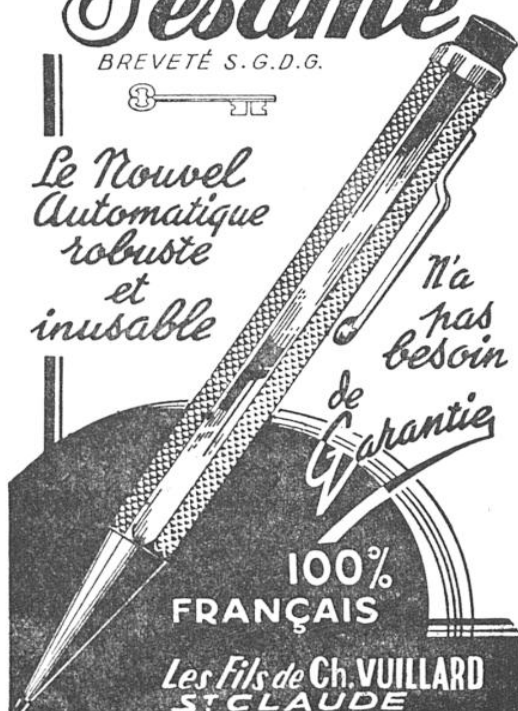
BON POUR 2 NOTICES
GRATUITES S.V10

"Sésame"

BREVETÉ S.G.D.G.



Le Nouvel
Automatique
robuste
et
inusable



Il n'a
pas
besoin
de
Garantie

100%
FRANÇAIS

Les Fils de Ch. VUILLARD
ST CLAUDE

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



J. BÉGUÉ

13. RUE CROIX-BARAGNON. 13

TÉL. 258-99 - TOULOUSE



GRACE A LA COMMODITÉ, AU RENDEMENT DE
“CARBODISTIL”

SUR TOUTES LES ROUTES DE FRANCE POURRA ÊTRE INSTALLÉE
LA STATION SERVICE “CARBODISTIL”

Traitement immédiat dans un délai très
 court de tous les bois et sarments.

Grâce à “Carbodistil” on obtient : **du bois séché en 1 heure,**
du bois roux en 2 heures,
du charbon de bois en 6 heures.

Son rendement : 25 à 30 % de charbon épuré ; récupération des goudrons et jus pyroligneux.

A volume égal, les fours “CARBODISTIL” produisent onze fois plus.

Avec “CARBODISTIL” rendement 100 % de la forêt française.

DÉMONSTRATIONS - RENSEIGNEMENTS

Société E.F.A.I.

5, rue Monjardin, NIMES (Gard) - Téléph. 29-31 - 29-21.



TOUT POUR LA CARBONISATION		
CARBONISATION Fours automatiques à distillation. Condenseur "TORNADO" avec éjecteur à vapeur ECORÇAGE Fours mobiles à éjecteur GAZOGÈNES AGENCES en ALGERIE MAROC TUNISIE A. O. F.		RÉCUPÉRATION Fours automatiques Double paroi — Sole Monobloc 634 à volets autorégulateurs ÉTUVAGE Fours spéciaux transportables ACCESSOIRES AGENCES en FRANCE et ETRANGER
CARBO-FRANCE SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS G. BONNECHAUX 40, BOULEVARD CARNOT - TOULOUSE - TEL - 218-40		
CARBO-FRANCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR-CORSE. — 8, rue Peiresc, TOULON (Var), tél. 61.22. CARBO-FRANCE-ARLES. — 11 bis, boulevard Emile-Zola, ARLES-sur-RHÔNE (B.-du-Rhône), tél. 5.08. CARBO-FRANCE-BEZIERS. — 24, rue des Docteurs-Bourguet, BEZIERS (Hérault), tél. 32-43. CARBO-FRANCE-CENTRE. — 44, boulevard Henri-IV, AMBERT (Puy-de-Dôme), tél. 179. CARBO-FRANCE-LIMOGES. — 21, rue de la Fonderie, LIMOGES (Haute-Vienne), tél. 23.77. CARBO-FRANCE-LYON (Ets H. RABATEL). — 9, r. de la République, LYON (Rhône), tél. Burdeau 63.31. CARBO-FRANCE-ALGERIE-MAROC. — (Même adresse, même téléphone). CARBO-FRANCE-SUD. — 2 bis, rue Porte-de-l'Assaut, PERPIGNAN (P.-O.), tél. 5.66. CARBO-FRANCE-SUD-EST. — Pont d'Anthoine, AIX-EN-PROVENCE (B.-du-R.), tél. 15.36. CARBO-FRANCE-SUD-OUEST. — 3, rue de la Colombette, TOULOUSE (H.-G.). CARBO-FRANCE-TUNISIE (Ets LE MOTEUR). — 54, avenue de Carthage, TUNIS (Tunisie), tél. 54.39. CARBO-FRANCE-PARIS. — 2 bis, avenue de Villars, Paris, téléph. Invalides 25-60.		

● Argent qui dort,
Argent qui meurt.

● Argent qui travaille,
Argent qui prospère.

SOUSCRIVEZ AUX

**BONS DU
TRÉSOR**

SÉRIES de TIMBRES

provenant
d'ŒUVRES et d'ÉCHANGES
FORTE REMISE



ÉCRIRE :

Ab. DENIS

LA COQUILLE (Dordogne)

R. C. Seine 3.541

UNE CARRIÈRE DE CHOIX LES OFFICIERS MÉCANICIENS DE LA MARINE MARCHANDE

POUR DEVENIR OFFICIER MÉCANICIEN A BORD

Il faut, pour devenir officier mécanicien à bord, subir l'examen d'élève officier mécanicien (à partir de 17 ans) qui permet d'être embarqué comme tel, ou celui d'officier mécanicien de 2^e classe à partir de 18 ans. Les brevets sont délivrés par l'Etat (*aucun diplôme n'est exigé*).

Les officiers mécaniciens de 1^{re} classe se recrutent, à partir de 24 ans, parmi les élèves officiers et les officiers mécaniciens de 2^e classe.

Avantages de la carrière.

Les officiers mécaniciens de la marine marchande deviennent à bord officier et chef mécanicien et, ainsi, se poursuit presque automatiquement une carrière saine, intéressante et parmi les mieux rémunérées qui soient. Ils portent, suivant leur grade, de un à quatre galons ; leur uniforme est à peu près identique à celui des ingénieurs mécaniciens de la marine de guerre. De même que les officiers de pont, ils ont droit à une retraite après quinze ans de navigation.

Tous les officiers mécaniciens de 1^{re} classe peuvent être nommés directement ingénieur mécanicien de 2^e classe de réserve.

Avantages administratifs. — Les officiers mécaniciens qui ont navigué pendant quelques années et qui voudraient quitter la navigation ont le droit de se présenter aux emplois d'Inspecteur mécanicien de la Navigation maritime, de Rédacteur au Ministère de la Marine marchande.

Avantages civils. — Les officiers mécaniciens, en quittant la navigation, peuvent devenir experts au Bureau Veritas, ingénieurs d'armement des Compagnies de navigation. Les officiers mécaniciens ont, en outre, de grandes facilités pour obtenir des postes de chefs de service dans l'industrie, où ils sont extrêmement recherchés.

Leur titre d'ingénieur mécanicien de réserve leur est d'ailleurs de la plus haute utilité.

PROGRAMMES SOMMAIRES (1)

Elève officier mécanicien.

A partir de 17 ans, aucun diplôme exigé.

1^{re} Partie théorique. — Rédaction. Anglais. Arithmétique. Algèbre et Analyse. Géométrie et Géométrie analytique. Trigonométrie. Physique. Chimie. Technologie. Electricité. Théorie du navire. Morale. Croquis coté et Dessin industriel. Mécanique. Résistance des matériaux. Machines et chaudières. Régulation. Turbines. Moteurs.

2^e Partie pratique. — Croquis coté. Dessin industriel. Conduite. Montage. Moteurs marins. Législation. Théorie du navire. Compartimentage. Soudure autogène.

Officier mécanicien de 2^e classe.

L'examen de théorie n'exige pas de temps de navigation et peut être passé à 18 ans.

THÉORIE

Arithmétique. Géométrie. Algèbre. Trigonométrie. Electricité. Machines et chaudières. Régulation. Croquis coté. Législation maritime. Orthographe et Rédaction.

APPLICATION

L'examen d'application exige deux années de navigation.

Technologie. Entretien, Avaries, Réparations. Soudure autogène.

PRÉPARATION

1^o Soit dans certaines Ecoles nationales de navigation (*examen d'entrée*).

2^o Soit sur place et par correspondance, Ecole de navigation, à Paris, 152, avenue de Wagram.

3^o Soit sur place, Ecole libre de navigation maritime, 21, boulevard Frank-Pilatte, Nice.

4^o Soit par correspondance, Ecole de Génie civil et Navigation, 3, rue du Lycée, Nice. Les Ecoles de Nice répondront à toute demande de renseignements. Joindre 1 fr. 50 pour la réponse.

(1) Tous les candidats ont à subir une épreuve manuelle.

Scientifiquement étudiée

La VELOMINE ne contient que des produits naturels et ne peut, en aucun cas, détériorer la chambre à air.

Comme les 1.000.000 de cyclistes qui, grâce à elle, ignorent la crevaison.

Faites confiance à la

VELOMINE

**Sauvegarde du cycliste****LA MUTUELLE CYCLISTE**

assure, à la fois, contre le vol et contre les accidents.

Plus de « pépins » à craindre.

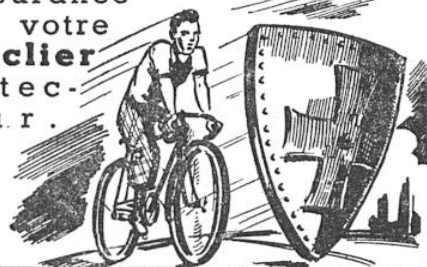
Roulez tranquille et sûr de vous.

L'assurance

sera votre

bouclier

protec-
teur.



JEAN MURAT TOULOUSE

PRODUIT SANS RIVAL
POUR DÉTACHER...

LAVIVELO

POUR DÉGRAISSER SANS
ESSENCE NI PÉTROLE

Renseignez-vous, sans engagement, à

LUCIEN TAJAN

13. RUE JEAN-PEGOT ★ TOULOUSE

Pour bêcher plus vite,
plus profond, sans effort

PALETTE

“Rend-Fort”

Brevetée S. G. D. G.

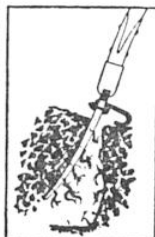
Médaille d'argent et diplôme du
Ministre de la Production Industrielle et
du Travail au Concours d'inventions
de la Foire de Lyon 1941.

Prix pour bêche. 14 francs

Prix pour fourche

à bêcher 18 —

Ces prix sont récupérés en moins
d'un jour.



FARÇAT

à LA TRONCHE (Isère)

Ne demander que le nombre
qu'on peut utiliser de suite.
La palette dure autant que la
bêche.

COMMERÇANTS...

INDUSTRIELS...

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



UTILISEZ

les pages d'annonces de

**“la science
et la vie”**

***La renommée d'une marque
ne s'improvise pas...***

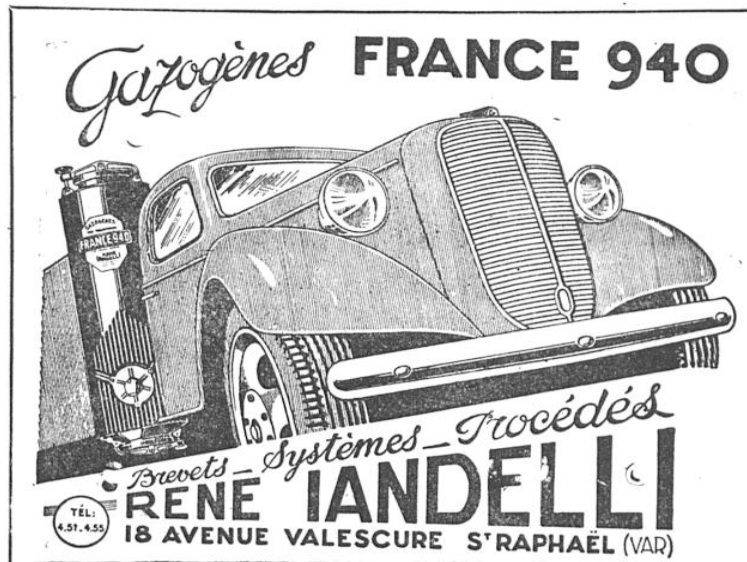
L'expérience non plus...

Des centaines d'équipements
en circulation depuis **1936...**

POUR VOS

**C A M I O N S ,
VOITURES de TOURISME,
TRACTEURS AGRICOLES,
MOTEURS FIXES,
MOTEURS MARINS...**

ADOPTÉZ :



Charbon de bois - Bois - Anthracite - Tourbe

Homologué n° 526

Agrément n° 521



ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL AIR ET MARINE INDUSTRIE

PARIS, 152, Avenue Wagram
 SECRÉTARIAT EN ZON LIBRE :
 NICE, 3, Rue du Lycée, 3

Enseignement par correspondance

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

ADMINISTRATIONS
 Ponts et Chaussées et Génie rural (a) joint technique et ingénieur adjoint); P.T.T. (opérateurs radios, surnuméraires, etc.); Divers - Tous les concours techniques, géomètres compris, des diverses administrations France et Colonies. Prochain concours d'adjoint technique des Ponts et Chaussées 24 août 1942.

MARINE MARCHANDE
 Entrée dans les Ecoles de Navigation, Brevet d'Elève-Officier (Pont, Machines, T.S.F.), Brevets de Lieutenants, d'Officiers Mécaniciens et d'Officiers Radios. Cours sur place, rentrée en oct.

MARINE MILITAIRE
 Ecole Navale et Ecole des Elèves Ingénieurs-Mécaniciens, Ecoles de Maistrance, Ecole des Elèves-Officiers.

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

AVIATION CIVILE
 Brevets de Navigateurs aériens. Concours d'Agents techniques et d'Ingénieurs Adjoints Météorologistes, Opérateurs Radioélectriciens, Chefs de Poste.

COMMERCE - DROIT
 SECRÉTAIRE, COMPTABLE ET DIRECTEUR, CAPACITÉ EN DROIT, ÉTUDES JURIDIQUES.

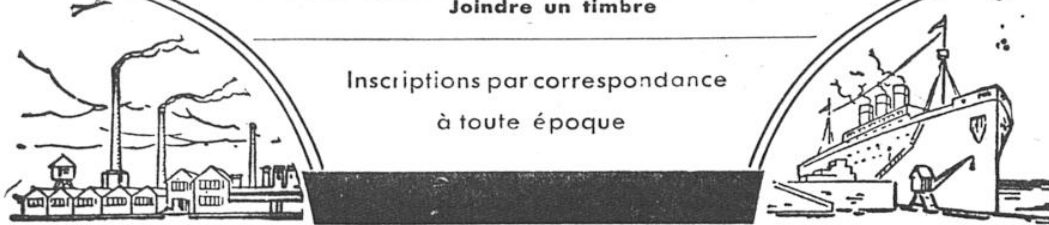
LYCÉES Préparation de la 6^{me} aux Baccalauréats.

AGRICULTURE
 AGRICULTURE GÉNÉRALE, MÉCANIQUE ET GÉNIE AGRICOLE.

SECTION SCIENCES
 Etude et développement par correspondance des Sciences mathématiques et appliquées depuis les cours d'initiation jusqu'aux cours les plus élevés. Arithmétique, Géométrie, Algèbre, Trigonométrie, Mécanique, Cosmographie, Géométrie descriptive, Mathématiques générales, Calcul différentiel, Calcul intégral, Géométrie analytique, Physique, Chimie, Électricité, Résistance des matériaux.
 Les cours sont groupés de façon à permettre aux élèves d'obtenir des titres qui, bien que privés, ont la valeur consacrée par un examen passé sous l'autorité d'une école sérieuse. Ces titres sont par ordre d'importance : les diplômes d'initiation mathématique, de mathématiques préparatoires, de mathématiques appliquées, mathématiques théoriques, de calcul infinitésimal et appliqué, de mathématiques générales et géométrie analytique, de mathématiques supérieures et appliquées.
 On trouve dans ces différentes sections les éléments de préparation scientifique à tous les examens et concours existants.

PROGRAMMES GRATUITS
 Joindre un timbre

Inscriptions par correspondance
 à toute époque



la Science et la Vie

Tome LXI — N° 296

SOMMAIRE

Avril 1942

- ★ L'évolution des avions de combat de 1941 à 1942, par Pierre Armont 171
- ★ Le fortin bétonné, synthèse de la fortification permanente et de la fortification de campagne, par Camille Rougeron 178
- ★ Vers la télévision en couleurs, par Pierre Hémardinquer. 187
- ★ Maîtrise de la mer et maîtrise de l'air : primauté de la chasse, par Camille Rougeron..... 195
- ★ A la recherche de sources nouvelles d'énergie, par André Moles..... 203
- ★ Le planeur auxiliaire de décollage, par André Fournier. 211
- ★ Les nouvelles fibres de synthèse vont-elles révolutionner l'industrie textile? par A. Milhuser..... 215
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 223

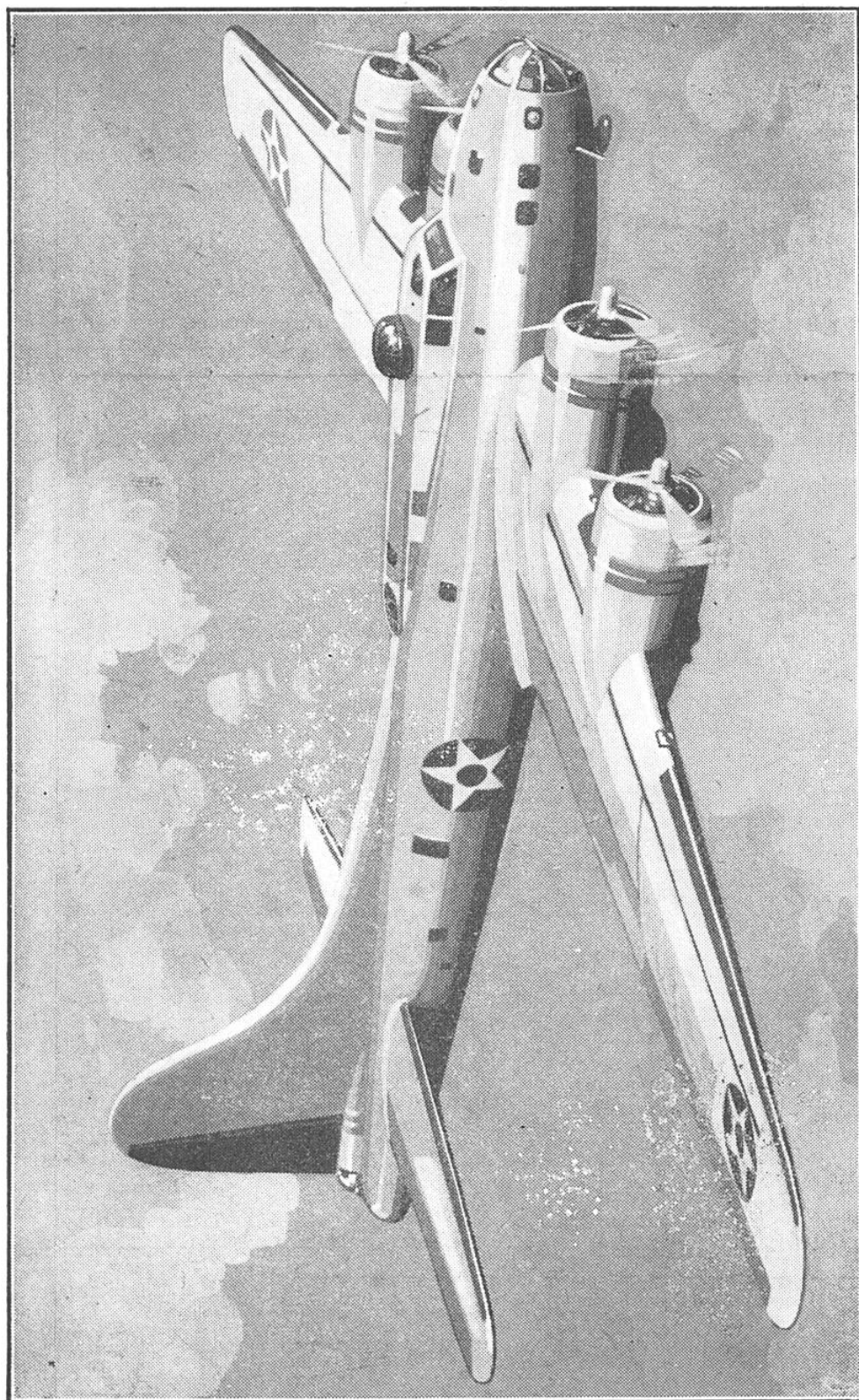


T W 16450

La formule de l'aile volante a toujours séduit, depuis les premiers temps de l'aviation et dans de nombreux pays, les techniciens de l'aviation. Supprimant tous les organes accessoires dont la présence provoque une augmentation très importante de la résistance à l'avancement, elle doit permettre, pour une même puissance des moteurs, des performances bien supérieures à celles des appareils classiques. Jusqu'à présent, cependant, toutes les tentatives de réalisation d'avions sans queue avaient dû être abandonnées. La couverture du présent numéro montre une aile volante d'une forme nouvelle qui vient de faire son apparition en Amérique. Il s'agit d'un prototype d'avion de chasse dû à la collaboration d'un constructeur audacieux, Northrop, et d'un savant spécialiste de l'aérodynamique Karmàn. L'armée de l'air des Etats-Unis s'y intéresserait, et il a même été parlé de construction d'essai en série. (Voir l'article page 171 de ce numéro.)

« La Science et la Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne, rédigé et illustré pour être compris de tous. Rédaction, Administration, actuellement, 22, rue Lafayette, Toulouse. Chèque postal : numéro 184.05 Toulouse. Téléphone : 230-27. Publicité : 68, rue de Rome, Marseille.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. *Copyright by* « La Science et la Vie », Avril mil neuf cent quarante-deux. Registre du Comm. : Seine 116-654. Abonnements : France et Colonies, un an : soixante francs; six mois : trente-deux francs.



T W 16506

LE PLUS RÉCENT MODÈLE DE BOMBARDIER AMÉRICAIN, LE BOEING B-17 E « FORTRESS II »

Les Etats-Unis construisent deux types de puissants bombardiers quadrimoteurs, le Boeing B-17 E et le Consolidated B-24. Le premier a un poids total de 27 tonnes et une envergure de 31,60 m. Sa vitesse maximum est de 490 km/h à 6 100 m et de 480 km/h à 7 600 m. Son plafond est de 12 000 m et son rayon d'action de 9 000 km. Il est équipé de quatre moteurs Wright Cyclone de 1 220 ch à compresseurs fonctionnant sur les gaz d'échappement.

L'EVOLUTION DES AVIONS DE COMBAT DE 1941 A 1942

par Pierre ARMONT

En dehors de la course aux performances, l'évolution des avions de combat de 1941 à 1942 a été caractérisée par la généralisation des blindages — leçon tirée des combats aériens de 1940 — et par l'accroissement corrélatif du calibre des armes. Alors que les avions de chasse, de 1940, du type multimitrailleuse les mieux armés, se contentaient de huit mitrailleuses de 7,6 mm, l'avion de chasse type 1942 s'est équipé de quatre canons : tels sont le Messerschmitt 209 de 4 canons de 15 mm et le Hurricane Mark II C de 4 canons de 20 mm, avec pour les prototypes une tendance pour 1942 aux mitrailleuses lourdes (le Republic P. 47 « Thunderbolt » possède 8 mitrailleuses de 13 mm). Les bombardiers allemands de 1940 se contentaient pour armement défensif de 3 mitrailleuses. Ceux de 1941 avaient doublé le nombre de ces armes, soit 6, et les quadrimoteurs britanniques et américains en portent déjà 8, en attendant les Boeing « Fortress II » de 1942 qui en portent 10 ou 12, la plupart du calibre de 13 mm. La recherche de plafonds élevés a été marquée, en 1941, par l'apparition du chasseur allemand « semi-stratosphérique » Me 109, type F, dont le moteur DB 601 N « rétablit » à 6 400 mètres d'altitude, avec un plafond de 12 000 mètres, et par le quadrimoteur américain B. 17, type E, dit « Fortress II », dont les moteurs Wright à compresseurs fonctionnant sur les gaz d'échappement « rétablissent » au voisinage de 7 000 mètres. Que nous réserve 1942 ? En attendant, voici deux innovations techniques curieuses et intéressantes pour 1943 : l'avion de chasse à aile volante et l'avion à propulsion par réaction.

La disposition des blindages et des armes

LES combats aériens de 1940 avaient imposé l'aménagement de blindages sur les avions de combat alors en service, tant chasseurs que destroyers ou bombardiers. On a encore peu de détails sur les perfectionnements apportés à ces blindages de 1941 à 1942, et l'on prendra comme première approximation les aménagements type 1940 dont une revue allemande a donné les détails pour les avions anglais les plus connus.

Sur les bimoteurs, on constate généralement des blindages transversaux, des boucliers pour les mitrailleurs et des dossiers blindés pour les pilotes, cette dernière disposition étant aujourd'hui classique pour les chasseurs.

Sur le « Blenheim », par exemple, en plus du blindage du siège du pilote, on trouve une plaque de 4,5 mm garnissant toute la section transversale du fuselage en arrière du poste de mitrailleur, lui-même protégé par un blindage en forme de croissant à la base de la tourelle supérieure : la

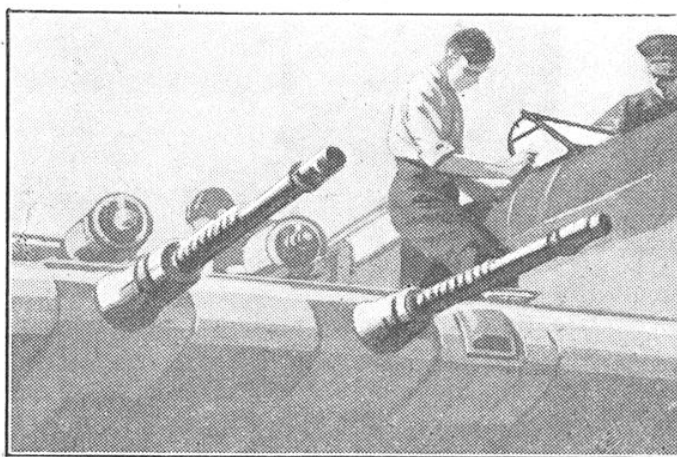


FIG. 1. — LES CANONS DE 20 MM MONTÉS DANS LES AILES DU HAWKER « HURRICANE II C »

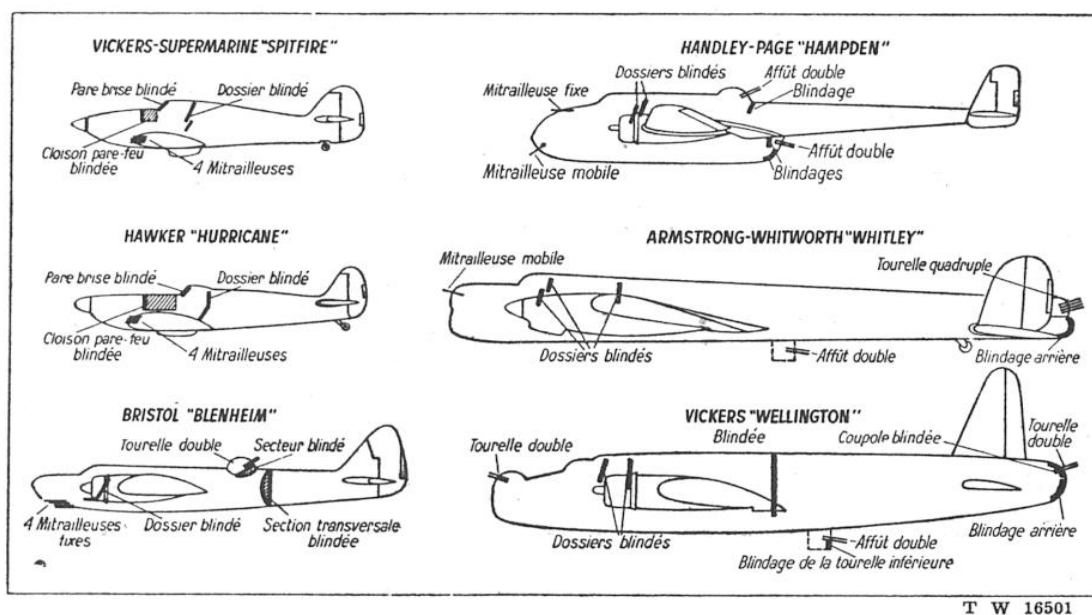


FIG. 2. — LA DISPOSITION DES PREMIERS BLINDAGES A BORD DE QUELQUES CHASSEURS ET AVIONS DE COMBAT BRITANNIQUE

partie supérieure de ce secteur sphérique servait de guide dans le déplacement de l'affût de l'arme.

Les bombardiers « Hampden », « Wel-

lington » et « Whitley » se garnirent de plaques blindées couvrant les dossiers des pilotes et les différents postes de combat.

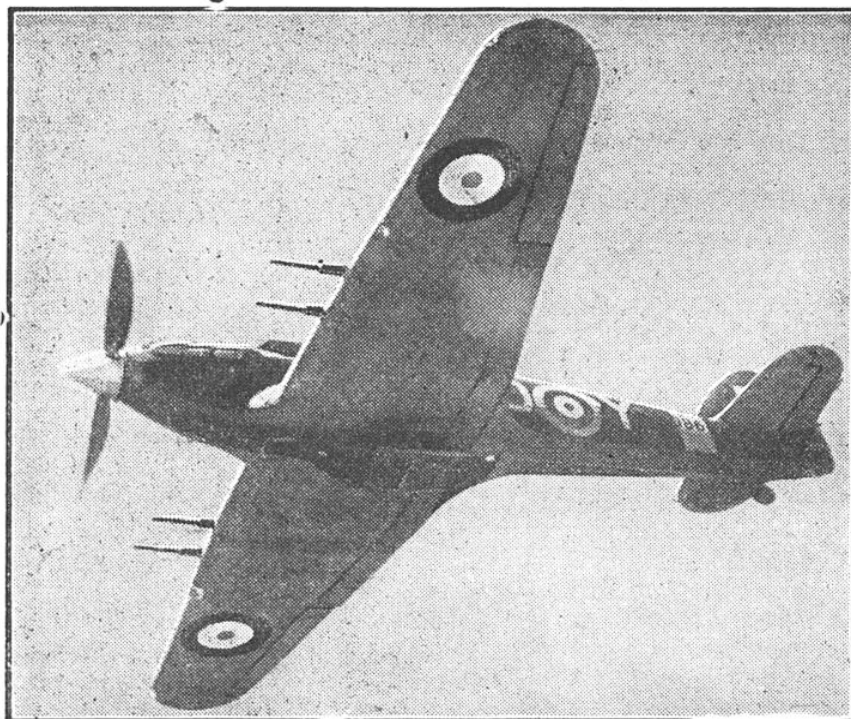
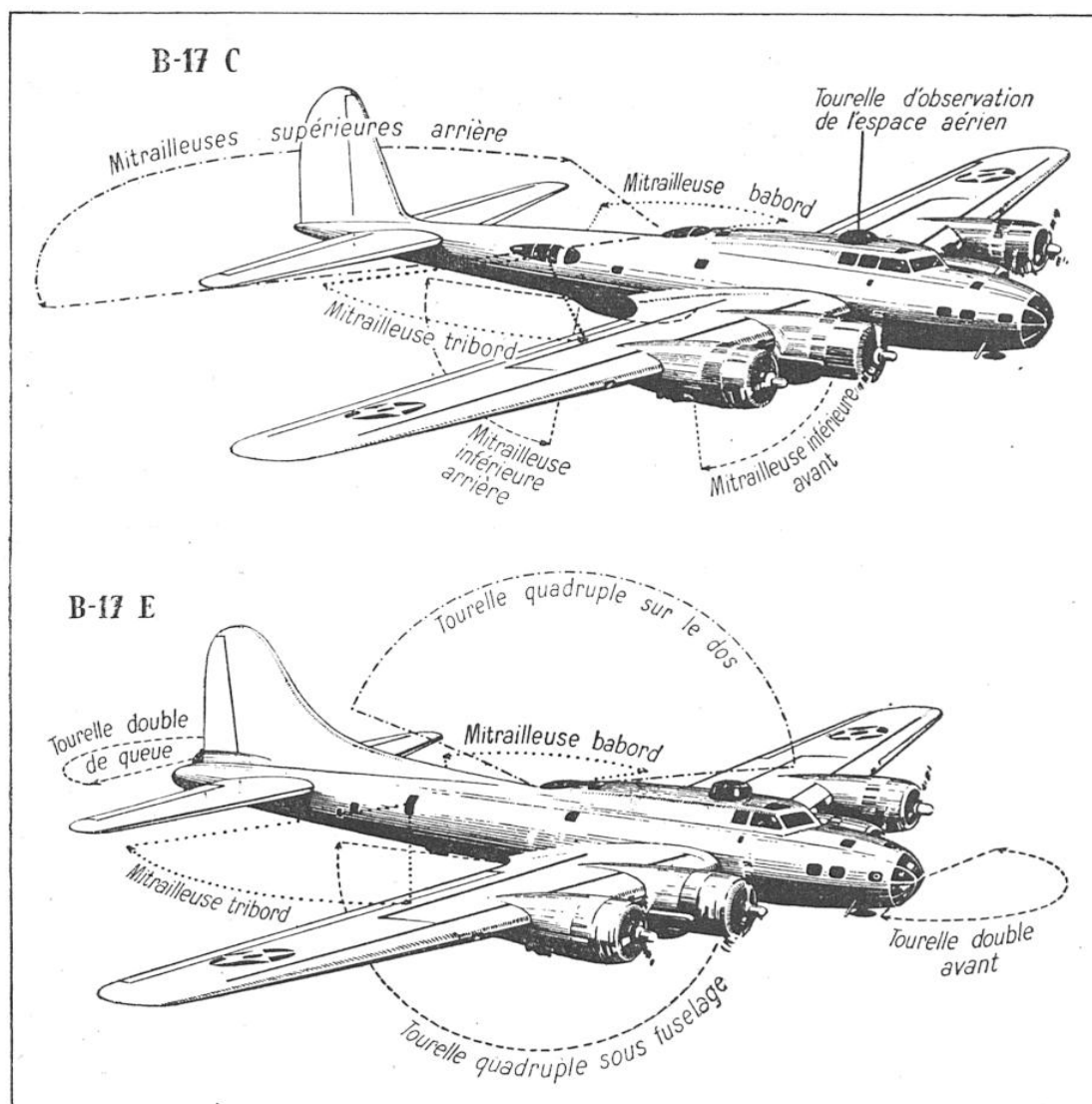


FIG. 3. — LE HAWKER « HURRICANE II C » ARMÉ DE 4 CANONS D'AILE DE 20 MM

La disposition des armes comporte des affûts multiples sur les bombardiers de la Luftwaffe et des tourelles multiples à commande par servo-moteur pour ceux de la R.A.F. En 1941, trois mitrailleuses supplémentaires furent ajoutées aux Heinkel III K, aux Dornier Do 17 Z et 215 ainsi qu'au « Superstuka » Junkers 88, l'armement se trouvant ainsi porté à six mitrailleuses. Seuls, le Messerschmitt 110 de chasse et son dérivé le Me 110 de bombardement en piqué (dit « Guêpe ») n'ont pas



T W 16514

FIG. 4. — ÉVOLUTION DE L'ARMEMENT SUR LES BOMBARDIERS AMÉRICAINS BOEING B-17

Du Boeing B-17 « Flying Fortress », réalisé en 1936, sont dérivés un certain nombre de types. Le B-17 C de 1939 a été livré à l'Angleterre qui le désigne sous le nom de « Fortress I ». Il pèse 24 tonnes et sa vitesse était de l'ordre de 500 km/h. On lui a reproché une certaine insuffisance dans l'armement (7 mitrailleuses réparties en cinq postes : un de chaque côté du fuselage, un sur le dos, deux dans une nacelle sous le fuselage, rien à l'avant). Le B-17 C n'est plus construit à l'heure actuelle et est remplacé par le B-17 E ou « Fortress II » qui a subi des modifications importantes, en particulier dans le dessin de la dérive et du gouvernail de direction. Son poids est porté à 27 t et son plafond à 12 000 m. Son armement a été renforcé : tourelles doubles à l'avant et à l'extrémité de la queue, tourelles quadruples sur le dos et sous le fuselage, postes de mitrailleuses disposés latéralement. Tous les postes de travail sont blindés à 6,5 mm, à l'exception du tireur arrière.

renforcé leur armement défensif. Pour ces deux variantes de bimoteur rapide, la vitesse élevée voisine de 600 km/h (sans bombes) tient lieu de défense arrière, qui comporte toutefois une mitrailleuse sur affût mobile.

En ce qui concerne les bombardiers britanniques, la formule de la tourelle quadruple d'étambot type 1940 a été étendue aux récents quadrimoteurs Short « Stirling » et Handley Page « Halifax » et au bimoteur Avro « Manchester », en

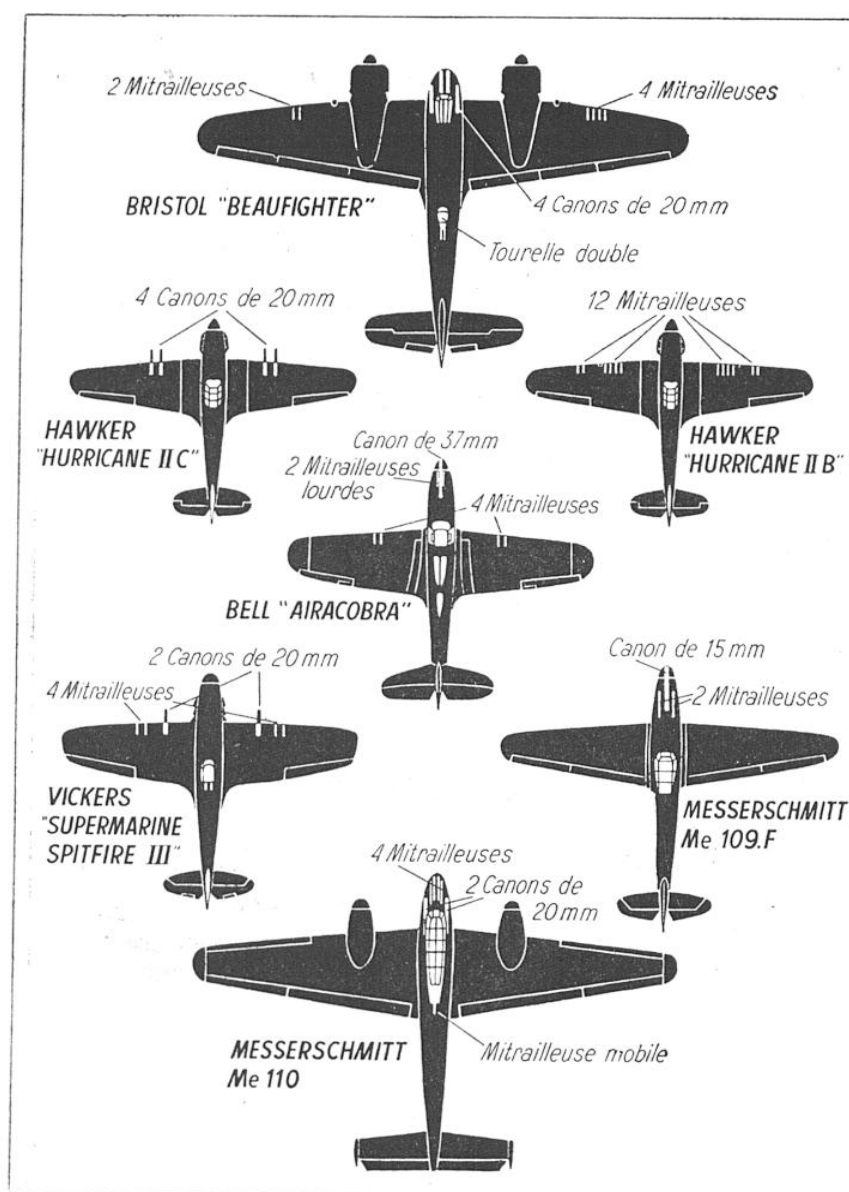


FIG. 5. — DISPOSITION DE L'ARMEMENT SUR LES PRINCIPAUX CHASSEURS ET DESTROYERS EN PRÉSENCE SUR LE FRONT EUROPÉEN

y ajoutant des armes en coupole. Le Bristol « Blenheim » de 1941 (Mark IV) s'est vu ajouter une tourelle sous fuselage.

Les avions livrés à la R.A.F. en 1940-1941 par l'industrie américaine (Glen-Martin « Maryland », Douglas « Boston ») étaient caractérisés par une insuffisance d'armement défensif (mitrailleuses simples) et des modifications ont dû être entreprises. Le quadrimoteur Boeing B-17 s'est trouvé dans un cas analogue. Dans

15, 20, 25 et même 37 mm.

Des chasseurs à quatre canons pour 1942

Le destroyer Bristol « Beaufighter » est déjà armé de quatre canons Hispano de 20 mm dans le nez du fuselage et six mitrailleuses Browning de 7,6 mm dans les ailes. Ceci représente une densité de feu de 36 obus et 120 balles de mitrailleuse

(1) Voir *La Science et la Vie*, no 292, déc. 1941.

sa version 1941, dite C, l'armement comporte seulement sept mitrailleuses, dont deux de 13 mm sur affût simple tirant à travers des sabords latéraux ménagés dans le fuselage. Pour 1942, la version E, dite « Fortress II », est équipée de tourelles doubles ou quadruples à champ de tir intégral. Ainsi, les tourelles se généralisent et un dernier pas va être fait dans cette voie, car, pour 1942-1943, on laisse prévoir l'emploi de tourelles télécommandées Boulton-Paul, Blackburn et Nash-Thompson (1).

L'armement en tourelle n'échappera sans doute pas à la course au calibre et c'est avec des mitrailleuses de 13 mm qu'elles seront probablement réalisées en 1942 ou en 1943. Grâce à leur armement fixe, chasseurs et destroyers conservent l'avantage de pouvoir passer à des calibres plus forts :

par seconde. Le poids de cet armement, avec les munitions, représente au total 1065 kg, soit 17 % du poids à vide (6175 kg) et 12 % du poids total. Le « Hurricane II », initialement prévu à douze mitrailleuses de 7,6 mm, s'est transformé, au cours de l'été 1941, en quadricanon de 20 mm dans les ailes, en dépit de la baisse de cadence inhérente à l'emploi d'un tel calibre : 600 coups/mn avec le canon de 20 mm Hispano anglais. Les Allemands ont réussi un véritable tour de force en créant le canon Mauser de 15 mm qui tire 900 projectiles explosifs à la minute. Ce canon arme le Messerschmitt 109 F et le Messerschmitt 209 (quatre canons soit 60 coups/seconde) (1). Dans ce calibre de 15 mm, à cadence de tir très élevée, le projectile perforant et le projectile explosif seront sans doute combinés et la réplique 1942 est déjà un monoplace à huit mitrailleuses de 13 mm : le Republic P. 46 Thunderbolt, et la réplique de 1943 sera sans doute un « destroyer » à huit canons de 20 mm.

Moins de 15 secondes de feu continu

Avec de telles cadences et de tels

(1) Les avions de chasse japonais du type le plus récent sont armés de quatre canons dans les ailes, à l'égale du Me 209 ou du Hurricane II O.

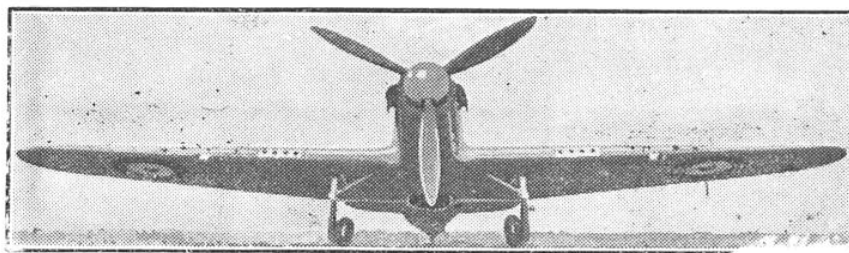


FIG. 7. — LE HAWKER « HURRICANE II B » ARMÉ DE 12 MITRAILLEUSES DANS LES AILES

T W 16504

calibres, il faut encore compter avec les difficultés d'alimentation des armes et de logement des munitions à bord. L'exemple du Bell « Airacobra » est instructif à cet égard. Ce chasseur porte trois calibres distincts : 1° quatre mitrailleuses de 7,6 mm dans les ailes ; la cadence de tir est de 1 200 coups/mn et l'approvisionnement est de 4000 cartouches ; 2° deux mitrailleuses de 12,7 mm à la partie supérieure du capot, synchronisées pour le tir à travers l'hélice ; la cadence de tir tombe à 850 coups/mn et l'approvisionnement à 560 cartouches ; 3° enfin d'un canon de 37 mm dans l'axe de l'hélice, car l'emploi de l'« Airacobra » est prévu pour l'attaque des chars au sol ; la cadence de tir n'est plus que de 120 coups/mn, mais, comme l'approvisionnement est seulement de trente obus, la durée de tir est ramenée à 15 secondes ! Le Messerschmitt 109 F emporte une réserve de deux cents coups pour son unique canon de 15 mm. Etant donnée la cadence élevée de cette arme, le tir ne peut durer que treize secondes.

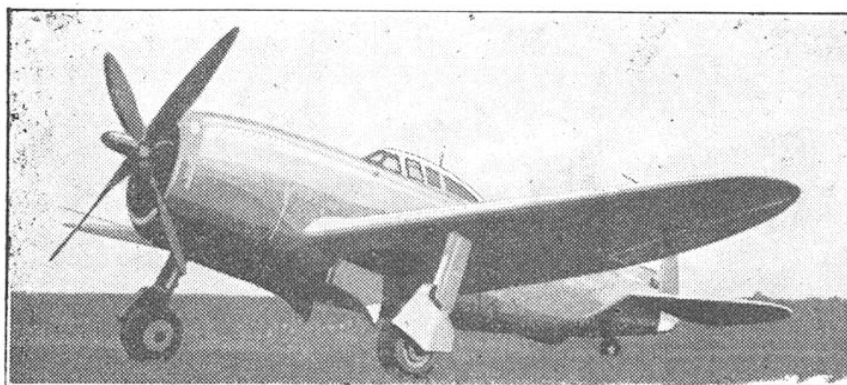


FIG. 6. — LE PLUS RÉCENT CHASSEUR ADOPTÉ PAR L'ARMÉE AMÉRICAINE

T W 16503

Le Republic P-47 « Thunderbolt » est un chasseur pour hautes altitudes, dont la vitesse maximum est de 640 km/h à 9 000 m. Il est équipé d'un moteur Pratt et Whitney de 2 000 ch et de huit mitrailleuses de 13 mm dans les ailes.

Innovations et essais : l'aile volante Northrop

La fabrication en très grande série, telle qu'elle est entreprise chez tous les belligérants, d'engins aussi complexes que les avions de combat avec tous leurs accessoires, a pour conséquence une stabilité relativement grande des types en service actif. On y regardera à deux fois

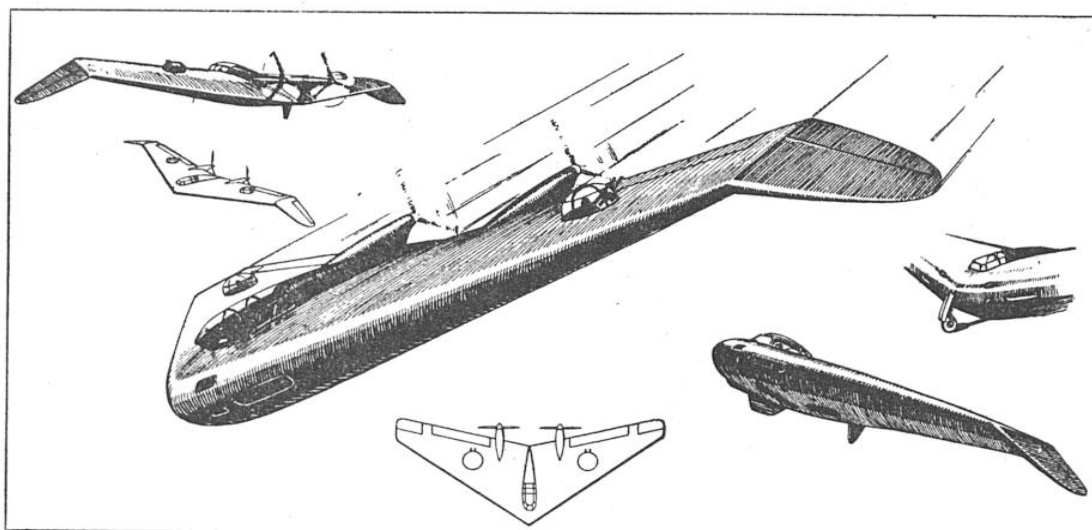


FIG. 8. — CROQUIS DE L'AILE VOLANTE NORTHROP, D'APRÈS LES PLANS DÉPOSÉS PAR LE CONSTRUCTEUR ET LA MAQUETTE VOLANTE DÉJÀ CONSTRUITE ET QUI A TERMINÉ SES ESSAIS AVEC SUCCÈS

avant d'adopter un perfectionnement un peu important, même s'il est indiscutable, car en apportant des perturbations dans les processus de fabrication on trouble le rythme des sorties. A plus forte raison, l'adoption d'un modèle entièrement nouveau impose des délais de plusieurs mois avant que soit réalisé l'outillage nécessaire, et l'arrêt total de la production pendant les transformations indispensables dans l'usine (1). Cela ne signifie pas naturellement l'arrêt des études de prototypes nouveaux, sans cesse mieux adaptés aux exigences de la lutte et tenant compte des enseignements des rencontres aériennes. Chacun garde jalousement le secret sur les résultats et même la nature de ces recherches. Bien que, du point de vue strictement militaire, elles ne donneront certainement pas lieu à des applications importantes avant plusieurs années, en mettant les choses au mieux, il n'est pas sans intérêt de signaler les deux réalisations récentes de prototypes

(1) Tel fut le cas pendant tout l'été 1941 aux usines Boeing lors du passage du Boeing B-17 C au Boeing B-17 E.

sortant hardiment des sentiers battus. La première est celle de l'aile volante construite sur les plans du constructeur américain Northrop. C'est un prototype d'avion de chasse. Il se présente sous la forme remarquable d'une aile épaisse en forme de flèche dont les extrémités sont coudées vers le bas. Par suite de la suppression totale du fuselage, toutes les parties de cet appareil participent à la sustentation; il réalise ainsi une aile volante intégrale. Il semble que les coudes des extrémités de l'aile, qui portent les volets de commande de la direction et de l'équilibre transversal, doivent conférer à cet appareil une grande manœuvrabilité. Jusqu'à présent, les ailes volantes réalisées dans différents pays : Allemagne, U.R.S.S., etc..., manquaient précisément de manœuvrabilité.

Le prototype a une envergure de 11,40 m, seul le dôme vitré du poste de pilotage fait saillie à la partie supérieure. Au-dessous, le train d'atterrissage est entièrement escamotable. Dans l'aile pourraient être logées des tourelles esca-

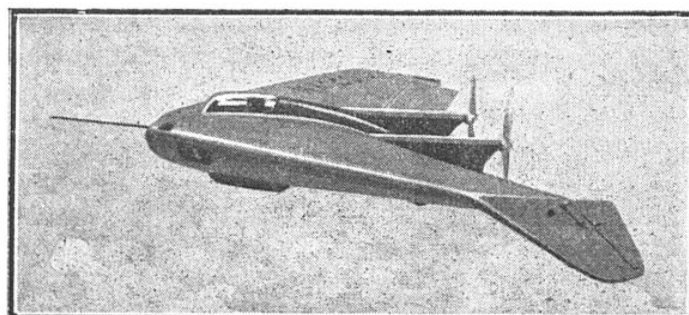
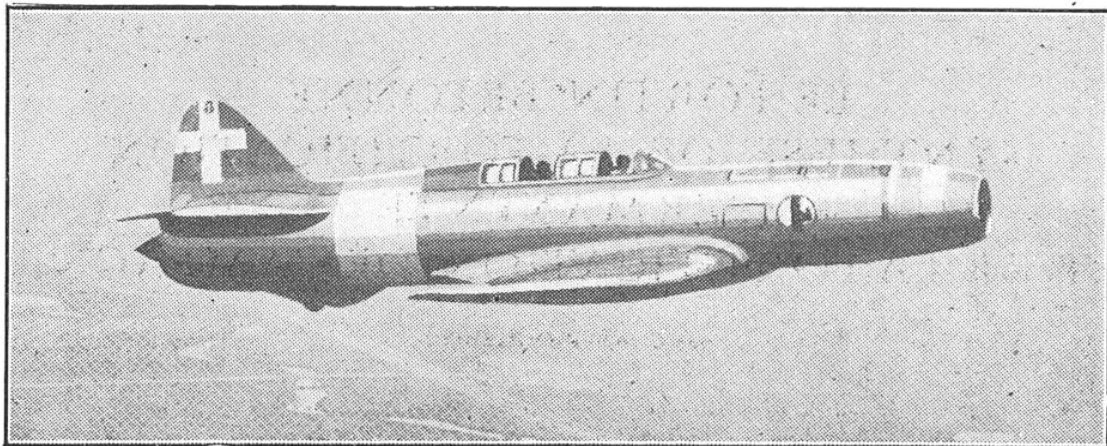


FIG. 9. — L'AILE VOLANTE NORTHROP EN VOL



T W 16507

FIG. 10. — L'AVION A RÉACTION CAMPINI-CAPRONI EN VOL

motables abritant des armes automatiques. Cette disposition, cependant, ne semble intéressante que lorsque pourront être réalisés des engins de ce genre de plus fort tonnage, et peut paraître superflue à bord d'un chasseur. Les hélices propulsives étant placées à l'arrière du bord de fuite, le bord d'attaque se trouve entièrement libéré et la place n'y manque pas pour y loger l'armement offensif.

Toutes les résistances parasites à l'avancement se trouvant éliminées sur une aile volante, on peut s'attendre à ce que les performances de ce genre d'appareil soient supérieures à celles des avions du type classique. Le constructeur américain se montre cependant, semble-t-il, particulièrement optimiste en annonçant que 40 % de la résistance à l'avancement se trouve supprimée et que le nouveau chasseur peut atteindre la même vitesse que les meilleurs appareils existants avec une puissance moitié moindre, et qu'avec une même puissance, sa vitesse serait supérieure de 25 à 30 %. L'Army Air Corps s'intéresserait vivement à cette réalisation et sa construction en grande série serait déjà à l'étude. Quoi qu'il en soit, à la fin de 1941, plus de 200 vols d'essais ont été effectués avec succès sur le terrain de Muroc-Dry Lake en Californie.

L'avion à réaction Caproni

L'autre réalisation est d'un genre tout différent. Il s'agit d'un avion à réaction

dû à l'ingénieur italien Campini et construit par Caproni. Son fuselage est constitué essentiellement par un long tube dans lequel circulent l'air et les gaz qui, évacués vers l'arrière à grande vitesse, fournissent l'accélération nécessaire à la propulsion.

L'air est capté à l'avant et comprimé par une soufflerie entraînée par le moteur logé dans le fuselage. Il refroidit d'abord le moteur, reçoit les gaz d'échappement qui élèvent sa température et, au voisinage de l'orifice de queue par où ils se détendent dans l'atmosphère, rencontrent des séries de brûleurs alimentés directement en combustible et qui lui apportent une énergie supplémentaire. Le pilote fait varier l'effort de propulsion, soit en étranglant la veine d'air, soit en réglant le régime des brûleurs. Cet appareil a battu de loin tous les records des avions à réaction, car il a effectué plusieurs vols de longue durée; en particulier, piloté par le colonel de Bernardi, il a volé de Milan à Rome sans incidents. Il aurait atteint la vitesse maximum de 400 km/h. Est-ce l'avant-coureur de l'avion de demain sans hélice, qui pourra franchir le cap des vitesses soniques?

Les avions de chasse de 1940 volaient à 500-550 km/h. Ceux de 1941, à 530-600 km/h. Ceux de 1942 atteindront les 650-700 km/h.

Pierre ARMONT.

LE FORTIN BÉTONNÉ SYNTHÈSE DE LA FORTIFICATION PERMANENTE ET DE LA FORTIFICATION DE CAMPAGNE

par Camille ROUGERON

La fortification permanente a connu, au cours de cette guerre, de graves échecs. Ni les fortifications belges et hollandaises, ni la ligne Metaxas, ni même la partie de la ligne Maginot qui faisait face au Rhin, n'ont pu résister. On a pu ainsi se demander si l'entrée en scène du char et de l'avion n'annonçait point la fin de la fortification, aussi bien sous la forme des ouvrages permanents que des ouvrages de campagne. Les événements militaires survenus depuis un an infirment cette conclusion : le fortin bétonné joue un rôle essentiel dans les opérations. Sa capacité de résistance était apparue dès la guerre de 1914-1918, où la conquête de lignes ainsi défendues coûta notamment des pertes élevées aux troupes britanniques des Flandres. Elle s'est affirmée depuis, aussi bien lors de l'offensive russe contre la ligne Mannerheim que lors des défenses successives de Tobrouk, contre les Britanniques d'abord, les Germano-Italiens ensuite, et aussi, plus récemment, sur le front Est, avec l'assaut de la ligne Staline, les sièges d'Odessa, de Sébastopol, de Léninegrad, l'offensive contre Moscou et enfin la contre-offensive d'hiver de l'armée rouge se heurtant aux positions rapidement fortifiées de la Wehrmacht. Le fortin permet à la fois les lignes d'ouvrages denses s'opposant à l'infiltration de l'adversaire entre des forts plus puissants mais plus espacés, et la multiplication de ces lignes sous forme d'une position profonde où l'assaillant s'enlise. Le béton lui donne pratiquement, même sous épaisseur modérée, la capacité de résistance à l'artillerie lourde qui risque d'ailleurs d'épuiser ses efforts devant la multiplicité de ces objectifs faciles à camoufler.

Le fortin bétonné

Si le succès des offensives allemandes, jusqu'à celle des Balkans incluse, a pu laisser croire que l'ère de la fortification, aux prises avec le char et l'avion, était terminée, les événements militaires ultérieurs obligent à rectifier cette conclusion.

La longue résistance de Tobrouk avait déjà établi, avant même le début des opérations sur le front Est, la valeur de la fortification. Ce n'étaient pourtant point les chars et les avions qui manquaient ; les divisions blindées de Rommel, les « Stukas » de la Luftwaffe, les « Picchiattelli » de la Regia Aeronautica, qui venaient de reconduire en quelques jours les troupes britanniques d'El Agheila à la frontière d'Égypte, échouaient devant une seule division, enfermée dans une place forte côtière. C'était la réhabilitation, à la fois, de la fortification permanente et des moyens classiques employés pour la détruire, de l'artillerie lourde lançant des dizaines de milliers de tonnes de projectiles, des attaques d'infanterie à raison d'une division pour trois kilomètres. Mais l'un et l'autre moyen manquaient à Rommel.

Les succès allemands en Russie et notamment

la percée de la ligne Staline ne confirmaient pas les enseignements de la résistance de Tobrouk. Mais ils ne les infirmaient pas non plus, car il était évident que, sur les points choisis pour sa percée, l'armée allemande avait pu concentrer les effectifs et l'artillerie lourde qui lui manquaient devant Tobrouk.

Très rapidement, la guerre à l'Est allait apporter des enseignements positifs prouvant de façon certaine que la fortification n'avait rien perdu de son ancienne valeur, et même qu'elle constituait un barrage pratiquement infranchissable lorsqu'elle était servie par un défenseur décidé à tenir. Ce fut d'abord la longue résistance de Kiev, qui fut évacuée pour échapper à l'encerclement, mais non enlevée de vive force. Ce fut ensuite celle d'Odessa, qui résista pendant des semaines aux assauts infructueux de nombreuses divisions roumaines, appuyées par l'artillerie lourde allemande, et qui semble bien n'avoir été occupée qu'à la suite d'une évacuation volontaire pour récupérer des troupes dont on avait un besoin urgent sur le reste du front d'Ukraine. Ce fut enfin la longue résistance, couronnée de succès, de Léninegrad, puis de Sébastopol, puis de Moscou.

Les opérations défensives conduites par l'ar-



T W 16444

FIG. 1. — UN OUVRAGE FORTIFIÉ DE LA LIGNE STALINE

mée allemande au cours de ses tentatives de stabilisation d'un front d'hiver conduisent aux mêmes conclusions.

Il semble bien, en somme, que, chaque fois que le défenseur a les moyens d'entretenir sa défense et qu'il est décidé à consentir les sacrifices nécessaires, il est en mesure d'arrêter les effectifs les plus nombreux que lance l'attaque, appuyés par la plus puissante artillerie lourde. Ce n'est même pas le retour à 1917-1918 où l'assaillant, à condition d'y mettre le prix, enlevait les positions les mieux fortifiées; c'est le retour à 1916 et à Verdun, où le jeu des attaques et des contre-attaques fixait pendant des semaines le front sur une ligne qui ne se déplaçait que de quelques kilomètres.

Le résultat est le même, qu'il s'agisse de fortification permanente, comme à Tobrouk, Sébastopol, Léningrad, ou de fortification de campagne, comme ce fut le cas des lignes russes et allemandes devant Moscou. Il y a à cela une raison bien simple, c'est que l'essentiel de la fortification est, dans les deux cas, constitué par le fortin bétonné, le fortin dont les communiqués des belligérants nous annoncent la prise par dizaines ou par centaines. Le fortin, c'était déjà l'abri de mitrailleuse bétonné des gouvernemen-

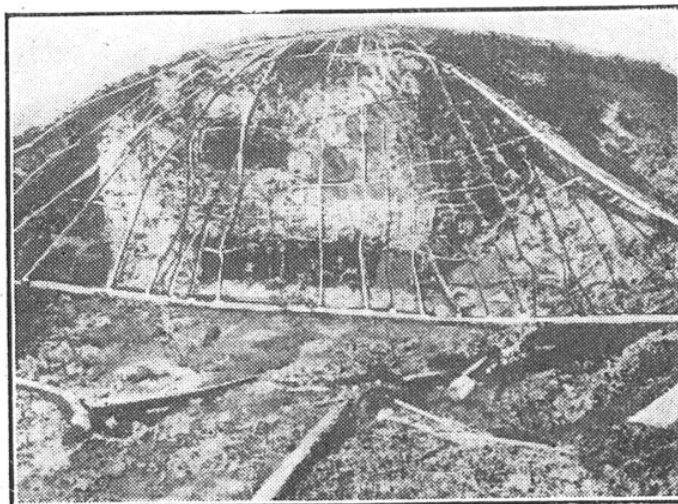
taux espagnols en 1936, que devaient enlever dès l'année suivante les chars et les avions allemands et italiens des nationalistes, et qui fut reconstruit obstinément sur les lignes successives jusqu'à la dernière.

Lignes continues ou lignes discontinues?

Toutes ces lignes sont établies suivant le même principe : multiplicité de fortins bétonnés, à faible intervalle, échelonnés sur grande profondeur. Comment se fait-il qu'après avoir constaté pendant toute la guerre de 1914-1918 la résistance de la ligne de tranchées continue et la faiblesse des places défendues par forts détachés, on se soit mis si aisément d'accord sur le principe de la ligne discontinue?

Vaut-il mieux être uniformément faible sur une ligne continue, ou constituer sa position d'une série de points d'appui où l'on sera fort et d'intervalles où l'on sera faible? C'est une discussion aussi ancienne que l'art militaire. Le combattant, livré à lui-même, a toujours tendance à établir la ligne continue, et c'est pourquoi il l'a fait en 1914. Toutes les doctrines s'appuyant sur l'histoire ou sur le raisonnement défendent au contraire la ligne discontinue, qui est donc obstinément conseillée par les règlements, appliquée dans

les organisations établies en temps de paix et rappelée par le Commandement; en France, le dernier de ces rappels est celui du général Weygand, à la veille de la bataille sur la Somme, devant l'organisation du front en centres de résistance qui devaient tenir même si les divisions blindées pénétraient dans les intervalles.



T W 16445

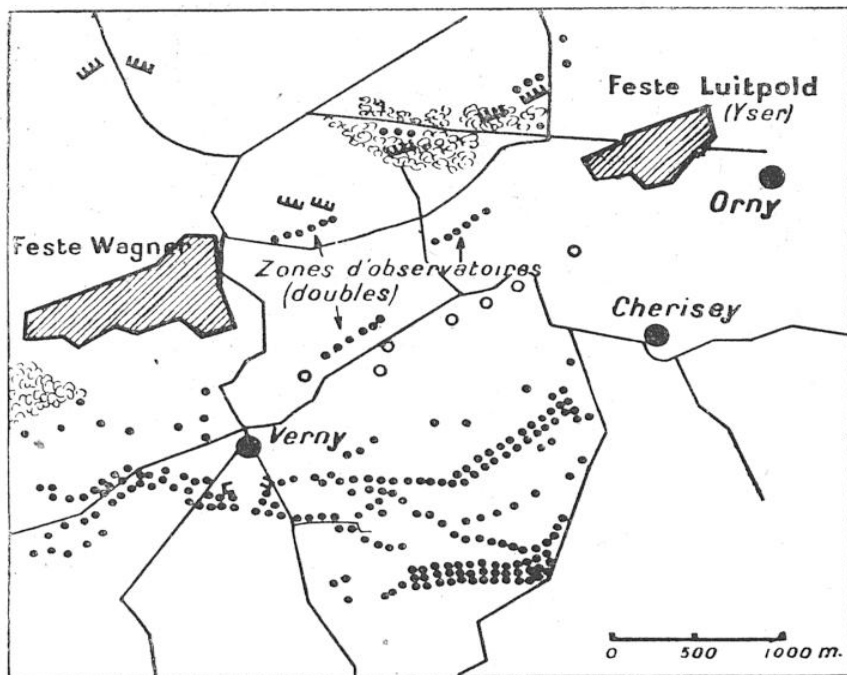
FIG. 2. — FORTIN BÉTONNÉ ET SOIGNEUSEMENT CAMOUFLÉ DE LA LIGNE STALINE

Que cette disposition ait été appliquée par l'armée soviétique, c'est d'autant plus naturel qu'elle venait d'en éprouver l'excellence dans ses opérations difficiles contre la ligne Man-nerheim. D'ailleurs, le principe, ou tout au moins sa résurrection dans les temps modernes (1) vient de Pierre le Grand.

Jusqu'à la bataille de Pultava, en 1709, l'armée russe se retranchait régulièrement, avant de livrer combat, derrière la ligne continue en usage pendant tout le dix-septième siècle — ne croyons pas que la fortification de campagne date de 1914 — et y soutenait l'assaut des troupes suédoises. Le résultat était toujours aussi décevant. Dix ou douze mille Suédois forçaient des retranchements gardés par cinquante, soixante et même quatre-vingt mille Moscovites, élargissant la brèche en prenant le défenseur de flanc et par l'arrière — la tactique des divisions blindées n'est pas plus nouvelle que la fortification de campagne — et taillaient en pièces l'armée entière. Au siège de Pultava par Charles XII, la dernière armée russe, commandée par Pierre le Grand lui-même, vint débloquent la place. L'empereur fit élever pendant la nuit sept redoutes sur le front de son infanterie; il plaça deux bataillons dans chacune, la masse de l'infanterie derrière, la cavalerie sur les ailes. Charles XII lança ses troupes à l'assaut selon son habitude, sans que ni lui ni ses généraux se fussent aperçus du changement de la tactique russe. L'armée suédoise pénétra dans la ligne des redoutes et parvint à en enlever trois seulement. Elle fut repoussée devant les autres avec de grandes pertes. La contre-attaque générale bouscula les Suédois; ils purent se retirer jusqu'au Boristhène où ils furent tous faits prisonniers. C'était la fin de Charles XII et de son expédition.

La méthode fut appliquée pendant tout le dix-huitième siècle. C'est elle qui coûta à Napo-

(1) C'est ainsi que les lignes de contrevallation et de circonvallation de César devant Alésia étaient continues, mais que sa ligne de résistance était composée de 23 « castella » (fortins palissadés).



- Abris bétonnés
- ▨ Batteries de 2 pièces sous casemates pour flanquement
- ▨ Batteries de 4 pièces à l'air libre avec abri bétonné pour le personnel
- Ouvrages avec revêtement en planche, fond bétonné et abri bétonné

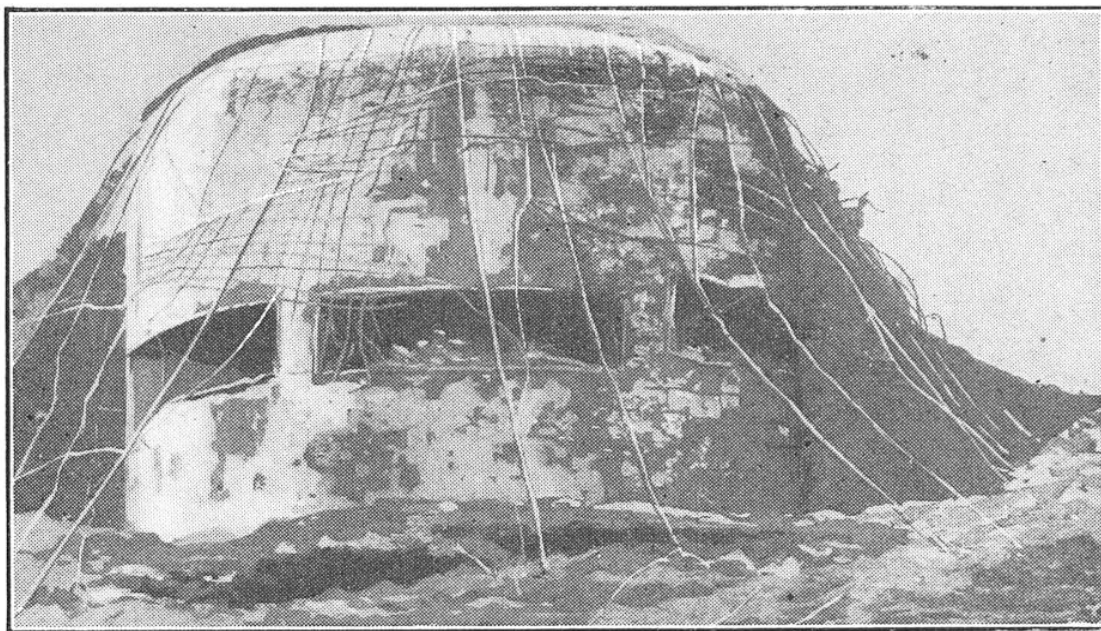
T W 16442

FIG. 3. — POSITIONS AVANCÉES AU SUD DE METZ

Ces positions, dont la carte ci-dessus ne représente qu'une partie, ne comprenaient pas moins de 1 300 abris bétonnés. Elles s'étendaient de la Moselle, près d'Arry, jusqu'à Sorbey sur un parcours de 20 km environ, à une distance de 2 à 5 km au sud de la position principale. Les premiers travaux remontent à 1915. Ceux dont l'implantation est indiquée par la carte sont de 1917-1918. Cette organisation, avec épaisseur du béton et échelonnement en profondeur renforcés, a servi de type à la ligne Siegfried.

l'éon le prix élevé dont il dut payer sa victoire de la Moskova, où il fallut trois assauts sanglants pour enlever la redoute de Schwarzdino et où la Grande Redoute fut prise et reprise plusieurs fois. Il devait finalement échouer lorsque cette même défense lui fut opposée par Wellington à Waterloo.

La multiplication des fortins bétonnés à faible intervalle est essentiellement une innovation allemande au cours de la guerre de 1914-1918. Le béton apparaît dans la fortification de campagne dès mai 1915 où il forme, sous l'apparence du lacs de boyaux et de tranchées, l'ossature résistante : postes de mitrailleuses, observatoires. En fortification permanente, le fortin bétonné remplace les grands ouvrages. Les travaux des « Feste » de Metz sont suspendus en 1916. On établit à la place, sur le front Sud, une position de 1 300 abris de petites dimensions, dont la dalle de toit en béton armé avait de 0,60 m à 1,20 m d'épaisseur, pouvant loger



T W 16449

FIG. 4. — CASEMATE BÉTONNÉE YOUGOSLAVE APRÈS-UN BOMBARDEMENT PAR L'ARTILLERIE ALLEMANDE

douze à quinze hommes, avec, suivant le cas, des mitrailleuses, des observatoires ou des remises pour canons antichars. Cette disposition présente de gros avantages du point de vue camouflage; elle oblige à des dépenses considérables de munitions pour la destruction des ouvrages; l'inconvénient le plus grand est la dispersion des troupes, la difficulté des liaisons et du commandement. Conservée sur la ligne Siegfried, la disposition a été reproduite sur toutes les lignes fortifiées construites depuis, ligne Mannerheim, défenses de Tobrouk, lignes russes.

En réalité, la ligne discontinue de fortins à très faible intervalle est la synthèse de la ligne continue et des anciennes redoutes, devenues centres de résistance, auxquels on pouvait reprocher leur trop grand espacement. L'obstination du combattant à retourner à la ligne continue s'explique par des raisons qui ne sont pas sans valeur. La ligne continue répond chez le fantassin à un besoin moral, celui de se sentir les coudes; à deux nécessités tactiques, la surveillance de l'intervalle, l'exercice du commandement. La tranchée continue est le chemin de ronde d'où l'on surveille la nuit les réseaux de l'intervalle; de jour, elle est jugée bien utile, sinon indispensable, par le chef et l'agent de liaison. Aussi tous les rappels du Commandement, qui veut pouvoir se créer des réserves en réduisant la densité d'occupation, se heurtent-ils à la résistance des échelons subalternes.

La ligne de fortins à très faible intervalle, surtout si elle se complète et se camoufle d'un lacs de communications enterrées, donne satisfaction à ces besoins du combattant. Elle réduit la densité d'occupation à la satisfaction du Commandement; une douzaine d'hommes servant simultanément ou alternativement, suivant l'objectif, leur canon antichars, leurs mitrailleuses, ou leurs armes automatiques individuelles, ont aujourd'hui la capacité de feu des ba-

tailloons que Pierre le Grand enfermait dans les redoutes de Pultava.

La résistance sur position unique ou l'échelonnement en profondeur

Toutes ces lignes sont échelonnées en profondeur.

Faut-il concentrer toutes les forces de la défense sur une position unique? Faut-il, au contraire, aménager des positions successives sur chacune desquelles la défense tente un nouvel effort après avoir été chassée de la précédente?

C'est une question aussi ancienne que celle de la continuité ou de la discontinuité des lignes, mais où l'accord est beaucoup plus difficile. Le reproche d'un manque de profondeur est fréquent, mais beaucoup pensent encore, avec Machiavel, des positions successives de défense, « qu'on dispute mal les premières parce qu'on ne trouve pas encore l'action sérieuse et qu'on se réserve de défendre celles qu'on a derrière soi, et que, sur les dernières, on est découragé par les premières défaites et on perd toute énergie au moment où l'adversaire s'exalte et s'enhardit par le succès ».

Jadis, les lignes de défense successives ont toujours été de règle. Hérodote relate les sept couleurs des sept enceintes d'Ecbatane, et celles de Babylone s'étendaient sur 500 km², sept fois la superficie de la dernière enceinte fortifiée de Paris. Mais, si l'on peut discerner, en 1914, quelques traces d'un souci de défense en profondeur dans la fortification permanente, avec ses positions avancées, sa ligne principale de forts détachés, sa ligne de soutien..., la doctrine en matière de fortification de campagne est entièrement différente. La position unique est presque toujours réglementaire. « Dans la défensive, dit le règlement français de l'époque, les avant-lignes, les positions avancées sont en

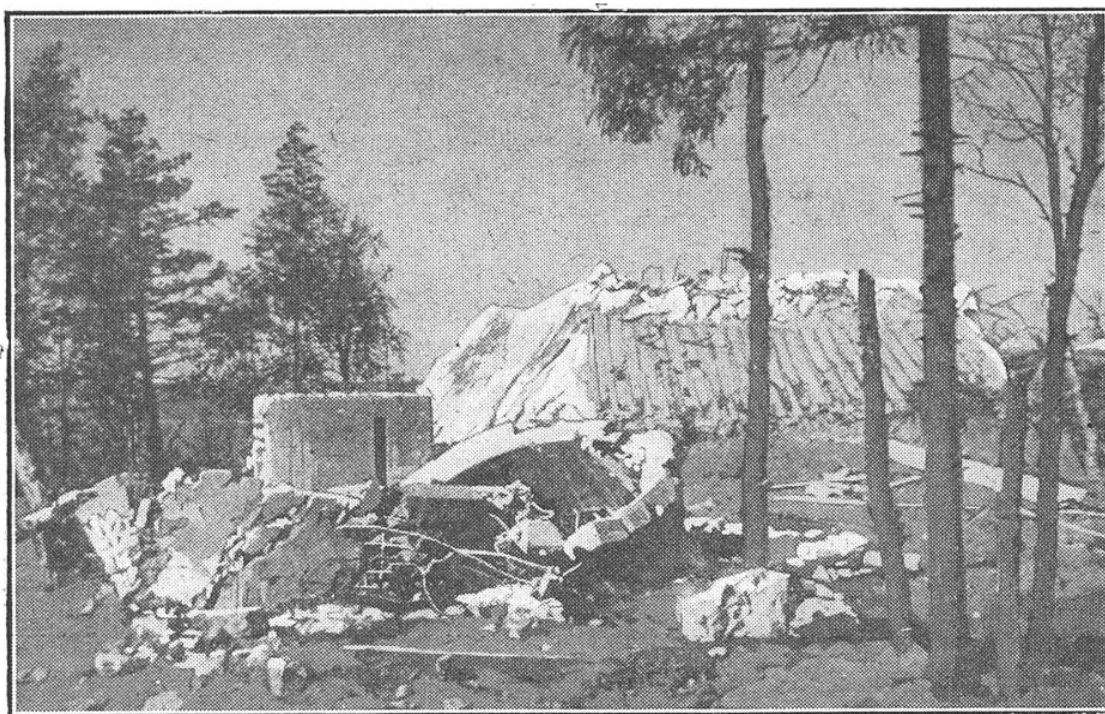


FIG. 5. — FORTIN BÉTONNÉ RUSSE DÉTRUIT PAR L'ARTILLERIE LOURDE SUR LE FRONT DE CARÉLIE T W 16448

principe à éviter. Elles conduisent à la dissémination des forces et à des échecs partiels de nature à affaiblir le moral des troupes maintenues sur la ligne de résistance. »

C'est le raisonnement de Machiavel.

L'histoire de la guerre de 1914 est une réaction continue contre cette règle, aussi bien en fortification de campagne qu'en fortification permanente. Les trois lignes de la fin de 1914, à faible distance, dont les dernières appuyaient la première, n'avaient que l'apparence de la profondeur, du côté français comme du côté allemand. C'est en mai-juin 1915 qu'apparaît une nouvelle position, assez rapprochée de la première au début pour l'appuyer de ses feux, puis reportée à 4 ou 10 km en arrière pour échapper à la destruction par l'artillerie au cours de l'attaque de celle-ci. L'aboutissement est la ligne Hindenburg, avec ses quatre positions fortifiées dont chacune comporte au moins deux lignes de tranchées, dont l'une au moins à contre-pente. En fortification perma-

nente, la défense Sud de Metz dont il a été question précédemment appliquait le même principe.

Après 1918, il faut noter une opposition très nette entre la doctrine française qui aboutit à une ligne jugée infranchissable d'ouvrages formidables et la doctrine allemande telle qu'elle s'incarne dans la ligne Siegfried où, a-t-on remarqué, les ouvrages peuvent être reconstruits à l'arrière plus vite qu'ils ne sont enlevés à l'avant. La doctrine allemande s'étendait à la guerre de campagne où son règlement enseigne que la protection réside plus dans la dispersion en largeur et en profondeur des emplacements de combat, dans leur ajustage au terrain, dans

leur faible étendue et leur camouflage adroit, que dans la force de la construction. C'est à la même conception que se rattachent la ligne Mannerheim, la ligne Staline, les fortifications des côtes sud-est d'Angleterre, où la profondeur varie de 30 à 100 km. C'est encore la même conception qui prévaut dans la défense des places fortes, à Tobrouk, à Odesa, à Léninegrad.

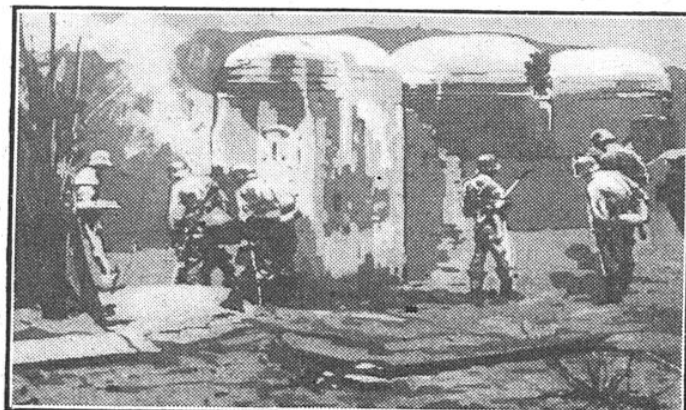


FIG. 6. — INTÉRIEUR D'UN FORT RUSSE QUI A EU À SUPPORTER UN VIOLENT BOMBARDEMENT PAR ARTILLERIE LOURDE T W 16444

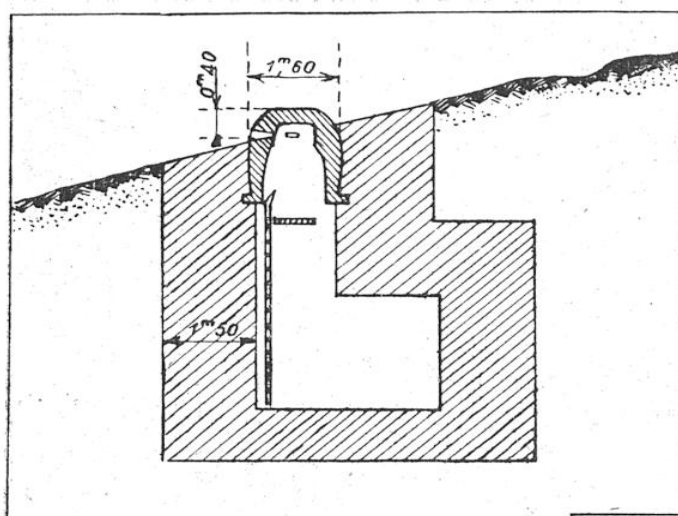


FIG. 7. — OBSERVATOIRE CUIRASSÉ
T W 16439

Le gros avantage de la combinaison de la cuirasse et du béton est de donner des ouvrages à très faible relief, donc aisément camouflables; le point faible est la jonction cuirasse-béton qui se disloque sous l'atteinte de coups répétés. Le type représenté ci-dessus est un minimum qui convient mal à l'observation par jumelle à ciseaux, au déploiement d'une carte...

à Sébastopol, sauf que la profondeur, très inférieure, est en rapport avec les capacités de la garnison à tenir l'enceinte extérieure.

Si la formule de l'échelonnement en profondeur a fait ses preuves, est-ce à dire encore que les arguments des protagonistes de la position unique étaient sans valeur? Non pas. Il est très beau de réclamer des positions profondes, de 20 ou 100 km, pour que le coup de boutoir qui crèverait la ligne unique s'enfonce en se freinant dans un ensemble qu'il ne parvient pas à abattre. Mais la solidité de chacune des lignes successives qui constituent cette position est en raison inverse de leur nombre; à entasser les unes derrière les autres des lignes trop faibles pour qu'aucune ne soit en mesure d'arrêter l'assaillant, réussira-t-on mieux qu'en concentrant ses ressources sur une ligne unique?

La conciliation entre les deux points de vue opposés n'est possible que par une véritable débauche d'armement défensif. Pour que les chars, s'enfonçant dans la position profonde, trouvent jusqu'au bout devant eux des armes antichars, il faut un autre matériel que la dotation parcimonieuse des 36 canons antichars d'une division, qui en mettra en ligne une demi-douzaine dans le secteur d'attaque; il faut que, sous une forme ou sous une autre, la meilleure étant probablement la forme mobile du char ou de l'avion d'assaut, les armes antichars se comptent par centaines. Pour que l'infanterie d'accompagnement trouve jusqu'au bout devant elle les armes automatiques qui l'arrêteront, il faut que chaque servent de canon antichars, saisissant sa mitrailleuse, se transforme instantanément en mitrailleur, à moins qu'on ne préfère le char ou l'avion d'assaut, qui passent, eux aussi, l'un et l'autre, en un instant, de l'arme convenable contre l'homme sous blindage à celle que réclame le fantassin sous capote.

C'est cette débauche de matériel qui, sur le front Est, permet à chaque adversaire de revendiquer la destruction ou la capture de dizaines de milliers de canons, de chars et d'avions, qui résout la contradiction entre la profondeur de la position et la solidité de chacun de ses éléments successifs.

Le béton

La résistance du béton a été parfaitement démontrée en 1914-1918, dans des conditions beaucoup plus dures que celles qu'on avait envisagées lors de sa mise en œuvre. L'affirmation de sa destruction aisée par la grosse artillerie, qu'on trouvait même sous la plume des plus grands chefs, était une erreur.

Lorsque Galliéri écrit : « Notre

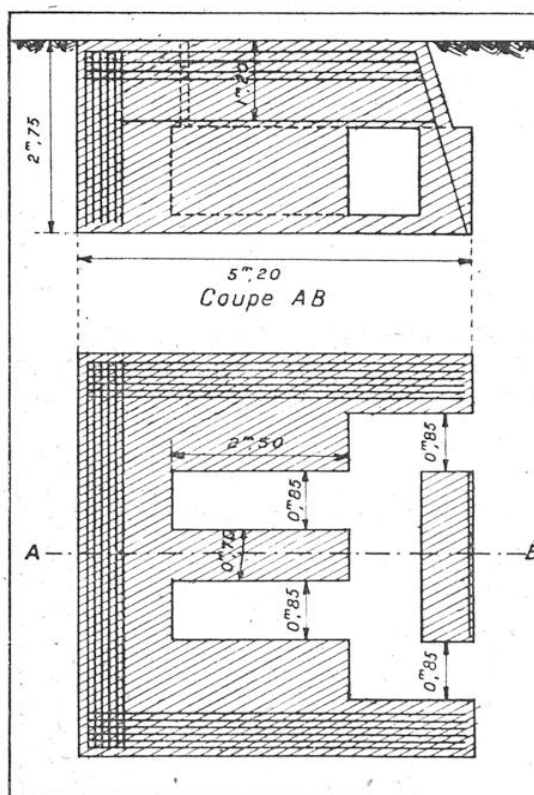


FIG. 8. — ABRI ALLEMAND DES FLANDRES (1917)
T W 16441

Ces abris, dont la dalle de toit variait de 0,90 m à 1,50 m d'épaisseur, ont remarquablement résisté aux calibres de 270 à 370 mm; la plupart étaient intacts dans des terrains bouleversés par ces calibres. La combinaison des fers ronds de 15 mm de l'extrados et de l'unique couche de fers ronds de l'intrados est à la fois plus économique et plus résistante que la répartition homogène employée au début. On peut leur faire deux reproches : insuffisance de protection contre le souffle; insuffisance de masse qui ne s'oppose pas au soulèvement et au renversement par les explosions de très gros projectiles.

fort bétonné de Manonviller, construit d'après les derniers perfectionnements, avait été complètement détruit après trente-six heures de bombardement par les mortiers allemands de 420 », il a tort de s'en rapporter aux photographies que répandait alors la propagande de Berlin et qui avaient été prises à la suite d'une explosion que les Allemands y organisèrent le 12 septembre 1914 en se retirant. Si la destruction avait été l'œuvre des projectiles il n'y aurait pas eu quatre tués seulement sur les dix-neuf officiers et sept cent quarante-cinq hommes que comprenait la garnison. Le commandement allemand avait tout intérêt, en vue de ses opérations ultérieures, à entretenir la conviction que rien ne résistait à son artillerie. Napoléon s'emportait de même contre les ministres qui laissaient publier des effectifs d'où il ressortait que, grâce à sa manœuvre, il battait un adversaire deux fois plus nombreux; il voulait qu'on annonçât l'écrasante supériorité numérique de ses troupes; il serait toujours temps de rectifier pour l'histoire.

Le commandement allemand réussit d'ailleurs à convaincre son adversaire, et, dès le 9 octobre 1914, le G. Q. G. français invitait les armées et les gouverneurs de places à ne plus compter sur la fortification permanente : « La durée

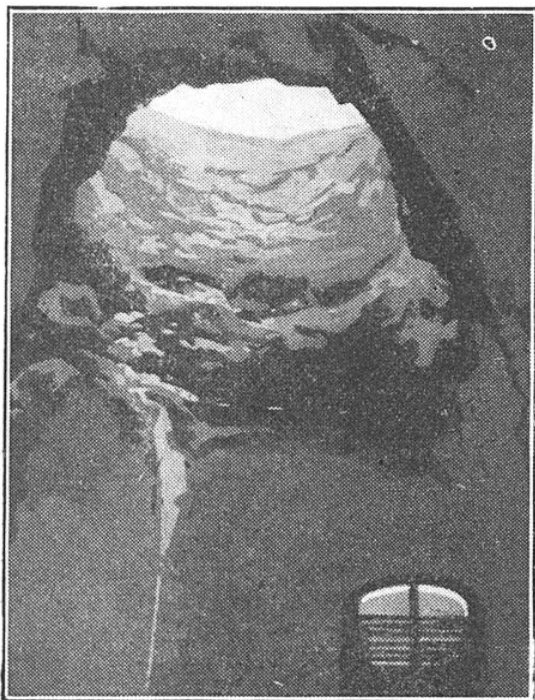
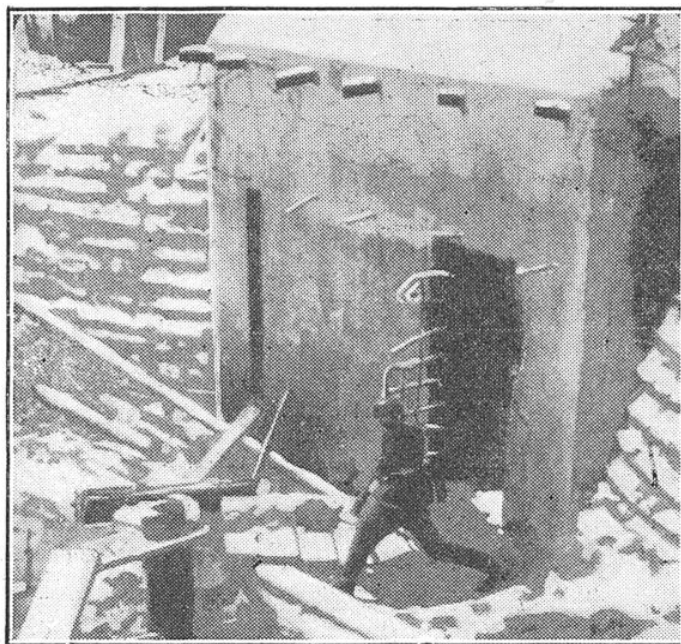


FIG. 9. — FORT BELGE MIS HORS DE COMBAT PAR UN OBUS DE 420 MM EN 1914



T W 16447

FIG. 10. — APRÈS AVOIR RÉSISTÉ AU BOMBARDEMENT TERRESTRE ET AÉRIEN, CE FORTIN BÉTONNÉ RUSSE A ÉTÉ ENLEVÉ PAR LES PIONNIERS ALLEMANDS QUI EN FIRENT SAUTER LA PORTE

d'une place ne doit pas être liée à l'existence des ouvrages permanents; elle dépend du soin avec lequel ont été aménagés les lignes avancées et les intervalles, ainsi que de l'énergie avec laquelle ces positions sont défendues. »

L'examen des effets du bombardement auquel on put se livrer plus tard montra toute l'étendue de l'erreur.

Au lieu du mortier de 270 mm pour lequel le béton français avait été établi, il eut à supporter le 305 mm, le 370 mm, le 380 mm, le 400 mm, le 420 mm. Les portées passaient des 5 000 m prévus aux 16 000 m des obusiers de 370 mm et 400 mm français utilisés pour la reprise des ouvrages; l'énergie à l'impact croissait sensiblement dans le rapport des portées. Les projectiles avaient été perfectionnés; ce n'étaient plus les obus à parois minces et à 25 % d'explosif, mais les obus de semi-rupture à 10 % d'explosif, éclatant après avoir pénétré dans le béton, dont les expériences d'Otchakoff, en 1912, avaient montré la supériorité.

Or, les dernières épaisseurs de béton admises sur les ouvrages français, 2,50 m à Douaumont et Tavannes, résistèrent parfaitement au plus élevé de ces calibres, le 420 mm; seules furent perforées les carapaces en 1,50 m d'épaisseur. Un seul trou fut observé à Douaumont dans le béton en 2,50 m d'épaisseur; il avait été produit par la superposition de trois coups de 400 mm. Les 2 m de béton de Souville résistèrent au 380 mm. Pour du béton armé selon la technique allemande de 1917, on peut admettre 1,75 m comme épaisseur limite de résistance au 420 mm; l'effet de l'armature se fait surtout sentir contre la répétition des impacts au même point, qui finit par exulser les matériaux de l'entonnoir creusé dans le béton non armé.

Le nombre de projectiles auxquels durent résister les ouvrages dépassait toutes les prévi-

ÉPAISSEUR DES DALLES	CALIBRE DES PROJECTILES				
	150 mm	210 mm	305 mm	380 mm	420 mm.
1 m 25			Percée.	Percée.	Percée.
1 m 50			Entonnoir de 0 m 30 et fléchissement de l'intrados	Désagré- gation presque complète.	Percée.
1 m 60	Effets insignifiants	Eraflures et entonnoirs de faible profondeur.		Entonnoirs de 1 m 80 × 1 m fléchissement de l'intrados.	Percée.
1 m 65					Désagré- gation presque complète.
1 m 75					Non percée Résistance limitée.

TABLEAU I. — EFFET DES PROJECTILES SUR LES DALLES EN BÉTON ARMÉ

Ce tableau résume l'effet moyen des projectiles allemands sur les dalles de toit en béton armé de très bonne qualité, tel qu'il a été observé au cours de la guerre de 1914-1918. C'est à la suite de ces résultats que l'armée allemande généralisa en fortification permanente comme en fortification de campagne l'emploi des abris bétonnés de 1,20 m à 1,50 m d'épaisseur dont la destruction exigeait les calibres de 305 à 400 mm.

sions. Pas moins de 120 000 projectiles allemands, puis français, tombèrent sur Douaumont. Sur les trente casemates, cinq seulement étaient devenues inhabitables, toutes dans la partie protégée à 1,50 m. A Vaux, moins bombardé, toutes les casemates restèrent habitables.

La résistance tenait à la qualité du béton spécial français à 400 kg de ciment au mètre cube, et surtout aux soins pris pour son exécution. Les Allemands s'en inspirèrent pour leurs abris construits de 1914 à 1918; on put vérifier par les destructions faites après l'armistice que leur béton d'avant 1914 était inférieur.

La résistance du béton en 1914 n'échappa pas au commandement allemand qui continua à l'employer activement dans ses travaux de fortification permanente poursuivis au cours de la guerre (Metz, Anvers, Mayence...), et, dès 1915, dans la fortification de campagne où il permettait la constitution d'abris pour mitrailleuses d'épaisseur au plafond réduite, donc de camouflage aisé. Dès 1916, le béton était appliqué par lui sur une très grande échelle, dans les Flandres, à des abris pour mitrailleuses et des observatoires en très grand nombre qui sont à l'origine de la fortification permanente moderne. La résistance des abris en béton coulé monobloc, avec dalle de toit à armatures multiples à l'extérieur et armature simple à l'intérieur, tels qu'ils furent employés dans les Flandres, dépend évidemment de leur épaisseur qui s'échelonnait de 0,90 m à 1,50 m. Les dalles de

1,20 m à 1,50 m résistaient généralement au 270 mm et au 280 mm; celles de 1 m à 1,20 m résistèrent très bien aux calibres britanniques de 8 et 9,2 pouces.

La résistance réelle du béton explique l'aide qu'elle apporte à la défense d'une position.

Dès que les épaisseurs atteignent 1,50 m, leur destruction exige l'emploi de la très grosse artillerie, 305 à 420 mm. D'autre part, la dissémination, l'échelonnement en profondeur et le camouflage des fortins obligent à des consommations énormes de munitions de très gros calibre sans qu'on soit certain d'avoir tout détruit. Le béton, sous la forme de fortins dis-

persés, résiste pratiquement aux artilleries lourdes les plus nombreuses et les mieux approvisionnées.

On ne lutte pas avec des poitrines contre du béton, soutenait-on autrefois. Il faut bien s'y résigner, quand l'artillerie est impuissante. C'est l'affaire du pionnier, sous les tirs de barrage et les grenades, d'essayer de porter dans les embrasures la charge d'explosif qu'on n'a pas d'autres moyens d'y placer. La méthode est onéreuse. Elle explique que, sur le front Est, les deux adversaires puissent annoncer des pertes de vies humaines à l'échelle des pertes de matériel. Elle n'est d'ailleurs pas à sens unique et le défenseur, à condition d'y consommer assez de pionniers, peut réussir à en chasser l'assaillant. Attaques et contre-attaques aboutissent, dans les ruines des fortins en béton, au même piétinement coûteux qu'à Verdun, dans les trous d'obus transformés en postes de mitrailleuses.

L'avenir de la fortification

La fortification vaudra toujours ce que vaut l'armée qui s'appuie sur elle, et qui n'apprend

DÉSIGNATION	CIMENT	SABLE	GALETS
Béton n° 2, belge.....	180 kg	0 m³ 600	0 m³ 800
Béton n° 3, belge.....	250 kg	0 m³ 550	0 m³ 750
Béton n° 5, belge.....	400 kg	0 m³ 500	0 m³ 700
Béton spécial français.....	400 kg	0 m³ 300	0 m³ 900

TABLEAU II. — COMPOSITION DE QUELQUES BÉTONS POUR FORTIFICATIONS

Les bétons belges se sont montrés, en 1914, très inférieurs au béton français. A Anvers, les meilleures voûtes en béton (non armé) de 2,50 m, dont 1,25 m de béton n° 2 et 1,25 m de béton n° 5, n'ont pas résisté au 420 mm; elles ont même été percées par les projectiles qui n'éclataient pas. La teneur en ciment de la couche d'intrados en béton n° 2 était insuffisante; la discontinuité du béton était également très défavorable.

souvent à s'en servir qu'après des années de guerre.

Voici la description que fait le major de Witte de l'état de la garnison du fort Waelhem à Anvers en 1914 : « Entassés dans la seule poterne qui leur inspire quelque confiance, la plupart de mes fusiliers sont couchés à terre, épuisés physiquement et moralement. Certains sont atteints d'une dépression nerveuse telle que chaque obus de 305 provoque chez eux un sursaut et un tremblement que les plus braves ne parviennent pas toujours à dominer. Quant à faire monter sur les remparts les cent cinquante hommes qui me restent sur les cinq cents que j'avais sous mes ordres quatre jours avant, il n'y faut plus songer. Leur épuisement est complet. Ils gisent sur le sol comme des loques humaines incapables d'aucune réaction, attendant la mort, inconscients de leur abrutissement. Nous sommes arrivés au terme de ce que peuvent supporter les nerfs et l'énergie humaine. »

On mettra en regard l'avis du sapeur sur le même bombardement, sous forme d'un extrait du rapport officiel allemand, établi à Bruxelles en 1915 par le général inspecteur des ingénieurs et pionniers : « Le fort de Waelhem (Anvers) reçut 556 obus de 30,5 cm; trente seulement touchèrent l'ouvrage lui-même et produisirent des dommages appréciables. Les deux cuirassements de la défense éloignée ont été mis hors de combat; les quatre cuirassements de la défense rapprochée sont demeurés utilisables. La couche de béton fut traversée en un seul endroit. » En somme, comme il n'était pas question, pour bien des raisons, de demander aux pièces en tourelle de la contre-batterie à 10 km, les moyens de défense du fort étaient restés intacts.

TOURELLES		NOMBRE TOTAL	HORS SERVICE	% DE MISES HORS SERVICE
Défense éloignée	Tourelles de 15 cm.	10	5	22 %
	Tourelles de 12 cm.	11	1	
Défense rapprochée	Tourelles de 7,5 cm.	16	2	33 %
	Tourelles de 75 mm.	18	6	

TABEAU III. — DESTRUCTION DE TOURELLES CUIRASSÉES PAR L'ARTILLERIE ALLEMANDE A ANVERS EN 1914

Il fut tiré à Anvers, sur les forts récents de la ligne extérieure, 2 130 obus de 30,5 cm et 590 obus de 42 cm. Les chiffres précédents, tirés du rapport officiel allemand, donnent le pourcentage des mises hors service. Celui des destructions est beaucoup plus faible; il s'agissait le plus souvent de coincements, de destructions partielles des anneaux protecteurs en béton armé ou des voussours en acier moulé de l'avant-cuirasse. L'épaisseur des coupoles était de 22 cm, en fer laminé ou acier au nickel, suivant l'ancienneté; elles résistaient au 30,5 cm, mais étaient percées par le 42 cm. Ces résultats expliquent l'intérêt marqué dès 1915 par l'armée allemande pour les lignes de petits abris bétonnés très nombreux, qui exigent des tonnages énormes de gros projectiles pour leur destruction.

Le même soldat belge, qui ne tenait pas sous le béton de sa place la plus puissante, résistait parfaitement quelques mois plus tard sur l'Yser à des bombardements au moins aussi sévères.

L'armée française eut le temps, en 1914-1918, de faire le même apprentissage. Pourquoi un fort moderne comme Manonviller n'a-t-il tenu que cinquante-quatre heures dont huit heures sous le 420 mm, quand un vieux fort de l'enceinte abandonnée de Verdun, comme Souville, a tenu des mois? C'est que deux années s'étaient écoulées dans l'intervalle. Le soldat russe des divisions de nouvelle formation, instruit en trois mois par des cadres improvisés, tenait en décembre 1941 dans des lignes de fortune, quand ses anciens, après des années d'entraînement sous la direction d'officiers expérimentés, ne pouvaient défendre une ligne Staline où l'on avait enfoui des dizaines de milliards de roubles.

Qu'elle ait résisté jusqu'au bout ou qu'elle n'ait servi qu'à rendre plus coûteuse l'avance de l'assaillant, la fortification aura, dans les deux cas, pleinement rempli son rôle. Il est des chocs d'une puissance telle qu'on ne peut les supporter qu'en cédant. Lorsqu'on lance un grand navire, on parvient à l'arrêter avec deux câbles de retenue qui paraissent solides au spectateur, mais qui ne sont pas grand'chose quand on les compare à la masse et à la vitesse du bâtiment lancé. On ne pourrait pas en faire d'assez gros s'il fallait que l'arrêt se fasse d'un seul coup. Les câbles se tendent, cassent une bosse, reprennent du mou; l'opération recommence; à la dixième fois ou à la vingtième, le navire s'arrête. Après que, pendant des années, Napoléon eut enlevé des positions fortifiées, celles de la Moskova comme les autres, en payant son succès un peu plus cher chaque fois, il finit à Waterloo devant un village à contre-pente.

Camille ROUGERON.

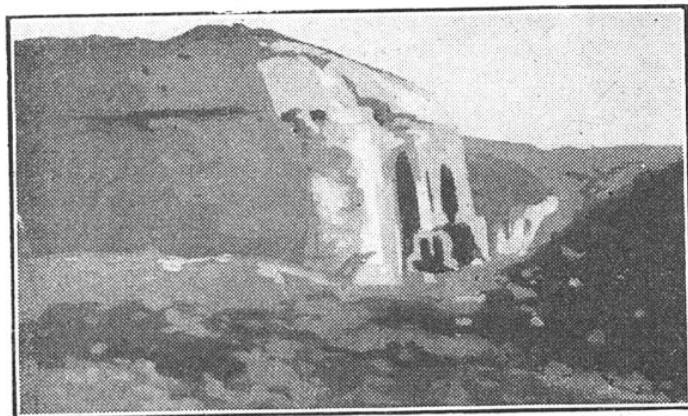


FIG. 11. — ASPECT PARTIEL DU FORT DE DOUAUMONT APRÈS LE BOMBARDEMENT ET LA PRISE PAR LES ALLEMANDS EN MARS 1916.

VERS LA TÉLÉVISION EN COULEURS

par Pierre HÉMARDINQUER

La télévision est entrée aux Etats-Unis dans la phase industrielle en juillet 1941, sous la forme d'un service public national. Les conditions normales de transmission ont été déterminées par le « National Television System Committee ». La teinte générale des images animées transmises à distance, verte ou sépia, ne favorise cependant pas l'obtention du contraste dont dépend la qualité des images. Aussi, depuis bientôt un an, des essais publics de télévision en couleurs (qui accroît ce contraste) ont été effectués en vue de faire un choix entre les nombreux procédés préconisés et de fixer les conditions d'une prochaine exploitation commerciale. La « Commission Fédérale des Communications » a même envisagé la composition de programmes de transmissions en couleurs et recommandé l'adoption d'un minimum de quinze heures par semaine pour ce genre de diffusions. Il semble que les grandes difficultés inhérentes à l'analyse des couleurs et à leur synthèse aient été vaincues et les essais effectués pendant plusieurs mois par la « Columbia Broadcasting Cy » auraient déjà pleinement satisfait les techniciens.

L'intérêt de la télévision en couleurs

L peut paraître prématuré d'envisager déjà la télévision en couleurs, alors que la transmission à distance en noir et blanc en est encore à ses débuts et que le cinéma en couleurs naturelles est encore l'exception. C'est que, si le but de toute transmission animée est une reproduction fidèle de la vie (mouvement, couleurs, relief), la reconstitution des couleurs sur un écran offre en télévision des avantages techniques appréciables qui ont incité les chercheurs à se mettre d'ores et déjà à la tâche.

En effet, la difficulté d'obtenir une finesse suffisante de la trame d'analyse à l'émission et à la réception limite encore la qualité des images télévisées. Or, à égalité de cette finesse, une image en couleurs permet de mieux distinguer les détails par suite du contraste des couleurs qui s'ajoute à celui des ombres et des lumières. Un coquelicot rouge, par exemple, se détache nettement sur une prairie verte, alors qu'il serait invisible sur une image monochrome.

De plus, l'impression de « pseudo-relief », parfois si nette sur des projections animées contrastées, aux ombres et aux lumières vives, peut devenir encore plus saisissante sur une image en couleurs.

Les difficultés de la transmission des couleurs

Les rayons de lumière naturelle ou artificielle donnant l'impression de la lumière blanche sont constitués, en réalité, par un mélange d'une infinité de radiations de longueurs d'onde différentes. Les couleurs séparées par le prisme et que désigne le fameux alexandrin : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge, ne sont en réalité que des colorations moyennes. La lumière blanche n'est pas seulement composée de sept couleurs, mais d'une infinité.

Les diverses sources lumineuses qui nous semblent blanches n'ont pas, d'ailleurs, la même

composition spectrale; le soleil du matin, le soleil de midi, la lampe à incandescence, la lampe à arc, produisent des radiations « blanches » de différentes couleurs.

C'est là une des difficultés essentielles qui s'opposent à la réalisation de procédés parfaits de télévision en couleurs, aussi bien que de photographie ou de cinématographie polychromes.

On sait que deux couleurs sont dites complémentaires lorsqu'elles donnent à l'œil, par superposition sur un écran blanc, l'impression d'un éclaircissement par lumière solaire naturelle; l'expérience a montré que certaines couleurs mélangées en proportions convenables, étaient complémentaires. On peut citer : le rouge et le bleu-vert; l'orangé et le bleu d'outre-mer; le vert-jaune et le violet (fig. 1).

La couleur d'un corps résulte du fait que les rayons des différentes couleurs composant la lumière qui frappe ce corps sont réfléchis ou transmis par lui en proportions variables. Les objets ne sont donc pas colorés par eux-mêmes, mais par les rayons lumineux qu'ils réfléchissent ou transmettent.

La couleur des corps nous paraît donc varier suivant la lumière qui les éclaire. Si l'on interpose devant un faisceau de lumière complexe un corps transparent coloré, certaines régions colorées du spectre disparaissent entièrement, ou sont atténuées. Les rayons colorés correspondants ont donc été absorbés; on dit que la lumière a été filtrée par le système coloré.

D'une façon générale, un écran coloré absorbe les couleurs complémentaires de sa propre couleur; un écran rouge se laisse traverser uniquement par les rayons rouges et s'oppose au passage des rayons bleus complémentaires.

Trichromie et bichromie

Le principe sur lequel est fondée la réalisation des systèmes de cinématographie, comme de télévision en couleurs, est souvent celui de la trichromie, énoncé par le physicien Young,

	Violet	Indigo	Bleu	Bleu vert	Vert	Vert jaune	Jaune
Rouge	Pourpre	Rose foncé	Rose clair	Blanc	Jaune clair	Jaune	Orangé
Orangé	Rose foncé	Rose clair	Blanc	Jaune clair	Jaune	Jaune d'or	
Jaune	Rose clair	Blanc	Jaune clair	Jaune	Jaune d'or		
Jaune vert	Blanc	Vert clair	Vert clair	Jaune vert			
Vert	Bleu clair	Bleu d'eau	Vert				
Vert bleu	Bleu d'eau	Bleu d'eau					
Bleu	Indigo						

FIG. 1. — TABLEAU DES COULEURS COMPLÉMENTAIRES DE HELMHOLTZ

Le mélange des couleurs indiquées dans la première ligne et la première colonne donne la coloration recherchée à l'intersection de la ligne et de la colonne correspondante. On note, par exemple, que le mélange d'un faisceau lumineux jaune et d'un faisceau indigo donne du blanc.

et repris ensuite par Helmholtz. Il repose sur le fait que toutes les sensations colorées peuvent être considérées, d'une manière élémentaire, comme le résultat de l'excitation de trois sensations distinctes provenant de trois couleurs fondamentales, telles que le bleu verdâtre, le jaune et le rouge violacé, ou le violet, le vert et le rouge orangé (fig. 2).

Ces trois couleurs fondamentales ont été ramenées à deux dans le procédé simplifié de la bichromie.

Les résultats obtenus en photographie et en cinématographie par ce procédé sont, en général, moins bons. Par contre, en télévision, le principe de la bichromie a permis récemment, tout en apportant une simplification des appareils, d'obtenir des résultats très acceptables.

Méthodes de transmission successives et simultanées

Dans la télévision en couleurs, on décompose chaque point de l'image à transmettre en ses deux ou trois couleurs fondamentales, qui sont ensuite transmises avec leurs intensités respectives, et mélangées à nouveau sur l'image, dans les mêmes proportions, de manière à reconstituer pratiquement la coloration initiale.

Pour chaque élément d'image, il faut ainsi considérer deux ou trois signaux élémentaires à transmettre, mais cette transmission peut se faire soit simultanément, soit successivement. La restitution finale est toujours assurée par l'observateur, grâce à la persistance de l'impression rétinienne.

En réalité, on ne reçoit jamais sur l'écran de projection tous les éléments de l'image à la fois, mais, suivant le principe normal de la télévision en noir, un seul des éléments nécessaires. En télévision polychrome, un élément d'image comporte deux ou trois éléments d'image élémentaire monochrome. Ces éléments peuvent seulement être transmis simultanément, de façon à assurer, en une seule fois, la restitution d'un élément d'image complexe.

Dans la méthode de transmission simultanée (bichromie ou trichromie), on a recours à deux ou trois voies de transmission séparées, mais on exécute simultanément une décomposition triple ou double des couleurs de chaque élément d'image, et on ne se sert que d'un seul objectif, pour éviter les effets de parallaxe. A

la réception, les images partielles formées par le mélange des trois couleurs fondamentales, d'intensité différente, suivant la composition de la couleur à reproduire, sont projetées en même temps à l'aide d'intégrateurs électromécaniques ou cathodiques synchronisés.

La deuxième méthode consiste à transmettre successivement deux ou trois signaux monochromes élémentaires, de façon à restituer les images élémentaires complètes les unes après les autres.

On n'emploie plus, dans cette méthode successive, qu'une seule voie de transmission.

Les deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients.

Le partage du faisceau lumineux d'exploration en faisceaux élémentaires affaiblit l'intensité des images partielles; l'emploi de plusieurs voies séparées de transmission constitue une complexité gênante, au point de vue électrique, et plus encore radioélectrique. La transmission simultanée semble donc surtout s'appliquer à la diffusion par lignes et non « sans fil ».

La décomposition de l'image par la méthode habituelle par points et par lignes permet toujours de satisfaire aux conditions d'application du deuxième procédé.

Les principes de construction adoptés

Les dispositifs employés sont construits suivant les principes indiqués plus haut. En télévision en noir et blanc, les analyseurs et intégrateurs électromécaniques ont à peu près disparu dans la pratique courante (1); il ne semble pas encore en être de même en télévision en couleurs, tout au moins pour

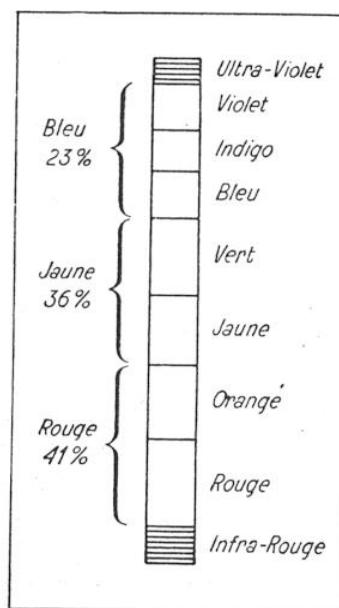


FIG. 2. — RÉPARTITION DES COULEURS DU SPECTRE SOLAIRE. EXEMPLE DE COMPOSITION SYNTHÉTIQUE TRICHROME

(1) Voir : « Les progrès de la télévision », dans *La Science et la Vie*, no 292 (déc. 1941).

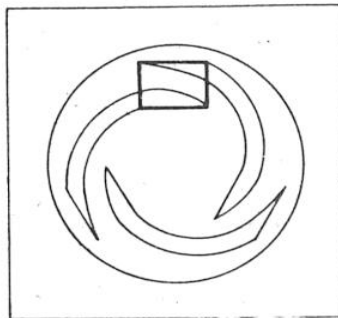
la transmission. Le fait est dû, en particulier, à l'emploi toujours nécessaire des filtres colorés disposés, en général, sur un organe tournant, de façon à venir s'interposer sur le trajet du faisceau lumineux au moment convenable.

Les appareils réalisés diffèrent assez profondément les uns des autres par leurs détails de construction, mais appartiennent toujours à l'une des deux catégories indiquées précédemment. Lorsqu'on veut transmettre simultanément les éléments monochromes des images, on décompose chaque élément d'objet en trois images élémentaires en disposant sur chacune des voies lumineuses élémentaires d'analyse un filtre d'une couleur fondamentale correspondante (trois filtres dans le cas de la trichromie, deux filtres dans le cas de la bichromie). Un seul objectif peut d'ailleurs suffire (fig. 3).

Les images partielles formées à la réception par le mélange des trois couleurs fondamentales, ainsi sélectionnées et transmises simultanément, peuvent être projetées également simultanément à l'aide de trois disques perforés, ou de pinces cathodiques se déplaçant en synchronisme et en phase dans des oscillographes récepteurs.

Dans les procédés à transmission successive des éléments monochromes, on transmet généralement, non pas chaque élément monochrome après l'autre, c'est-à-dire (en bichromie) un

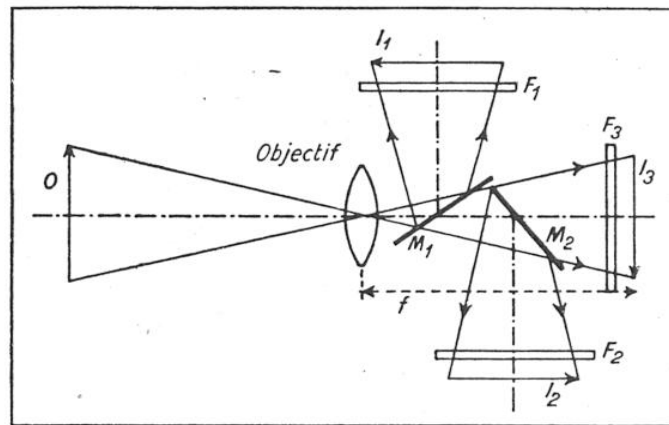
élément bleu vert après un rouge, puis un rouge après un bleu vert, etc., mais, bien souvent, un groupe d'éléments monochromes complet après un autre groupe. On transmettra ainsi une image élémentaire rouge complète, puis une image bleu vert complète, puis une image rouge complète, etc. Grâce au procédé d'analyse à lignes entrelacées, on peut transmettre



T W 16414

FIG. 4. — DISPOSITION SCHEMATIQUE D'UN DISQUE A TROIS FENTES AVEC FILTRES COLORES

Ce disque permet la décomposition d'une image en couleurs en trois images élémentaires et la restitution de l'image complète en couleurs à l'aide de trois images monochromes.



T W 16413

FIG. 3. — DECOMPOSITION DE L'IMAGE EN TROIS IMAGES ELEMENTAIRES MONOCHROMES FONDAMENTALES

L'image de l'objet O est produite en I_1 à travers un filtre F_1 au moyen d'un objectif; on obtient ainsi une première image partielle. Deux miroirs à réflexion partielle M_2 et M_1 (renvoyant le premier 33 %, le second 50 % du flux lumineux qu'il reçoit) associés avec deux filtres F_2 et F_3 , permettent d'obtenir les deux autres images partielles I_2 et I_3 .

complète, un disque à fentes. Dans le cas de la décomposition de la couleur par images entières, le disque de filtres tourne en synchronisme avec la cadence de transmission (fig. 4).

En utilisant pour la réception un tube à rayons cathodiques, la reconstitution de l'image en couleurs sur l'écran se fait encore par lignes monochromes projetées l'une au-dessous de l'autre, ou par points monochromes disposés l'un à côté de l'autre.

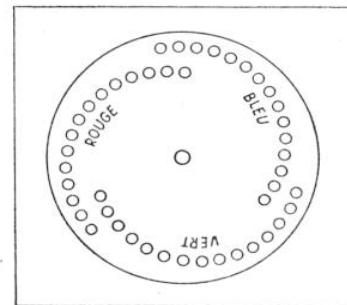
La télévision en couleurs présente des difficultés nombreuses

Quels que soient les appareils utilisés, de grandes difficultés d'ordre optique et radioélectrique s'ajoutent à celles de la transmission en noir et blanc. En effet, les filtres assurant la décomposition en couleurs élémentaires et la restitution en couleurs naturelles doivent être spécialement étudiés. Leur emploi détermine des pertes de lumière qui exigent des tubes cathodiques à haute intensité, difficiles à réaliser avec une durée de service suffisante.

Au point de vue radioélectrique, la nécessité d'explorer et de transmettre deux ou trois images élémentaires mo-

également des demi-images élémentaires monochromes, et il existe même des méthodes d'entrelacement particulièrement complexes.

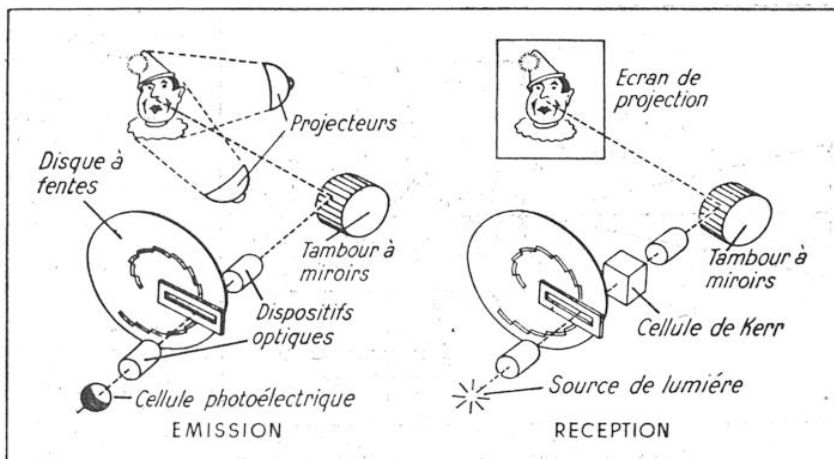
Un disque tournant portant des filtres peut assurer la décomposition de la couleur, par images, par points ou par lignes de points. Pour la décomposition par points, on adopte un disque perforé; pour la décomposition par lignes ou par ensembles de lignes formant une demi-image ou une image



T W 16415

FIG. 5. — DISQUE D'ANALYSE TRICHROME A TROIS SPIRALES UTILISE DANS LES PREMIERS APPAREILS BAIRD

On pouvait ainsi effectuer une analyse et une reconstitution de l'image complète à l'aide de trois images successives élémentaires transmises par points.



T W 16416

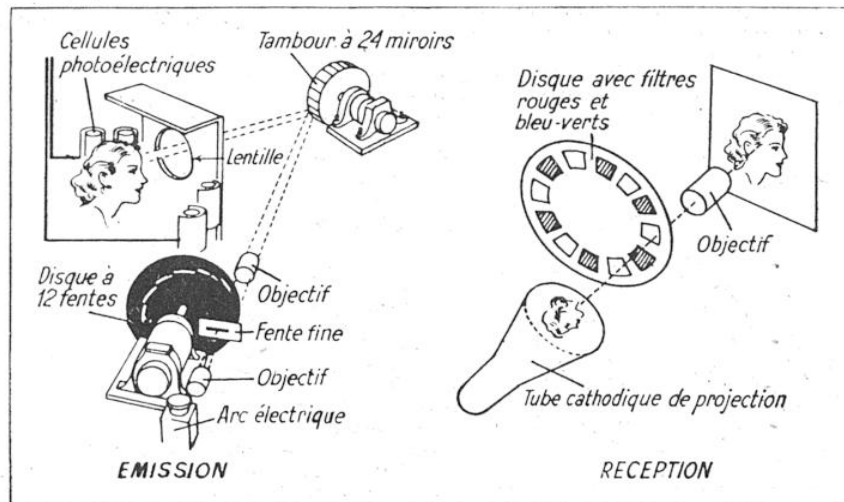
FIG. 6. — SCHÉMA DE L'APPAREIL DE TRANSMISSION ET DE RÉCEPTION BAIRD
BICHROME A LIGNES ENTRELACÉES COMPLEXES

On emploie la méthode d'éclairage indirect d'Ekstrom; le sujet est entièrement éclairé et la lumière qu'il réfléchit est analysée par la combinaison du tambour à 20 miroirs (tournant à 6000 tours/mn) et du disque (tournant à 500 tours/mn) muni de 12 fentes colorées alternativement en rouge et en bleu-vert. La cellule photoélectrique utilisée possède une cathode photosensible au rubidium dont les caractéristiques sont comparables à celles de l'œil humain, bien qu'elle nécessite un filtrage préalable des rayons infrarouges. La disposition du récepteur est exactement inverse. La source de lumière fixe qui remplace la cellule est placée derrière un disque à fentes analogue à celui du transmetteur. Avant de frapper le tambour à miroirs, le pinceau lumineux est modulé par une cellule de Kerr. Les éléments rouges de l'image, par exemple, sont reproduits par la lumière traversant le filtre correspondant du disque. La reconstitution sur l'écran par superposition des éléments monochromes est assurée par le tambour à miroirs.

nochromes, au lieu d'une seule (et dans le même temps pour conserver la même trame d'analyse, c'est-à-dire la même qualité d'image), conduit à multiplier par deux ou par trois la fréquence nécessaire à la transmission de l'émission sans fil. Dans les conditions ordinaires de la radiotechnique, l'expérience a montré qu'on ne pouvait pourtant étendre actuellement la bande normale de transmission au delà de 6 mégacycles environ.

Fort heureusement, la finesse théorique de la trame ne correspond pas toujours à la finesse pratique nécessaire. Avec une finesse de trame inférieure, et grâce à l'effet de contraste déjà indiqué, les images en couleurs peuvent paraître d'aussi bonne qualité que les images en noir et blanc. Les transmissions réalisées, jusqu'à présent, s'effectuent ainsi, en général, avec une trame d'analyse relativement ré-

vertures en spirale, au lieu d'une seule, permettant l'application de la méthode trichrome. La première rangée portait des filtres bleus, la deuxième des filtres verts et la troisième des



T W 16417

FIG. 7. — SCHÉMA DU PROCÉDÉ BICHROME DE BAIRD MODIFIÉ

Un arc à haute intensité produit un faisceau lumineux traversant d'abord le disque à fentes commandant l'entrelacement des lignes, puis est concentré sur un tambour à miroirs tournant à 6000 tours/mn. Le sujet à téléviser est ainsi balayé par le spot et la lumière réfléchie agit sur un ensemble de cellules photoélectriques sensibles aux différentes couleurs. A la réception, au dispositif électromécanique est substitué un tube cathodique situé derrière un disque dont les ouvertures sont recouvertes de filtres semblables à ceux utilisés sur le disque d'émission.

duite, pour chaque image élémentaire.

Les travaux de Baird

Les essais de télévision en couleurs effectués par l'ingénieur Baird datent de 1928; parmi les résultats les plus intéressants obtenus par cet inventeur, on peut citer, en février 1938, une réception sur un écran de 2,40 m sur 3,60 m, au Dominion Théâtre de Londres, devant trois mille spectateurs. La transmission avait lieu à l'aide de fils conducteurs, à une distance de 12 km, depuis le studio du Crystal Palace. Les appareils employés étaient uniquement électromécaniques, et comportaient des analyseurs et des intégrateurs avec disques de Nipkow modifiés. La différence consistait simplement dans l'emploi de trois rangées d'ou-

filtres rouges. L'objet à téléviser était ainsi balayé trois fois à chaque rotation du disque, la première fois par la série des ouvertures bleues, la deuxième par les ouvertures vertes et la troisième par les ouvertures rouges. On obtenait trois images correspondant aux éléments rouges, bleus et verts des colorations naturelles (fig. 5).

Du côté du récepteur, on utilisait un disque semblable, tournant en synchronisme et, derrière ce disque, une lampe à décharge lumineuse modulée par le signal de télévision.

Les éléments correspondant aux parties rouges, bleues et vertes des images étaient ainsi transmis dans le même ordre. Ces images étaient recueillies par des filtres semblables du côté du récepteur, et la combinaison successive des trois couleurs primaires reconstituait les couleurs complexes normales, grâce à la persistance des impressions rétiniennes; on utilisait ainsi trois images successives élémentaires.

L'image finale était de surface réduite, et de l'ordre de 12 cm² seulement.

La faible cadence de transmission déterminait un scintillement assez gênant.

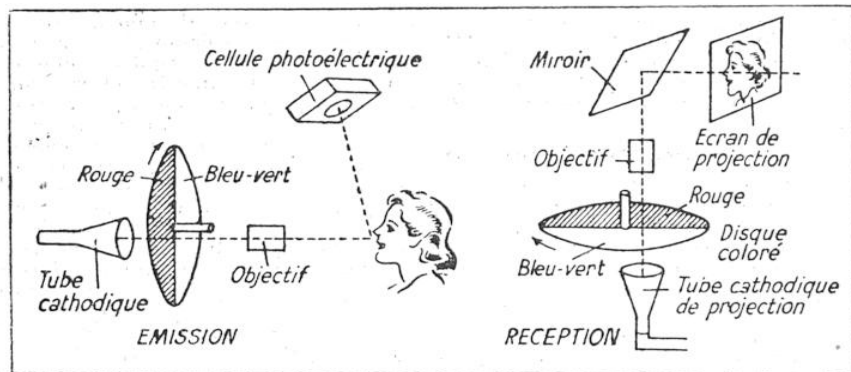
Un procédé à lignes entrelacées complexe

Le dispositif présenté en 1938, bien qu'encre électromécanique, est déjà plus perfectionné, et aussi plus original; sa principale caractéristique consiste dans une analyse à lignes entrelacées complexe.

L'avantage de l'analyse à lignes entrelacées consiste à éviter le phénomène gênant du scintillement, sans avoir à augmenter la cadence de transmission et, par suite, à étendre la bande de fréquences des oscillations à transmettre.

L'avantage de ce procédé est encore plus grand dans la télévision en couleurs, puisque la multiplication par deux ou par trois du nombre des images élémentaires entraîne nécessairement une augmentation de la fréquence, à égalité de finesse de la trame d'analyse.

Le procédé imaginé par Baird consistait à employer une analyse entrelacée complexe, en déplaçant, à chaque analyse, le champ de balayage. Au lieu de transmettre seulement deux demi-images entrelacées, on transmet huit ou douze images élémentaires comportant chacune trente ou vingt lignes, par exemple, si l'on veut obtenir finalement une image totale à deux



T W 16418

FIG. 8. — SCHÉMA DE PRINCIPE DES APPAREILS DE TRANSMISSION ET DE RÉCEPTION BICHROMES BAIRD ENTIÈREMENT CATHODIQUES

Le sujet à téléviser est balayé par un spot lumineux mobile projeté à travers un disque portant deux filtres colorés. L'analyse est donc effectuée par des spots bleu-verts et rouges en succession rapide; le standard d'analyse est de 600 lignes par image. Le faisceau lumineux de balayage est produit par un spot très brillant formé sur l'écran d'un tube de projection cathodique et la tension de fonctionnement est de l'ordre de 13 000 volts. Le mouvement de balayage du spot sur l'écran du tube cathodique est dirigé à l'aide de bobines de déviation magnétique; le disque à filtres à deux couleurs monté devant le tube est entraîné par un moteur. Un système de lentilles permet de concentrer sur le sujet le spot de balayage, après qu'il a traversé le filtre tournant. La lumière provenant des spots colorés est réfléchiée par l'objet à téléviser vers des cellules photoélectriques à sensibilité chromatique particulière, mais assez étendue; les courants recueillis sont amplifiés et transmis par des appareils de liaison avec ou sans fil. L'image est d'abord reçue sur l'écran du tube cathodique, et formée en blanc et noir; devant cet écran tourne un disque à filtres colorés, identique à celui de l'émetteur, et actionné en synchronisme. Les images en blanc et en noir élémentaires sont ainsi colorées en bleu-vert et en rouge, et projetées sur l'écran final par un dispositif optique. L'oscillographe cathodique est placé à la base de l'ébénisterie du récepteur; il projette les images sur un miroir, qui réfléchit à son tour les rayons lumineux sur un écran transparent.

cent quarante lignes. Chaque opération d'analyse élémentaire porte sur des lignes rouges et bleu-vert (bichromie) et le champ de balayage est déplacé latéralement à chaque opération pour obtenir l'entrelacement des lignes.

On voit sur la figure 6 le schéma de principe de la méthode.

Dans un dispositif encore plus récent, datant de 1939, le système d'émission a été modifié, en ayant recours à la méthode d'éclairage direct et non indirect (fig. 7).

A cette époque, l'image reconstituée comportait une image élémentaire de 102 lignes bleu-vert surimposées à une image élémentaire à 102 lignes rouges, soit au total une image en couleurs naturelles à 102 lignes. La cadence de transmission était de 16 1/3 images par seconde (33 images élémentaires), et la surface de l'image de 0,27 mètre carré.

Le procédé cathodique bichrome Baird

Sur ces principes initiaux, Baird a réalisé son dernier modèle d'appareil de télévision en couleurs, du type bichrome, dont les démonstrations ont eu lieu depuis le début de 1941.

L'inventeur utilise encore des filtres colorés à l'émission dans l'analyseur et à la réception dans l'intégrateur. Ces filtres sont seulement au nombre de deux, un rouge et un bleu-vert, combinaison qui permettrait, grâce au type de cellules photoélectriques employées, des résultats comparables à ceux obtenus avec trois filtres séparés plus complexes (fig. 8).

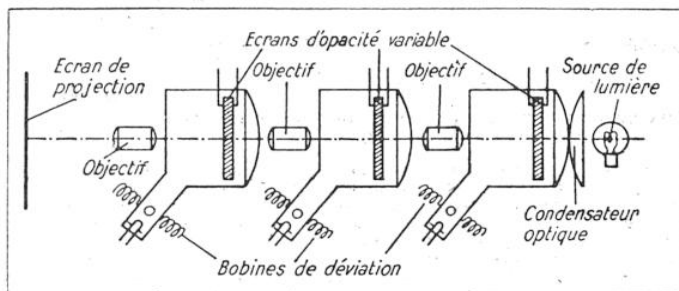
L'écran de réception est un des plus grands

employés par les usages d'amateur jusqu'à présent; l'image mesure 0,75 m sur 0,60 m.

Cet appareil permet de recevoir normalement les images en blanc et noir, sans rien modifier au récepteur; il suffit de supprimer les filtres colorés.

Le procédé Scophony

La Science et la Vie a décrit déjà le tube de réception cathodique à accumulation de lumière de la Société Scophony, comportant un écran, en quelque sorte *modulateur de lumière*, de transparence variable, suivant l'action produite



T W 16419

FIG. 9. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE L'APPAREIL DE RÉCEPTION TRICHROME SCOPHONY

Cet appareil est composé de trois tubes « Skiatron » destinés chacun à donner une image élémentaire monochrome. Ces tubes comportent des écrans à doubles parois transparentes renfermant des particules colorées en suspension déposées sur la paroi sous l'action du pinceau électronique de balayage. Les écrans sont ainsi colorés aux endroits et avec l'opacité convenables en couleurs élémentaires. Un ensemble optique de trois condensateurs, lentilles plan-convexes et objectifs, superpose finalement les trois images élémentaires sur l'écran de projection, grâce à l'éclairement produit par une source de lumière blanche.

en chaque point par un faisceau cathodique de balayage reconstituant l'image à transmettre de la manière habituelle.

Le dispositif peut être adapté à la télévision en couleurs et, plus spécialement, à la réception; au lieu d'un seul tube on en emploie deux ou trois distincts (bichromie ou trichromie).

Les trois tubes, par exemple, sont placés sur le passage d'un faisceau lumineux d'une source lumineuse auxiliaire, produisant le flux nécessaire à la projection sur un écran de l'image définitive en couleurs. Chaque tube comporte un écran transparent, placé dans un champ électrique produit par des plaques d'électrodes également transparentes, entre lesquelles on maintient une différence de potentiel au moyen d'une source de courant électrique continu. Ces écrans sont maintenus, en outre, à une température constante, au moyen d'un dispositif thermostatique à thermocouples (fig. 9).

Chaque écran doit reproduire une image élémentaire monochrome, en modulant le faisceau de lumière auxiliaire; il est donc balayé par un pinceau cathodique distinct, et le sens de la modulation appliqué est tel que la densité du dépôt produit par l'action du pinceau cathodique est inversement proportionnelle à l'intensité de la couleur primaire correspondante. Nous avons déjà signalé les caractéristiques de ces écrans à transparence variable sous une action électrique utilisés dans le tube *Skiatron*.

Les deux ou trois faisceaux explorateurs élémentaires agissent simultanément sur les écrans élémentaires sous l'action de bobines de déviation, de telle sorte que les différents éléments

colorés de l'image sont projetés en même temps sur l'écran et reconstituent l'image complète avec ses couleurs naturelles.

La matière et la température des écrans sont choisies de façon à produire des dépôts colorés des couleurs complémentaires désirées. Le faisceau de lumière blanche provenant de la source auxiliaire traverse successivement les écrans et assure la surimpression des images élémentaires sur l'écran de projection.

Le premier écran est illuminé complètement par un système de condensateur optique formant une première image, à l'aide d'un objectif placé entre les deux premiers tubes.

Cet objectif forme une image du premier écran sur le deuxième, avec concentration de la lumière par un condensateur optique; un deuxième objectif produit, de même, une image du second écran sur le troisième, et un condensateur associé avec un objectif final, forme une image du troisième écran sur l'écran de projection, en restituant les couleurs complexes normales.

Un dispositif mixte américain

Malgré l'emploi général des procédés purement cathodiques, à la réception comme à l'émission, les dispositifs mécaniques n'ont pas toujours été supprimés complètement, du moins pour produire le filtrage nécessaire à la sélection et à la reconstitution des couleurs. Ces dispositifs mécaniques ont seulement été simplifiés et réduits au minimum.

Dans un dispositif américain récent, le pinceau électronique d'un tube cathodique est utilisé uniquement pour le balayage des lignes horizontales; le déplacement vertical est produit par un système mécanique, formé d'un tambour à miroirs extérieur, suivant un procédé analogue à celui adopté, par exemple, dans le Télépanoscope déjà décrit dans *La Science et la Vie* (1). Mais le tube cathodique employé ici comporte, au lieu d'une seule bande de balayage, deux ou trois bandes élémentaires colorées, suivant qu'on veut utiliser la méthode bichrome ou trichrome. Un dispositif de déviation verticale électrostatique du tube cathodique permet de diriger le pinceau cathodique de balayage successivement sur ces deux ou trois bandes élémentaires (fig. 10).

Le pinceau électronique est ainsi appliqué par des tensions variables sur chacune des bandes, de telle sorte que chaque ligne de l'image est répétée deux ou trois fois, en traversant successivement les bandes complémentaires de l'écran fluorescent.

Les faisceaux lumineux ayant traversé ces trois bandes sont concentrés, par l'intermédiaire de lentilles cylindriques, sur le tambour rotatif à miroirs déterminant le mouvement vertical du spot coloré sur l'écran de projection final.

Les trois bandes fluorescentes de coloration élémentaire de l'écran peuvent être remplacées, d'ailleurs, par des filtres colorés, de couleurs correspondantes.

(1) Voir : « Où en est la télévision? », dans *La Science et la Vie*, no 258 (décembre 1938).

Un dispositif électro-optique

Parmi les systèmes proposés dans lesquels on n'emploie pas de dispositifs électromécaniques, un procédé étudié spécialement en Allemagne et en Hongrie et reposant sur les propriétés de la cellule de Kerr est particulièrement intéressant. Il consiste, en réalité, à employer des *filtres de couleurs électriques*.

L'effet de biréfringence de la cellule de Kerr (1) n'est pas le même pour toutes les couleurs, c'est-à-dire pour toutes les longueurs d'onde lumineuses. Il est plus grand dans la partie bleue du spectre (faibles longueurs d'onde) que dans la partie rouge (grandes longueurs d'onde). Lorsqu'on modifie les tensions appliquées sur la cellule, on agit sur la transmission des couleurs élémentaires, et on peut obtenir, en principe, à volonté, l'extinction des différentes couleurs du spectre.

En filtrant ainsi la lumière verte extraite de la lumière blanche, il ne reste plus que la lumière rouge complémentaire; en général, toute extinction d'une couleur du spectre fait apparaître la couleur complémentaire.

Dans les conditions classiques d'emploi de la cellule, et en utilisant les tensions normales relativement peu élevées, la différence de déviation des diverses radiations colorées est peu sensible. Mais en appliquant des tensions de plus en plus élevées, cette différence devient perceptible; les couleurs sont éteintes les unes après les autres. Les couleurs complémentaires correspondantes sont visibles, et on peut obtenir toutes les couleurs désirées, en modifiant simplement la tension appliquée.

En principe, la méthode est donc très intéressante; la difficulté réside dans l'emploi de tensions très élevées. Cet inconvénient peut être atténué en produisant une partie de la différence de déviation au moyen d'une plaque de cristal intercalée sur le trajet des rayons.

Chaque couleur produit à travers le cristal deux rayons suivant la théorie de la polarisation de la lumière, le « rayon ordinaire » et le « rayon extraordinaire » qui sont animés de vitesses différentes. Si les deux rayons sont en phases opposées, ils s'annulent l'un l'autre, et la couleur est éteinte. Un cristal très fin permet d'éteindre une seule couleur, et la couleur complémentaire devient visible; avec une lame plus épaisse, on éteint deux ou plusieurs couleurs.

Le dispositif employé consiste, ainsi, à placer entre les deux prismes de polarisation et d'analyse permettant l'extinction de la lumière une plaque de mica très fine qui permettra, par exemple, la production d'un rayon rouge; si l'on applique une tension convenable sur la cellule, on détermine un changement de coloration. Cette modification est instantanée, de telle sorte qu'il est possible de produire toutes les couleurs et, en pratique, deux ou trois (bichro-

mie ou trichromie), en appliquant deux ou trois tensions différentes successivement, sans utiliser aucun procédé mécanique.

Le système transmetteur comporte une cellule de Kerr à plusieurs électrodes placée sur le trajet des rayons venant de l'objectif, et même au milieu de cet objectif. L'image de l'objet à téléviser est projetée par des lentilles sur la plaque du tube cathodique habituel genre Icoscope (fig. 11).

Un dispositif correspondant est employé dans le récepteur. Un filtre à lentilles est disposé devant le tube cathodique de réception, comportant un écran blanc. Dans la méthode trichrome,

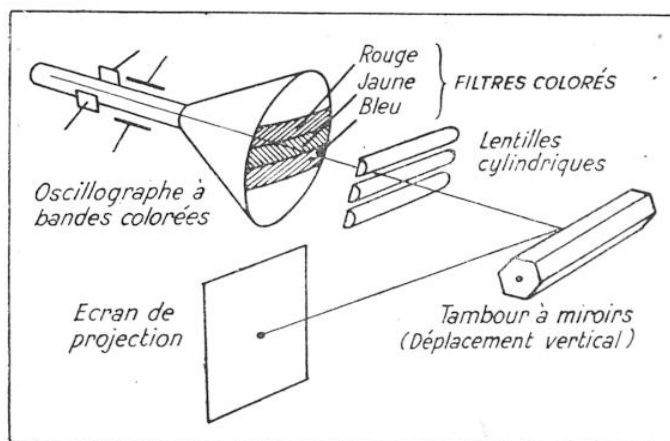


FIG. 10. — DISPOSITIF MIXTE DE RÉCEPTION DE TÉLÉVISION EN COULEURS

Le récepteur comporte un oscillographe cathodique combiné avec un tambour à miroirs. La reconstitution des lignes est obtenue par le tube cathodique et le déplacement vertical du pinceau de lumière par le tambour à miroirs. Le tube cathodique porte trois bandes colorées horizontales permettant la reconstitution des lignes d'image en couleurs naturelles à l'aide de trois lignes distinctes en couleurs élémentaires.

on applique successivement trois tensions différentes sur la cellule; une source séparée est utilisée pour fournir la tension nécessaire à ce dispositif de filtrage électrique. Ce procédé curieux offre même l'avantage de pouvoir utiliser, en principe, un nombre de couleurs complémentaires quelconque et le changement de couleur est possible, non seulement par image, mais pour toutes les parties de l'image désirée, par lignes ou par points.

Les récents essais américains

Les recherches entreprises aux Etats-Unis par la « General Electric », et les laboratoires Bell, en particulier, sont également anciennes et remontent au moins à 1928. Parmi les plus récentes, il faut citer le procédé Columbia dû aux recherches du docteur Peter C. Kolmark et présenté depuis la fin de 1940.

Pour la transmission, on utilise un film en couleurs avec une cadence de vingt images par seconde; la décomposition des couleurs se fait suivant le principe trichrome, avec un disque à trois filtres colorés, dans l'ordre rouge-vert-bleu, placé devant le tube à rayons cathodiques. La trame d'analyse est de 343 lignes entrelacées, ce qui détermine une bande de fréquence de 4,25 mégacycles-seconde. La transmission com-

(1) Voir : « Pourquoi la télévision n'est-elle pas encore réalisée? » dans *La Science et la Vie*, n° 203, mai 1934.

plète des trois images élémentaires est obtenue en 1/120 de seconde.

La première image élémentaire en rouge est analysée par lignes impaires en 1/120 de seconde; les lignes paires constituent l'image verte, transmise pendant le même temps. Les autres images sont obtenues de la même façon par permutation circulaire des couleurs. La trame d'analyse correspond à une finesse de 243 lignes et à une cadence de trente images complètes par seconde. La définition doit être portée entre 400 et 500 lignes, sans pour cela dépasser la bande standard de 6 mégacycles-seconde. L'exploitation était déjà envisagée à la fin de 1941.

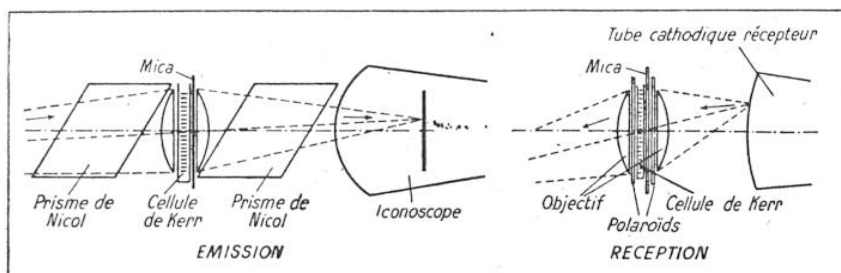


FIG. 11. — PROCÉDÉ DE TÉLÉVISION EN COULEURS A FILTRAGE ÉLECTRIQUE

Le filtrage des couleurs est réalisé par un procédé purement électrique grâce à la propriété de la cellule de Kerr de dévier d'une façon différente les rayons lumineux de différentes couleurs. Suivant les tensions appliquées, on peut ainsi éteindre à volonté les couleurs, de façon à obtenir les images élémentaires successives.

Depuis fin 1940, la « General Electric » a également mis au point, à Schenectady, un dispositif bichrome dû au docteur Ew. Alexander et comparable à celui de Baird, avec deux filtres colorés.

Tous ces procédés en couleurs ont suscité en Amérique le plus grand intérêt. Les résultats expérimentaux semblent montrer, en effet, malgré les apparences, la possibilité d'établir, dans un avenir prochain, des réseaux de transmission assurant déjà des résultats très agréables.

Les salles de télévision

Les progrès des dispositifs de réception d'images, en général, et des procédés de télévision en couleurs, en particulier, permettent d'envisager, dès à présent, l'établissement de véritables salles de télévision ou de télécinéma, analogues aux salles de projections cinématographiques. De telles salles ont déjà été, paraît-il, réalisées à Berlin et réservées, d'ailleurs, aux soldats permissionnaires; de même le New Yorker Théâtre a été équipé d'une installation permettant la projection d'une image de 4,50 m sur 6 m.

La projection est accompagnée par des sons musicaux ou des paroles correspondantes obtenus par le procédé « Multisonic » des Laboratoires de la Radio Corporation of America (R.C.A.) et connu sous le nom de « Fantasmound » (1).

(1) Voir *La Science et la Vie*, no 282, page 123.

Rappelons que ce dispositif à pistes sonores multiples permet d'augmenter les effets de perspective sonore, et de rendre d'une façon parfaite toutes les finesses d'un orchestre symphonique, grâce à des haut-parleurs multiples placés en différents endroits de la salle et reliés à des appareils de reproduction utilisant les différentes pistes sonores du film enregistrées suivant le procédé photographique.

Le projecteur de télévision est placé à une distance de 18 m de la scène au-dessus du balcon; il comporte un pupitre de contrôle pour les images et le son. Les transmissions sont envoyées par radiodiffusion jusqu'à une station centrale du building de la Radio Corporation, puis transmises au théâtre par câbles à haute fréquence concentriques.

Un contrôle manuel permet d'actionner à volonté les différents haut-parleurs de la salle, de manière à déterminer les effets directionnels utiles, en rapport avec les scènes projetées. Le pupitre de contrôle optique permet de régler la finesse, le contraste et la luminosité de l'image et la manœuvre des organes de réglage est très simple. Les haut-parleurs pour sons graves et aigus sont au nombre de 18; ils sont reliés par fils au studio de la National Broadcasting Corporation. D'autres haut-parleurs du type classique sont disposés sur la scène près de l'écran; les haut-parleurs spéciaux sont disposés le long des murs, au fond de la salle et au plafond.

L'équipement optique est particulièrement intéressant. Le tube de projection fonctionne sous une tension de 70 000 volts. Le diamètre de son écran est de 17 cm et sa longueur de 35 cm. Il est monté dans un cylindre creux en acier de 86 cm de diamètre et de 86 cm de long.

Un miroir concave de 76 cm de diamètre est disposé à peu de distance en avant du tube. L'image est réfléchiée par la surface concave du miroir à travers une lentille correctrice, sur un écran, avec un agrandissement linéaire de 45 fois.

L'objectif de projection utilisé a une ouverture de $f : 0,7$ seulement, c'est-à-dire qu'il a une luminosité supérieure à celle des meilleurs objectifs de projection.

Cette installation, qui est encore du type expérimental, permet déjà de se rendre compte des résultats industriels et commerciaux qui pourront être obtenus dans un avenir prochain avec les appareils de télévision sur grand écran, aussi bien en projection en noir et blanc qu'en projection en couleurs.

P. HÉMARDINQUER.

MAITRISE DE LA MER ET MAITRISE DE L'AIR

PRIMAUTÉ DE LA CHASSE

par Camille ROUGERON

Le franchissement du Pas de Calais par le Scharnhorst, le Gneisenau et le Prinz-Eugen a soulevé une émotion considérable en Grande-Bretagne. Après l'affaire de Crète et la perte des navires de ligne anglo-saxons à Pearl-Harbour et au large de la presqu'île de Malacca, cet événement confirme que la maîtrise de la mer est de plus en plus une question de maîtrise de l'air, donc d'aviation de chasse, et que le résultat est assez indépendant de la nature des navires que cette chasse escorte.

Le franchissement du Pas de Calais par l'escadre allemande de Brest

DANS la nuit du 11 au 12 février, l'escadre allemande, composée des croiseurs de bataille *Scharnhorst* et *Gneisenau* et du croiseur lourd *Prinz-Eugen*, que l'aviation britannique bombardait sans répit depuis une dizaine de mois, quittait sa base de Brest pour rejoindre, à travers le Pas de Calais, les ports allemands. Elle était précédée et escortée d'un nombre imposant de dragueurs, de torpilleurs et de vedettes, et survolée par de nombreuses formations de chasse.

Signalée à son approche du Pas de Calais le 12, vers 11 heures, elle fut aussitôt prise à partie par de puissantes formations de la R.A.F., du « Coastal Command » et de la « Fleet Air Arm ». Elle fut défendue par l'escorte de chasse allemande. Il semble que près de 1 200 avions aient pris part à l'engagement, dont moitié de chaque côté. La participation allemande comprenait surtout de la chasse terrestre, à faible rayon d'action, puisque l'escadre suivait les côtes des pays occupés. La participation britannique était nécessairement plus variée. Les bombardiers étaient, semble-t-il, des Bristol « Beaufort » de la R.A.F. et du « Coastal Command » ; les torpilleurs, les mêmes « Beaufort » et des « Swordfish » de la « Fleet Air Arm » ; la chasse à court rayon d'action, utilisable dans toute la zone voisine du Pas de Calais, comprenait évidemment les derniers types britanniques, « Spitfire » et « Hurricane », avec leur armement le plus récent ; la chasse à grand rayon d'action qui s'imposait en fin d'un engagement qui ne se termina qu'au voisinage de la baie allemande, utilisait les Bristol « Beaufighter » et probablement quelques Hawker « Tornado ».

Du côté naval, les destroyers du service côtier furent lancés à l'attaque à la torpille.

Enfin, il faut signaler, dans la traversée du Pas de Calais, l'entrée en action de la grosse artillerie de côte britannique, contrebattue aussitôt par l'artillerie de côte allemande.

Les résultats de la tentative d'interception furent des plus maigres, de l'aveu même du communiqué britannique ; l'attaque des destroyers serait parvenue à placer une torpille au but ; les « Swordfish » de la Fleet Air Arm auraient

atteint, de leur côté, un des grands bâtiments et une vedette à moteur, chacun avec une torpille. La R.A.F. et le Coastal Command furent un peu plus heureux ; les avions « Beaufort » auraient enregistré trois coups au but avec torpilles, et touché par des bombes chacune des principales unités ennemies. Aucun résultat n'est revendiqué à l'actif de l'artillerie de côte qui a prêté son concours « dans la limite de sa portée », dit le communiqué ; le Pas de Calais n'est cependant pas très large. Le communiqué allemand ne reconnaît qu'une vedette à moteur endommagée et un garde-côtes coulé. Du côté britannique, les pertes auraient été d'un destroyer coulé et d'un autre incendié, d'après le communiqué allemand ; le communiqué britannique se borne à affirmer que les pertes « n'ont pas été lourdes ».

Par contre, les pertes de l'aviation britannique furent sévères : 42 avions, dont 20 bombardiers, 6 torpilleurs et 16 chasseurs, chiffre suffisamment d'accord avec les 43 revendiqués par le communiqué allemand. La discordance est plus marquée pour les pertes de la « Luftwaffe » : 15 chasseurs et 3 bombardiers détruits, affirme le communiqué britannique ; 7 seulement au total, affirme le communiqué allemand.

Quel que soit l'intérêt militaire réel de ce mouvement de l'escadre allemande, l'engagement se solde par un gros échec du prestige britannique. Que deux mois après la perte de deux navires de ligne au large de la presqu'île de Malacca, sous les coups des avions torpilleurs japonais, une escadre allemande ait pu exécuter un parcours de 800 milles, pendant vingt-neuf heures, dont une douzaine de jour, à quelques centaines de kilomètres seulement des côtes britanniques, il y a là de quoi justifier ce que le D.N.B. qualifiait, au lendemain de l'engagement, « d'écrasante supériorité de l'aviation et de la marine de guerre allemandes ». L'opinion britannique a été unanime pour accuser largement le coup. Les quelques excuses de la propagande officielle n'ont pas eu plus de succès qu'elles en méritaient. La visibilité était, paraît-il, mauvaise, et les nuages bas ; on ne voit pas que ces circonstances soient beaucoup plus défavorables à une attaque à la torpille et à la bombe qu'un temps clair ; lorsqu'on ne dispose pas de la maîtrise de l'air,

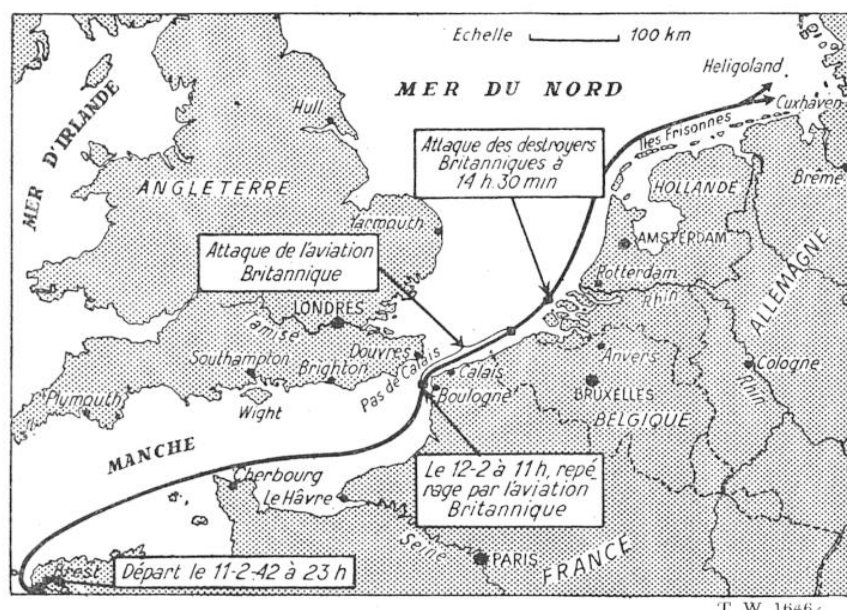


FIG. 1. — LE RETOUR DU « SCHARNHORST », DU « GNEISENAU » ET DU « PRINZ-EUGEN » EN BAIE ALLEMANDE

L'escadre allemande quitta Brest le 11 février, vers 23 h, traversa la Manche à 25 nœuds, et fut aperçue pour la première fois par l'aviation britannique aux approches du cap Gris-Nez, le 12, vers 11 h. Elle fut soumise presque aussitôt, pendant près de trois heures, aux attaques de l'aviation britannique, puis à l'attaque des destroyers; il est à supposer que la vitesse fut portée alors à plus de 30 nœuds. A la nuit, l'escadre se disloquait en direction des différents ports de la baie allemande.

le nuage bas est un refuge. L'escadre allemande aurait rasé la côte française du Pas de Calais, échappant ainsi au feu des batteries côtières britanniques, gênées à la fois par la visibilité et la portée. Mais l'avion de réglage du tir est précisément fait pour les jours à faible visibilité; quant à la portée, il est au moins curieux qu'après vingt mois d'occupation par l'Allemagne de Calais et Boulogne, on en soit encore à chercher les moyens d'exécuter de la côte anglaise un tir efficace sur les bâtiments rasant la côte d'en face. Fin 1941, faisant état des pertes de la « Luftwaffe » sur le front Est, M. Churchill croyait pouvoir déclarer que l'aviation britannique venait d'atteindre la parité avec l'aviation allemande. Les résultats obtenus en Extrême-Orient et même en Afrique ne permettent point de supposer que la majeure partie de l'armée, de la marine et de l'aviation britanniques ait quitté les Iles Britanniques ou leur voisinage; n'est-ce pas la raison donnée pour expliquer que le *Prince of Wales* et le *Repulse* devaient se passer de la double escorte de vedettes et de chasseurs dont l'escadre allemande était abondamment pourvue? On conçoit que la presse londonienne ait pu poser, au lendemain de l'engagement, avec un peu d'impatience, la triple question : « Quand aurons-nous l'arme qu'il faut? A l'endroit qu'il faut? Au moment qu'il faut? »

Les enseignements de l'engagement

Les rencontres où les navires résistent sont tout aussi riches en enseignements que celles où quelques-uns d'entre eux sont coulés. Il n'en est pas, croyons-nous, qui fixe mieux sur les

rôles respectifs du navire et de l'avion que cette affaire du 12 février. Les échecs sensationnels des marines anglo-saxonnes dans le Pacifique, en décembre 1941, avaient surtout prouvé les défaillances du haut commandement et de la conduite générale des opérations. La surprise de Pearl-Harbour, l'absence d'aviation d'escorte en Malaisie n'étaient pas de ces contingences dont il fût permis de faire abstraction pour prononcer des jugements définitifs sur l'avenir des marines et des aviations.

Le 12 février, aucune surprise ne peut être invoquée; pas davantage aucune des exigences justifiant la dispersion d'une aviation sur toute l'étendue du globe. On voit vraiment ce dont les marines et les aviations aux prises sont capables, avec leurs matériels les plus modernes.

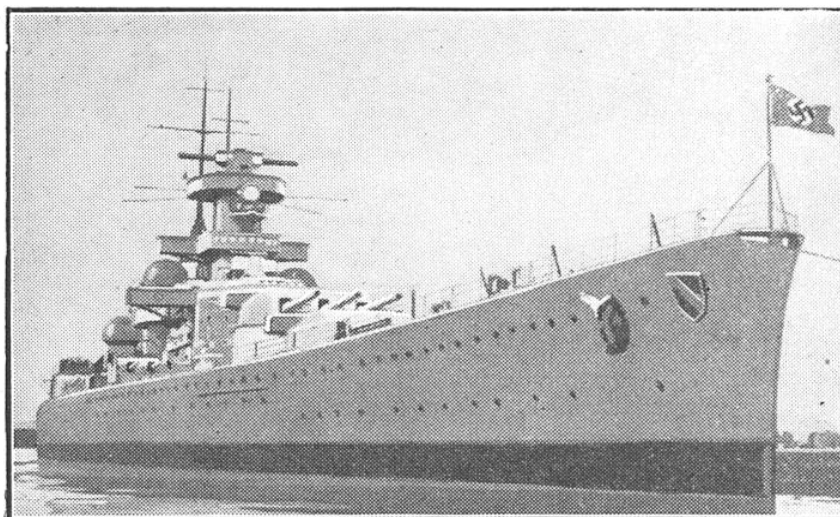
Les enseignements à en tirer sont extrêmement nombreux. L'un des plus importants ne serait-il pas d'abord la réponse à la « question préalable » : comment une escadre bombardée pendant dix mois dans le port de Brest peut-elle se retrouver en excellent état dans le Pas de Calais? Les enseignements purement navals, sous la forme de la démonstration renouvelée de l'impuissance du torpilleur de 1 500 tonnes à torpiller quoi que ce soit, ne sont pas non plus sans intérêt. Les enseignements aéronavals, quant aux limites exactes de l'efficacité des avions bombardiers et des avions torpilleurs aux prises avec une défense par les navires qu'on attaque et par leur escorte, méritent au moins autant d'être étudiés. Mais le rôle prépondérant de l'aviation de chasse dans la maîtrise de la mer est certainement l'enseignement qu'on doit en retenir d'abord. La rencontre du 12 février n'en est qu'un exemple de plus, succédant à de nombreux autres; mais la clarté de celui-ci est éblouissante.

La maîtrise de la mer par l'aviation de chasse

On accorde volontiers, au cours d'opérations purement aériennes, que la maîtrise de l'air est une question d'aviation de chasse. Le succès ou l'échec d'une opération de jour dépendent du résultat d'un combat entre la chasse de défense et la chasse d'escorte. On a pu croire, jusqu'au printemps 1941, que les expéditions de nuit échappaient à la nécessité de mettre hors de cause la chasse de la défense; les progrès de la détection électromagnétique tendent à les faire rentrer depuis dans la règle commune.

Dans les opérations en liaison avec les forces terrestres, la maîtrise de l'air ne joue pas ce rôle de premier plan. En guerre de mouvement comme en guerre de position, elle est certainement un facteur important, mais le fortin bétonné, le mitrailleur camouflé dans une haie, les partisans menant la guérilla dans les régions d'accès difficile échappent souvent à l'action directe de l'aviation de chasse, comme à l'action indirecte des escadres de bombardement ou d'assaut dont elle protège les missions.

Dans le domaine aéronaval, au contraire, la maîtrise de l'air, donc l'importance de l'aviation de chasse, reprend toute sa valeur. Partout où l'un des adversaires peut s'assurer cette maîtrise, il met ses forces navales à l'abri de l'intervention massive des avions bombardiers et torpilleurs ennemis, auxquels elles ne résisteraient pas; il élimine de leur voisinage la menace des forces navales adverses, expulsées par les avions bombardiers et torpilleurs amis dont l'engagement devient possible. L'extrême faiblesse de la protection par cuirasse des navires les plus puissants, si on la compare à la couche de béton d'un fortin, le rôle insignifiant du camouflage et de la dispersion à la mer, donnent à l'aviation de combat et, par là même, à l'aviation de chasse le premier rôle qui lui est refusé à terre. L'emploi des forces sous-marines, qui ont le bénéfice de la meilleure des protections et du meilleur des camouflages, n'échappe même pas à la règle. En interdisant l'accès de la zone d'opérations



T W 16465

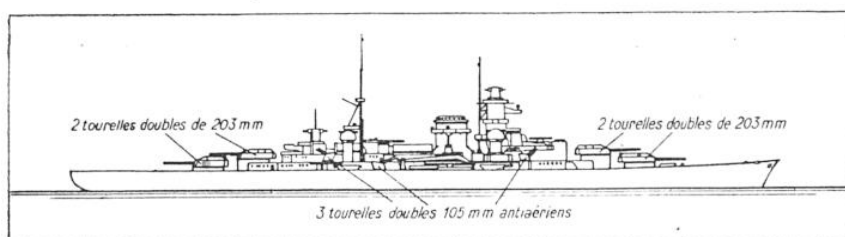
FIG. 3. — LE « SCHARNHORST », NAVIRE DE LIGNE DE 26 000 TW

Le Scharnhorst, mis sur cale en 1934, lancé en 1936, est, avec le Gneisenau, un type de bâtiment de ligne unique dans les annales maritimes : on a sacrifié son armement principal, trois tourelles triples de 280 mm seulement pour 26 000 tW (alors que les cuirassés de poche de 10 000 tW portent deux tourelles triples de même calibre) au bénéfice de sa vitesse et de sa protection. Le Scharnhorst et le Gneisenau sont probablement les plus rapides des navires de ligne à flot, ce qui leur a certainement servi au cours de leur croisière de mars 1941 dans l'Atlantique, et comptent parmi les mieux protégés, ce qui leur aura été non moins utile pour résister sans avaries majeures aux bombardements répétés de la R.A.F., du 30 mars 1941 au 9 février 1942.

aux navires légers de surface ennemis, la maîtrise de l'air les empêche d'en chasser les sous-marins amis; en y protégeant la navigation des bâtiments légers de surface amis, elle gêne puissamment celle des sous-marins ennemis qu'ils poursuivent.

Vus sous cet angle, les événements aéronavals de ces dernières années acquièrent une unité remarquable, et apparaissent à peu près indépendants du type de navire qui y participe.

Le franchissement du Pas de Calais par une force navale sous la protection de l'aviation soulève une émotion considérable lorsqu'il s'agit du Scharnhorst, du Gneisenau et du Prinz-Eugen. Mais on ne lui prête aucune attention lorsqu'il s'agit de ce type de navire infiniment moins bien défendu contre les attaques par les armes terrestres, navales et aériennes qu'est le cargo en convoi. Or, depuis près de deux ans, les convois marchands de la Manche parviennent assez régulièrement à Londres, en suivant les côtes sud d'Angleterre, sans recevoir en moyenne beaucoup plus de torpilles et de bombes que l'escadre allemande qui força le passage le 12 février. On pense bien que les batteries côtières, la



T W 16461

FIG. 2. — LE CROISEUR LOURD « PRINZ-EUGEN »

Le Prinz-Eugen est un bâtiment de 10 000 tW, armé de VIII 203 mm, fort bien protégé et faisant au moins 34 nœuds, qui représente un type certainement très réussi de la conciliation entre l'armement, la protection et la vitesse, dans les limites fixées par l'accord de Washington et étendues à l'Allemagne par l'accord germano-britannique du 18 juin 1935. Sa vitesse lui aura servi à échapper au sort du Bismarck qu'il accompagnait lors de la croisière de ce bâtiment dans l'Atlantique et à rejoindre Brest; sa protection lui aura permis de résister sans avaries majeures aux bombardements de la R.A.F.

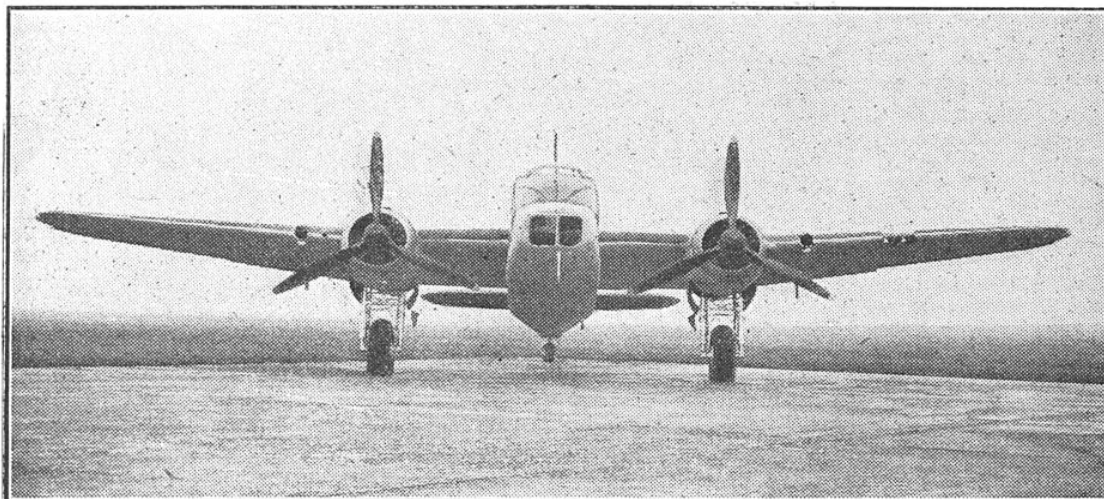


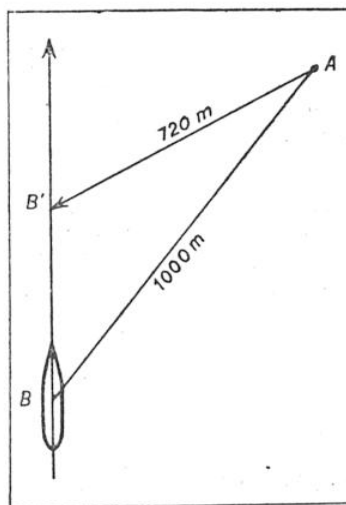
FIG. 4. — L'AVION TORPILLEUR BRITANNIQUE BRISTOL « BEAUFORT »

T W 16466

Le Bristol « Beaufort », dont un grand nombre a été engagé dans le combat du 12 février, est un dérivé du Bristol « Blenheim », dont le prototype remonte à 1934-1935 et servit de modèle à tous les programmes de bombardiers bimoteurs des aviations aujourd'hui en guerre. Les moteurs « Mercury » de 840 ch du « Blenheim » ont été remplacés par des « Taurus » de 1 065 ch sur le « Beaufort ». Cet appareil à missions multiples de la R.A.F. était primitivement destiné aux reconnaissances offensives du « Coastal Command », y compris le lancement de torpilles et le bombardement en piqué; il a été employé avec succès à la chasse de nuit au cours de l'hiver 1940-1941. Sa vitesse dépasse 500 km/h. Ce n'est pas néanmoins une formule moderne d'avion torpilleur; on peut lui reprocher la puissance insuffisante de ses moteurs et le principe même du moteur en étoile plus résistant que les DB 601 à 12 cylindres en V des Heinkel He 111. Il est évidemment très supérieur au « Swordfish »; la R.A.F. a perfectionné une formule de 1934, tandis que la « Fleet Air Arm » s'attachait à l'amélioration d'une formule de 1914.

marine et l'aviation allemandes n'ont pas mettant en ligne 400 avions allemands. Les accepté cette situation, à ses débuts au moins, sans de violentes réactions dont l'étude permet de fixer la forme et les limites exactes de la « maîtrise de la mer » à l'époque de l'avion.

L'événement décisif à cet égard se produisit, les 7 et 8 août 1940, en pleine « bataille d'Angleterre »; on ne lui prêta pas, à l'époque, l'attention qu'il méritait, bien à tort, car il explique tous les autres. Un convoi britannique fut attaqué dans la nuit du 7 au 8 août avec un certain succès par des vedettes allemandes entre l'île de Wight et Dungeness; il n'en persista pas moins à franchir le Pas de Calais. Des vagues de « Stukas » escortés par des Messerschmitt, continuèrent l'attaque sans arrêt depuis l'aube jusqu'à 14 heures,



T W 16464

FIG. 5. — PROTECTION CONTRE LA TORPILLE D'AVION PAR DES ESCORTEURS DE SURFACE

En dehors de l'aviation de chasse, dont le rôle a été essentiel, la nombreuse escorte de bâtiments légers, orpilleurs et vedettes à moteurs, a certainement gêné beaucoup les attaques d'avions torpilleurs britanniques. Ces escorteurs sont répartis sur l'avant de part et d'autre de la route suivie par l'escorté, au voisinage de la position probable de lancement. Dans l'exemple de la figure, qui se rapporte à un lancement à 1 000 m de distance d'une torpille à 50 nœuds sur un bâtiment à 30 nœuds, on voit que le lancement en A réduit le parcours de la torpille à 720 m; dans le lancement par le travers, à même distance, le parcours de la torpille passe à 1 250 m; dans le lancement à 45° sur l'arrière du travers, toujours à 1 000 m de distance, le parcours de la torpille passerait à 2 100 m. On voit l'intérêt du lancement dans des positions voisines de A. La concentration de l'escorte dans cette zone oblige les avions torpilleurs à s'y présenter en position dangereuse; elle permet au bâtiment visé de se dérober aisément aux lancements faits par le travers ou l'arrière du travers.

reconnaître que les convois persistaient à passer, malgré le tir des gros canons et les attaques des vedettes et des Stukas.

L'élément naval du débarquement allemand en Crète, où la chasse de la « Luftwaffe » élimina successivement, par l'intermédiaire des bombardiers et des « Stukas », la chasse et l'escadre britanniques qu'elle obligea à se réfugier en Egypte, n'est qu'un autre aspect du même fait essentiel. Sous la protection de la chasse allemande, les bateaux de pêche, les chalands, les goélettes affluaient des îles grec-

Chaque fois qu'une aviation de chasse pourra assurer aux avions bombardiers et torpilleurs qu'elle escorte la liberté de leurs mouvements, la maîtrise de l'air se transformera, au-dessous, en maîtrise de la mer. Peu importe que le navire qui en bénéficie porte des canons de 406 mm ou une mitrailleuse, soit recouvert de ponts blindés de 250 mm ou d'une tôle de duralumin, file 40 nœuds ou 4 nœuds; le résultat reste le même. On aura vu, sous cette protection, le *Scharnhorst* et le *Gneisenau* repousser dans le Pas de Calais les assauts des destroyers britan-

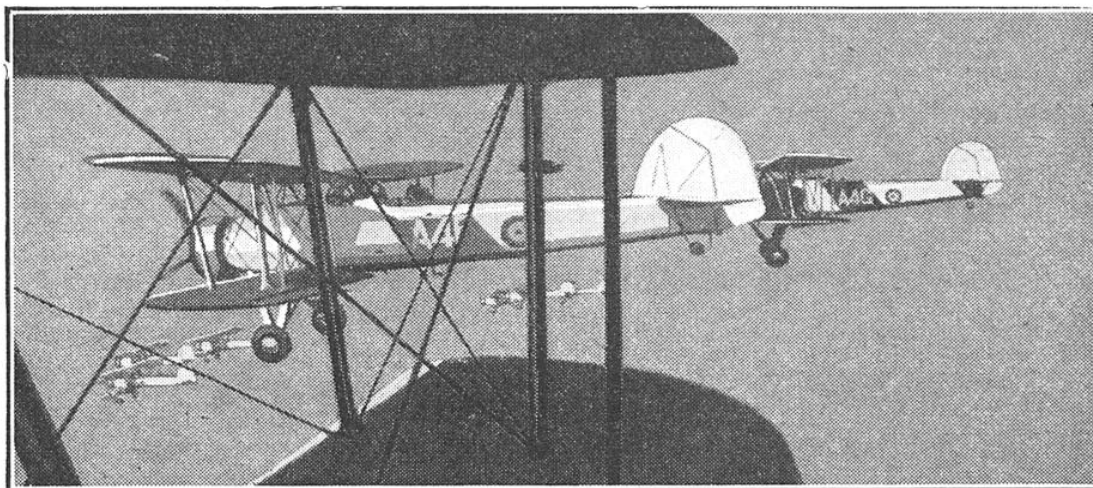


FIG. 6. — LE « SWORDFISH », AVION TORPILLEUR DE LA FLEET AIR ARM

T W 16468

Le Fairey « Swordfish », en service comme avion torpilleur de la Fleet Air Arm depuis plusieurs années, avait connu, avant son échec du Pas de Calais, de nombreux succès dont le plus retentissant a été celui des cuirassés italiens coulés à Tarente. C'est un biplan, biplace ou triplace, à train d'atterrissage fixe non caréné, à moteur Bristol « Pegasus » de 750 ch lui donnant une vitesse maximum de 250 km/h. Il bat sans aucun doute plusieurs records : celui de la plus faible vitesse pour avion de combat de 1942; celui de la puissance minimum pour le transport d'une torpille; celui du minimum de puissance par membre de l'équipage...

ques et du Dodécanèse, beaucoup plus en sécurité que s'ils eussent porté des tourelles de grosse artillerie.

Les pertes de navires de ligne dans le Pacifique, à Pearl-Harbour comme au large de la presqu'île de Malacca, traduisent l'aspect négatif de cette même question, c'est-à-dire l'impuissance du navire de ligne livré à ses seules ressources, ou même appuyé par d'autres navires et des batteries côtières, mais privé, accidentellement ou volontairement, de l'appui de l'aviation de chasse. Ni à Pearl-Harbour, ni à Malacca, on ne peut parler d'une maîtrise de l'air par l'aviation de chasse japonaise; ce fut simplement une carence absolue des aviations anglo-saxonnes qui laissa toute liberté aux avions japonais, bombardiers et torpilleurs. Elle fut accidentelle à Pearl-Harbour, où la destruction de la chasse américaine sur ses terrains priva la flotte de sa seule véritable défense. Elle fut volontaire à Malacca, où le commandement britannique crut pouvoir lancer, par le large, deux navires de ligne pour prendre à revers des chaloupes débarquant sur la côte, au lieu de leur faire suivre les eaux territoriales sous la protection de deux escadrilles de « Hurricane » ou de « Spitfire ».

niques. Mais n'était-il pas plus significatif encore d'avoir vu, sous la même protection, les restes de la flotte de pêche et du matériel de port de la Grèce chasser des eaux de la Crète la puissante escadre britannique de la Méditerranée orientale?

Le symbole de la maîtrise de la mer, c'est, depuis quelques années déjà, un chaland qu'on remorque, sous l'aile d'un avion de chasse.

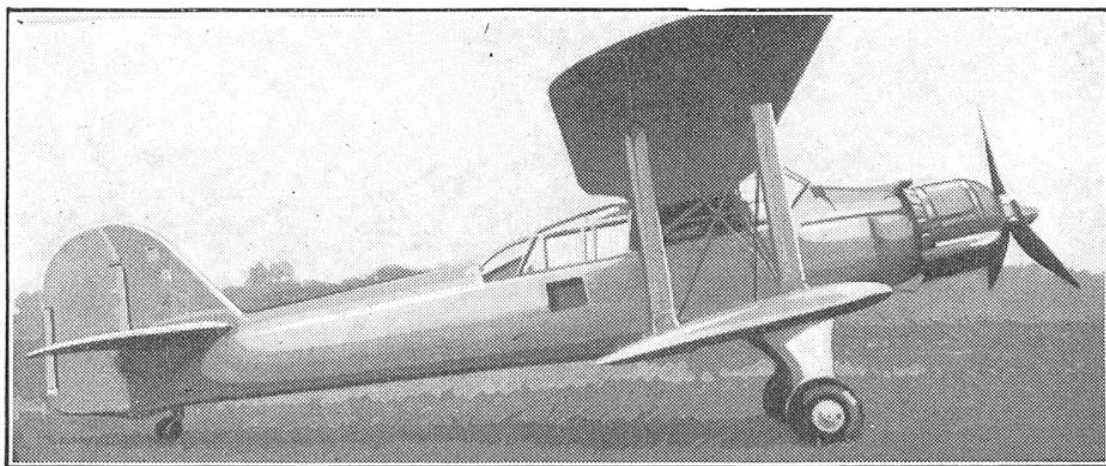
Le franchissement du Pas de Calais ne signifie d'ailleurs pas que la chasse allemande ait acquis une maîtrise définitive sur la chasse britannique, mais simplement qu'il y a un avantage considérable pour la chasse de combattre au-dessus de son territoire ou au voisinage immédiat d'une côte amie. On s'explique ainsi les résultats aussi différents des combats aériens suivant qu'ils ont lieu d'un côté ou de l'autre du Pas de Calais. Il en est de même de part et d'autre d'un front terrestre. Trois jours après l'aveu de son échec, la R.A.F. n'affirmait-elle pas, dans un communiqué démenti d'ailleurs du côté allemand, qu'une formation de 20 chasseurs attaquant les troupes britanniques en Libye avait été interceptée et détruite en totalité sans aucune perte de son côté?

La chasse d'escorte et les avions escortés

Quand on regarde ces avions bombardiers et torpilleurs de la « Fleet Air Arm », ces « Swordfish », ces « Albacore »..., pour ne pas parler des appareils plus anciens encore de la marine britannique en 1939, on se sent plein d'admiration pour le personnel qui les sert. Il faut vraiment que l'aviation soit une belle chose pour qu'on ait pu couler des navires de guerre avec des engins pareils.

Si l'on pose le problème de l'attaque en pi-

vent jugé convenable de sérier les problèmes aériens, de construire d'une part des avions d'observation, de réglage de tir, de torpillage..., uniquement adaptés à la mission spéciale qu'ils avaient à remplir, et de confier, d'autre part, à des avions de chasse spécialement établis pour le combat la tâche de les protéger. Cette conception des opérations aériennes est un peu simpliste; la protection d'un avion à 350 km/h de vitesse maximum par des chasseurs à 640 km/h demande beaucoup d'esprit de sacrifice, sans donner le plus souvent de brillants résultats.



T W 16169

FIG. 7. — L' « ALBACORE », AVION TORPILLEUR DE LA FLEET AIR ARM

L' « Albacore » est le dernier type d'avion torpilleur de la marine britannique; il diffère du « Swordfish » par quelques progrès, remplacement du Bristol « Pegasus » par un Bristol « Taurus » de 1 065 ch, train d'atterrissage caréné... Il est le résultat de cette formule qui séduit certains, et qui consiste à améliorer longuement un type d'avion qui donne satisfaction au lieu d'entreprendre de temps à autre l'étude d'un type entièrement nouveau, dont la mise au point risquerait d'être longue, ou même impossible. De ce point de vue, l' « Albacore » bat un autre record, puisque le biplan terrestre porteur d'une torpille de 450 mm donne satisfaction à la marine britannique depuis 1913. Les améliorations successives ne s'apportent d'ailleurs pas aussi rapidement qu'on pourrait le croire; la marine britannique n'a pas encore pu doter la « Fleet Air Arm » au complet d' « Albacore », ce qui l'oblige à employer encore des « Swordfish » dont le train non caréné fait assez démodé. Mais peut-être veut-on consommer un stock ancien et important d'appareils... et d'équipages.

qué du navire avec comme seule condition de descendre le plus près possible sous grand angle et de faire ensuite une ressource sous court rayon, n'importe quel appareil fait l'affaire. Tout vieux biplan convient de même pour porter sur l'avant d'un navire de ligne une torpille à laquelle on ne demande guère que d'être lancée à 180 km/h au plus pour qu'elle ne se casse pas en rencontrant l'eau. Dès que l'on fait intervenir le tir de défense du navire attaqué, la question change d'aspect; elle se transforme du tout au tout lorsque entre en scène la chasse adverse.

S'il faut accorder notre admiration aux équipages qui servent les biplans que la « Fleet Air Arm » envoie dans ces conditions à l'attaque des escadres, on doit en réserver une part pour les chasseurs de la R.A.F. qui les accompagnent. La division du travail est un principe excellent dans l'industrie. Son application n'est pas toujours aussi heureuse dans l'art militaire. Nous ne croyons pas que la combinaison d'un aveugle, serait-il champion de course, et d'un paralytique dont l'acuité visuelle serait très au-dessus de la moyenne, parvienne à donner l'équivalent de deux bons soldats. On a sou-

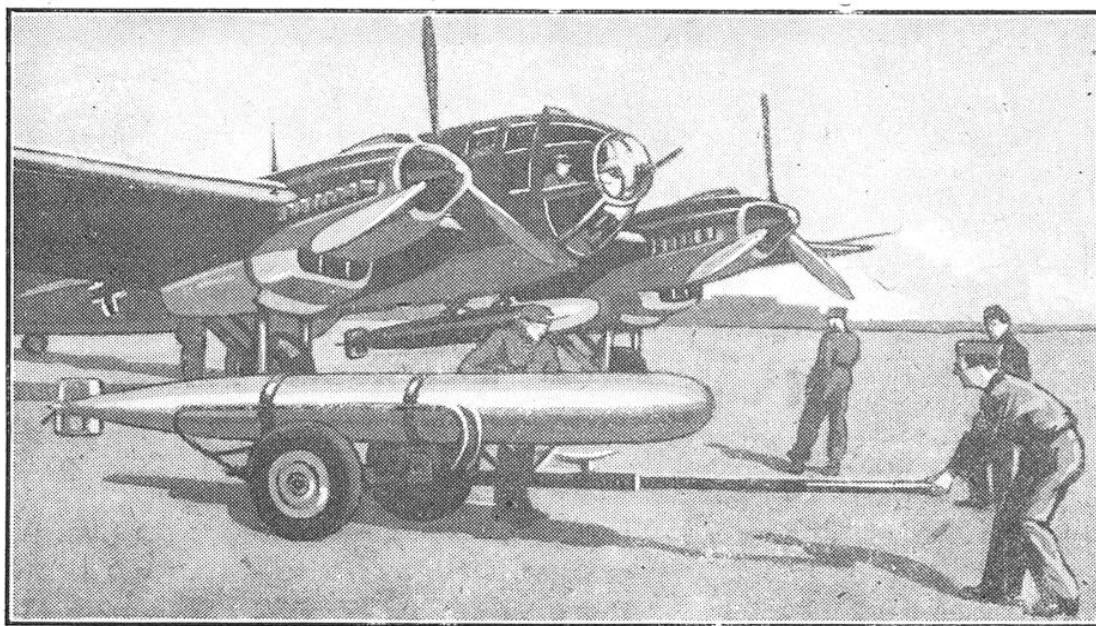
Si cet état d'esprit a sévi dans les conceptions par les armées de terre des avions de coopération qui leur étaient nécessaires, il s'est maintenu plus longtemps, et sous une forme beaucoup plus grave, en marine. On peut estimer que, dans toutes les opérations qu'elle a conduites jusqu'à la guerre de Russie, l'aviation de coopération allemande a eu la chance de trouver en face d'elle une aviation de chasse à peu près inexistante. Les pertes de cette aviation de coopération ont été sévères; qu'auraient-elles été en face d'une chasse comparable en matériel et en effectifs à la chasse allemande! Encore, dans la réalisation des premiers « Stukas », les Junkers Ju 87, y avait-il une idée; si l'appareil n'avait pas une vitesse maximum très élevée en vol horizontal, il le rachetait par un freinage aérodynamique qui lui permettait d'utiliser jusqu'au dernier moment sa vitesse de piqué dans la phase critique de l'attaque. Mais on se demande vraiment quelle idée a pu présider au programme des biplans « Swordfish » et « Albacore » de la « Fleet Air Arm ».

Il y a aujourd'hui un type de moteur d'avion et un seul acceptable pour les divers avions militaires, c'est le moteur en V de 12 cylindres

à refroidissement par liquide qui se trouve donner, sous les trois formes aux performances à peu près voisines des D.B. 603, des Rolls-Royce « Merlin » et des Allison, la puissance de 1 350 ch. Il y aura demain un type de moteur d'avion et un seul qui puisse lui succéder, c'est le moteur à 24 cylindres qui en dérive et qui, étudié depuis plusieurs années, commence à sortir en série.

La conception des avions militaires qu'on peut construire autour de ces moteurs est aussi simple et aussi exclusive de toute addition que ces

« Albacore » à moteur Bristol « Taurus » de 14 cylindres et 1 065 ch, avec ses Blackburn « Skua » à moteurs Bristol « Perseus » de 9 cylindres et 905 ch, et, comme accompagnement de ces torpilleurs et bombardiers, des Blackburn « Roc » de chasse biplaces qui essaient de racheter la puissance modérée de leur « Perseus » de 905 ch par une tourelle quadruple à commande mécanique, on peut être certain que la rencontre d'une escadrille de Messerschmitt se terminera par quelque réédition du désastre de la « Fleet Air Arm » à Kirkenes.



T W 16467

FIG. 8. — LE HEINKEL HE 111, AVION TORPILLEUR ALLEMAND

Le Heinkel He 111, dernier type d'avion torpilleur allemand, répond à une formule entièrement opposée à celle du « Swordfish » et de l'« Albacore ». On s'est borné à prendre le type le plus moderne de bombardier terrestre et à remplacer, en fuselage, les bombes par deux torpilles. On a obtenu du coup l'avion torpilleur le plus rapide qui soit et, par suite, le plus aisé à escorter par la chasse.

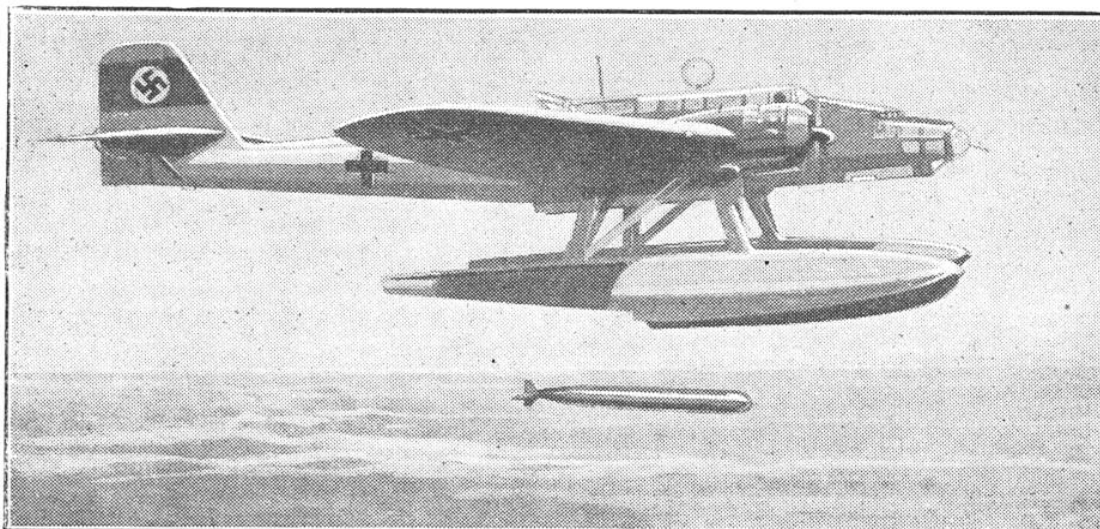
moteurs eux-mêmes. L'avion de chasse pour missions à court rayon d'action, c'est le type commun des Messerschmitt Me 109, des « Spitfire » et des Curtiss P 40. L'avion de chasse à grand rayon d'action, le bombardier, l'avion d'assaut, le torpilleur, c'est l'avion où l'on montera deux moteurs de ce même type côte à côte, puisque aucune aviation ne s'est encore laissé séduire par le gain de 80 km/h au moins qu'on ferait en les montant en tandem. C'est la formule commune des Messerschmitt Me 110, des Heinkel He 111, des Junkers Ju 88, et de tant d'autres appareils allemands, où l'on peut accentuer plus ou moins l'importance attachée à la vitesse et aux autres facteurs de puissance.

Quand on entreprendra une opération aéronavale avec des Messerschmitt Me 109 ou Me 110, des Junkers Ju 88 comme bombardiers en piqué, des Heinkel He 111 comme torpilleurs, on peut espérer qu'il n'arrivera pas de catastrophes au cas où l'on rencontrerait une escadrille de « Spitfire ». Mais, quand on fera appel aux réserves de la « Fleet Air Arm », avec ses Fairey « Swordfish » à moteur Bristol « Pegasus » de 9 cylindres en étoile et 750 ch, avec ses Fairey

Marine et aviation

Depuis trente mois que les leçons sur les rôles respectifs du navire et de l'avion dans la maîtrise de la mer sont assénées avec une évidence qui semble devoir éblouir les esprits les plus lents, on se persuade chaque fois que la leçon a enfin été comprise; on s'aperçoit régulièrement, la fois suivante, qu'il n'en était rien. A chaque nouveau coup que reçoit l'Amirauté, l'opinion publique britannique réagit pendant quelques jours, et tout rentre dans le calme jusqu'au prochain. Quand aura-t-on vraiment compris la primauté de la chasse dans le domaine naval, et quand en tirera-t-on les conséquences? Rapportons-nous-en au maréchal de Saxe affirmant que « ce ne sera pas la campagne d'après, ni la suivante, et qu'on se laissera étriller pendant dix ans et peut-être pendant cent avant que de s'en aviser, tant l'on revient difficilement des usages chez toutes les nations, soit amour-propre, soit paresse, soit stupidité ».

L'Amirauté britannique s'apercevra du rôle de la chasse quand tous ses chefs se-



T W 16463

FIG. 9. — LE HEINKEL HE 115, ANCIEN HYDRAVION TORPILLEUR ALLEMAND

Le Heinkel He 115 (2 moteurs en étoile BMW de 880 ch, vitesse maximum 355 km/h, rayon d'action 2000 km) était le type d'appareil torpilleur allemand en service en septembre 1939. La formule, jugée peu convenable, fut remplacée, dès 1940, par celle du bimoteur terrestre Heinkel He 111, tandis que le He 115 était employé à des missions ne l'exposant pas au combat (mouillage de nuit de mines magnétiques...).

ront morts de vieillesse dans leurs charges honorifiques, que tous les exécutants en état de voler auront disparu avec leurs « Swordfish » ou leurs « Skua », à moins que le choix d'un matériel pour la « Fleet Air Arm » soit « super-

visé » par des enfants qui s'esclafferont à la seule vue d'un biplan ou d'un moteur ne dépassant pas 750 ch.

Camille ROUGERON.

Alors que, de 1919 à 1939, la production mondiale de sucre dépassait nettement les besoins de la consommation, et qu'on était même amené à élaborer des plans internationaux de restriction (plan Chadbourne), la guerre actuelle jointe au blocus a produit des changements dans les pays consommateurs, qui se sont vus coupés de leurs marchés habituels et ont dû développer chez eux la culture de la betterave à sucre : le recul de la production mondiale de sucre, qu'on avait enregistré au début des hostilités, n'a pas tardé à se transformer en mouvement ascendant, surtout en Europe, où les champs de betterave sucrière fournissent maintenant les trois quarts de la production mondiale. Par ses agrandissements territoriaux, l'Allemagne a dépassé la production de Cuba, qui s'élevait à 3 millions de tonnes environ, de sorte que, sur les 30 millions de tonnes que produit annuellement l'univers, le cinquième de cette quantité revient à l'Allemagne et à Cuba. En Italie, la surface plantée en betteraves sucrières diminue au profit du chanvre. Quant à la France, elle arriverait à se suffire si les champs de betteraves du Nord n'avaient pas été dévastés par la guerre, car notre production annuelle de 900 000 tonnes n'était complétée avant guerre que par 100 000 tonnes des colonies, qui ne faisaient d'ailleurs que compenser des exportations équivalentes. En Espagne, la production en 1941-1942 sera largement suffisante. La Suède arrive, grâce à l'intervention de l'Etat, à produire 300 000 tonnes de sucre. L'Angleterre, qui se fournissait dans les divers pays de l'Empire, ainsi qu'à Cuba et Saint-Domingue, voit à présent ses champs de betteraves occuper 142 000 hectares.

A LA RECHERCHE DE SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE

par André MOLES

« Quand les navettes marcheront toutes seules, disait Aristote, nous n'aurons plus besoin d'esclaves. » Pour effectuer les travaux nécessaires à sa subsistance et pour mettre en mouvement les mécanismes imaginés en vue de satisfaire ses besoins de plus en plus nombreux, l'homme, suivant les étapes du progrès technique, a dû faire appel à des sources d'énergie sans cesse plus abondantes. Le problème de l'énergie, qui pour nous se présente aujourd'hui sous un aspect particulier du fait de la guerre, grosse mangeuse de houille, de pétrole et d'énergie électrique, deviendra toujours plus pressant à mesure que de nouvelles portions de l'humanité accèderont aux avantages de la civilisation mécanique. Les solutions qui y seront apportées évolueront sans doute profondément au cours des prochaines années. Une utilisation plus rationnelle des réserves de houille et de pétrole les fera considérer non plus comme de vulgaires combustibles, mais comme des matières premières précieuses pour une industrie chimique qui sait déjà fabriquer quatre cent mille dérivés du carbone. Par contre, les sources « gratuites » d'énergie (chutes d'eau, vents, marées, rayonnement solaire) seront largement mises en valeur. Elles le seront dans l'ordre de difficulté croissante de leur équipement, et certaines solutions, pourtant parfaitement au point dès maintenant (usines marémotrices), risquent d'attendre que l'équipement hydro-électrique moins coûteux à réaliser ait atteint un plus haut degré de développement. Mais la solution la plus séduisante serait la transformation directe de la matière en énergie, qui permettrait de couvrir tous les besoins énergétiques de l'humanité par la destruction annuelle de quelques centaines de kilogrammes de matière.

LE problème de l'énergie se pose, à l'heure présente, d'une façon particulièrement critique pour une grande partie du monde civilisé; chaque nation met en œuvre toutes ses ressources et mobilise toutes ses compétences pour résoudre le problème-clé de toute l'activité humaine.

Les sources actuelles d'énergie qui, comme nous le verrons, sont qualitativement en nombre restreint, sont exploitées au maximum, disons même surexploitées.

Si quelques pays privilégiés n'envisagent pas, pour le moment du moins, d'autre réponse à la demande sans cesse croissante d'énergie de l'industrie moderne qu'un accroissement parallèle de la production en pétrole, combustibles solides, houille blanche, d'autres nations, moins favorisées, demandent à leurs savants et à leurs ingénieurs des solutions réellement nouvelles.

Houille et pétrole, réserves d'énergie solaire

Quelles sont tout d'abord les sources d'énergie actuellement utilisées? En dernière analyse, il n'y en a

qu'une: le soleil. C'est à lui que nous devons plus ou moins directement toute l'énergie qui nous chauffe, nous éclaire et fait tourner nos machines.

Nous utilisons d'abord l'énergie chimique qu'il a emmagasinée durant les périodes géologiques sous forme de charbon provenant de la décomposition des végétaux et sous forme de pétrole, dont l'origine probable est la décomposition dans des circonstances mal définies d'organismes marins.

Nous n'insisterons pas sur ces combustibles malgré leur importance, car ils sont bien connus et ont été étudiés maintes fois ici même. Remarquons simplement que ce sont des réserves de chaleur solaire, et que des réserves, fussent-elles immenses, s'épuiseront nécessairement un jour. Si la date en semble tellement lointaine qu'elle reste encore indistincte pour le charbon, par contre la date de l'épuisement du pétrole est un sujet de préoccupation pour tous les géologues; il est vrai qu'on aura la ressource de faire des hydrocarbures avec de la houille. Mais l'opération ne s'est pas avérée tellement avantageuse au point de vue financier qu'on puisse

PAYS	UTILISÉES	UTILISABLE
	En millions de kW	
Europe.	13,5	41
Amérique du Nord. .	16	51
Amérique du Sud. .	0,66	32,5
Asie.	3	56
Afrique.	0,025	140
Australie.	0,2	10,0
TOTAL.	33,385	330,5

TABLEAU I. — LES RESSOURCES HYDRAULIQUES DU MONDE

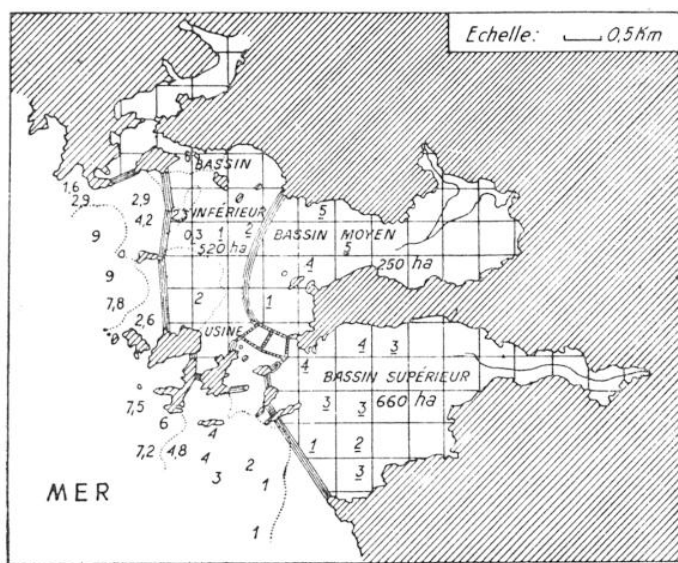


FIG. 1. — PLAN D'UN PROJET DE STATION MARÉMOTRICE DE 100 000 CH DANS L'ESTUAIRE DE L'ARGUENON ET LANCIEUX (CAQUOT ET DEFOUR)

Cette station à trois bassins utilise le cycle décrit aux figures 2 et 3. Les bassins sont quadrillés de telle sorte que chaque carré représente une superficie de 25 hectares. Les cotes des fonds sont soulignées si elles indiquent des fonds au-dessus du niveau moyen des mers. Elles ne le sont pas dans le cas contraire.

la considérer comme une solution élégante du problème. On a d'ailleurs une tendance parfaitement justifiée à réserver de plus en plus le charbon aux usages proprement chimiques et la transformation en essence synthétique n'est qu'une modalité pratique de son emploi comme combustible. La production d'énergie dans les centrales thermiques, dont les plus perfectionnées n'atteignent qu'un rendement de 20 %, constitue une véritable hérésie, non seulement au point de vue rendement énergétique, mais au point de vue économique si l'on songe que la plupart des 400 000 dérivés du carbone, des produits pharmaceutiques aux résines de synthèse, ont une valeur d'utilisation infiniment supérieure à la quantité d'énergie qu'ils représentent par combustion.

Les ressources hydroélectriques du monde

C'est encore le soleil qui nous fournit toute notre énergie hydraulique : c'est lui qui, par évaporation, pompe l'eau du niveau de la mer à la hauteur des nuages d'où elle retombe dans nos barrages et passe de là dans nos turbines.

À la différence des précédentes, c'est là une source d'énergie permanente, qu'on n'a pas à craindre de voir s'épuiser.

Il suffirait donc, semble-t-il, d'équiper des barrages en nombre suffisant. C'est bien ce qu'on fait maintenant, et un des pionniers de l'électrotechnique, Steinmetz, ne pouvait voir une chute sans penser immédiatement au nombre de kilowatts qu'elle pourrait fournir. Mais le problème est loin d'être résolu. Toute l'énergie hydraulique disponible sur la Terre est, en effet, loin de satisfaire l'insatiable demande de notre industrie. Elle ne représente que 330 mil-

lions de kilowatts-an et encore en comptant dans ce chiffre des chutes situées dans des pays lointains, chutes difficilement exploitables. Or, le monde consomme déjà à l'heure actuelle plus de 410 millions de kilowatts-an. Si donc nous ne voulons pas, pour un motif ou pour un autre, toucher à nos réserves, nous sommes déjà en déficit de 80 millions de kilowatts-an, chiffre très appréciable qui ne fera qu'augmenter dans l'avenir avec les progrès de la civilisation industrielle. Ce chiffre ne représente que 0,2 kilowatt-an par habitant de la Terre et, en 1940, un habitant de New York ou de Paris en consommait déjà le double.

Le secret de la matière vivante : la fixation du carbone atmosphérique

En tout cas, ce bilan nous montre bien la nécessité de chercher des ressources nouvelles. Poussés par les événements, les pays déficitaires en énergie en ont déjà trouvé une; nous la connaissons tous. C'est maintenant le bois qui, sous une forme ou sous une autre, fait marcher nos camions. Ce bois, c'est, en définitive, toujours le soleil qui nous le donne. C'est lui qui fournit à la vie l'énergie nécessaire pour faire passer le carbone de l'état inerte d'anhydride carbonique, tel qu'on le trouve dans l'atmosphère, à l'état de cellule végétale. C'est là une ressource permanente qui se recrée chaque année, à condition bien entendu de ne pas supprimer les systèmes producteurs, c'est-à-dire de ne pas déboiser exagérément. Elle serait parfaite (à quelques détails près) si elle était inépuisable. Mais ce n'est pas le cas et, si les gazogènes font rouler nos camions, ils ne font pas rouler nos voitures de tourisme.

L'action du soleil revient à réaliser une simple réaction, dite « endothermique », permettant de passer d'un corps à bas potentiel thermochimique, le gaz carbonique, à des corps à potentiel thermochimique élevé : lignine, cellulose... Or, le gaz carbonique se trouve en abondance dans le sol et l'atmosphère — 300 cm³ par mètre cube d'air, — puisque c'est le produit final de la dégradation de tous les corps organiques. Si nous pouvions à volonté, dans nos laboratoires, effectuer sur une grande échelle la réaction (1) qui constitue, comme on l'admet couramment, la première étape de la fixation du carbone de la part des plantes avec production d'aldéhyde formique, ce serait parfait. Mais cette réaction nécessite un catalyseur : la chlorophylle, mélange de pigments végétaux dont nous connaissons à peu près la constitution, mais très mal la façon d'agir, puisque cette chlorophylle se refuse catégoriquement, sortie de la plante, à reproduire la réaction qui nous intéresse. Si les spécialistes de la chimie biologique arrivaient à éclaircir nos idées sur le mécanisme exact de cette cata-

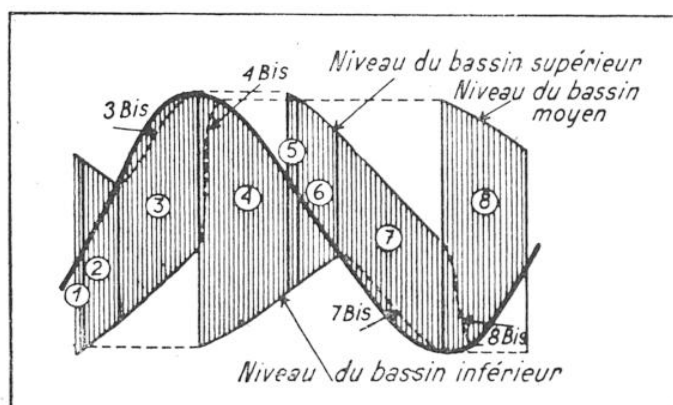
(1) Cette réaction peut s'écrire : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{énergie lumineuse} = \text{HCHO} + \text{O}_2$.

lyse et à reproduire la réaction avec un rendement satisfaisant, nous pourrions envisager la fabrication de quantités illimitées de combustibles que nous transformerions en énergie par une méthode quelconque, de préférence de meilleur rendement que la centrale thermique. Signalons en passant la solution provisoire qui consisterait à développer de façon intensive certaines cultures (oléagineux en particulier) sous les climats chauds du globe. Ces végétaux sont capables de fournir un combustible liquide facilement utilisable dans les moteurs Diesel.

L'énergie des marées

Quittons pour un moment le soleil, auquel nous reviendrons d'ailleurs, et adressons-nous à une voisine beaucoup plus proche, la lune, qui, deux fois par jour, soulève des millions de tonnes d'eau, gratuitement et sans autre utilité que de faire entrer quelques navires au port. On a beaucoup parlé de cette utilisation des marées; elle revient périodiquement à la mode et reste toujours à l'ordre du jour.

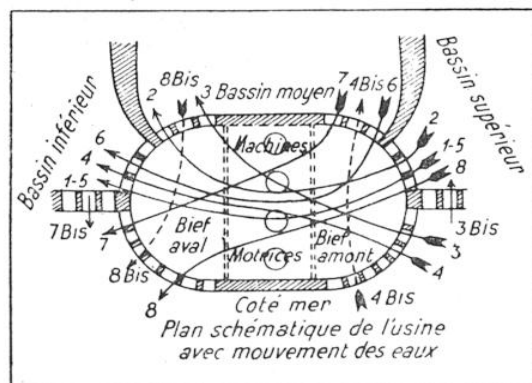
Des concessions ont été demandées de-ci de-là, accordées d'ailleurs; les plans sont faits, mais



T W 16405

FIG. 3. — PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT D'UNE USINE MARÉMOTRICE A TROIS BASSINS (CAQUOT ET DEFOUR)

Le niveau de la mer varie périodiquement, ainsi que les niveaux des trois bassins. On a représenté en fonction du temps le cycle complet de ces variations. La courbe du niveau de la mer est en trait fort. C'est en première approximation une sinusoïde. La turbine utilise les différences de niveau entre les bassins et la mer pour produire de l'énergie mécanique. Les trois courbes du niveau de l'eau dans les trois bassins (inférieur, moyen et supérieur) ont été représentées en trait plein dans les parties qui correspondent à des déplacements d'eau qui s'effectuent à travers la turbine, en trait pointillé quand il s'agit d'un écoulement libre. La surface remplie de hachures verticales représente, à un coefficient près, le travail produit par l'ensemble de l'installation. On distingue huit phases du fonctionnement qui correspondent à différentes ouvertures des vannes. On a marqué par des chiffres 1 à 8 les mouvements d'eau qui produisent du travail et par des chiffres bis les déplacements d'eau qui s'effectuent en même temps que les premiers sans production d'énergie mécanique. Ces mouvements d'eau sont représentés sur le plan schématique de l'installation (fig. 2) avec les mêmes chiffres.



T W 16406

FIG. 2. — PLAN SCHÉMATIQUE D'UNE USINE MARÉMOTRICE A TROIS BASSINS

Les turbines motrices utilisent la différence de niveau entre le bief amont et le bief aval. Ces biefs sont en communication, le premier avec le bassin supérieur, le bassin moyen et la mer, et le second avec le bassin inférieur, le bassin moyen et la mer. On a représenté par des flèches numérotées les mouvements d'eau producteurs d'énergie mécanique. Les chiffres qui servent à les désigner correspondent aux diverses phases du cycle de la figure 3. Les flèches pointillées portant des numéros bis correspondent aux mouvements d'eau qui s'effectuent sans passage par les turbines et, par conséquent, sans production de travail. Comme on le voit sur la figure, l'usine est installée au point commun des trois bassins et de la mer. Les trois bassins seront de préférence au fond d'une baie fermée par une digue, pour limiter au minimum les travaux d'équipement de l'usine.

jusqu'ici on en est resté là. Il semble que, si les projets sont au point, si même ils sont financièrement rentables, on ait reculé jusqu'ici devant les énormes frais de premier établissement d'une usine marémotrice.

La seule difficulté, du point de vue technique, résulte du caractère essentiellement périodique de la marée. Suivant les systèmes, elle a été résolue de façon plus ou moins élégante à l'aide de doubles bassins qui se vident alternativement, de pompes refoulant de l'eau dans un bassin à niveau constant... De telles installations entraîneraient évidemment de très gros frais. Mais elles en vaudraient la peine, car elles fourniraient des quantités énormes d'énergie dans d'excellentes conditions de régularité; nous ne serions pratiquement limités dans son utilisation que par les facilités relatives d'aménagement.

L'énergie ainsi récupérée est empruntée à l'énergie cinétique du gigantesque volant que constitue la Terre et son utilisation se traduirait par un accroissement du freinage que la lune exerce, par l'intermédiaire des marées, sur la rotation diurne de la Terre. Ce freinage est extrêmement faible, et la menace de catastrophes d'ordre cosmique n'est pas pour nous effrayer d'ici longtemps. En tout cas, il n'existe jusqu'ici que de microscopiques installations fournissant quelques chevaux qui servent à faire tourner des moulins : cela suffit à démontrer la possibilité du problème.

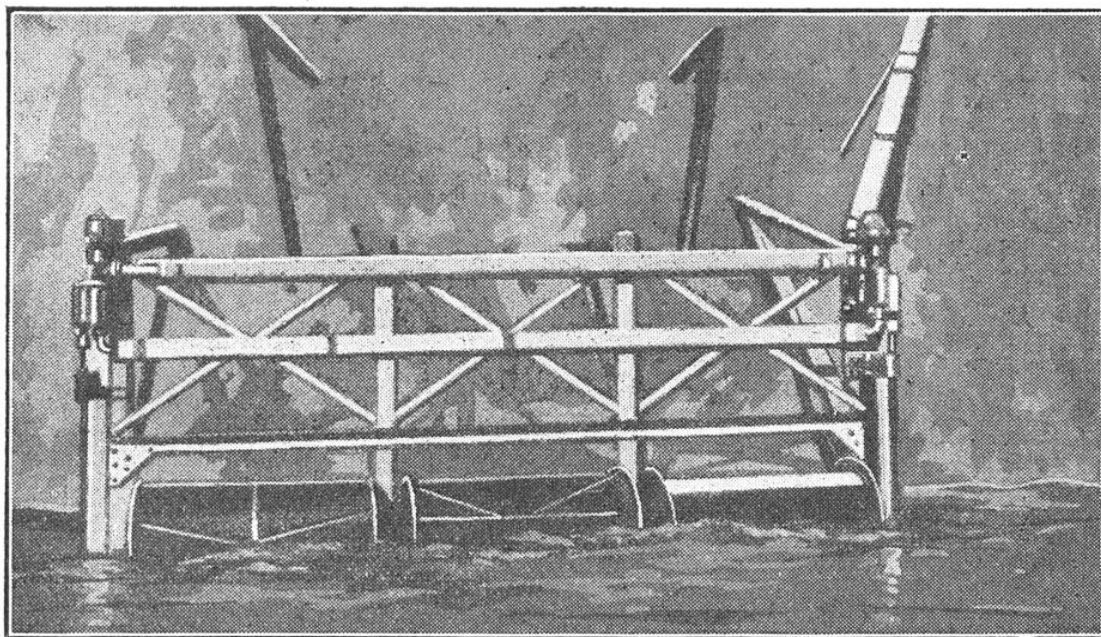
Espérons que bientôt le besoin nous donnera de l'audace et que nous verrons l'usine de l'Aber Vrac'h alimenter Paris en houille dite bleue.

L'énergie des vagues

Puisque nous en sommes à l'énergie des mers, examinons les autres ressources qu'elles peuvent nous apporter : quand on voit des tonnes d'eau se précipiter à l'assaut des falaises, on se demande s'il n'y aurait pas moyen d'utiliser toute cette énergie mécanique. D'innombrables brevets ont été déposés, quelques-uns sérieux, beaucoup d'autres chimériques. Nous signalerons, à titre d'exemple, que l'Institut Océanographique de Monaco pompe l'eau de

siècles passés, et encore aujourd'hui bien des fermiers de l'Ouest des États-Unis s'éclairent avec de petits moulins à vent entraînant une dynamo qui charge une batterie d'accumulateurs.

De même nous avons tous vu des pompes actionnées par le vent. Mais c'est un auxiliaire terriblement irrégulier dont l'emploi ne peut être envisagé qu'avec des installations d'accumulation hydrauliques ou électriques considérables. On conçoit cependant, et des projets ont été établis dans ce sens, des turbines éoliennes



T W 16412

FIG. 4. — GROUPE DE TROIS ROTORS DE SAVONIUS DE L'INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE DE MONACO, UTILISANT L'ÉNERGIE DES VAGUES POUR LE POMPAGE DE L'EAU

Chacun de ces trois rotors mesure 1,2 m de longueur et 0,75 m de diamètre. L'ensemble a permis de pomper 4 000 l/h d'eau à 65 m au-dessus de la mer. Il utilise aussi bien le choc des vagues que leur ressac, mais il a l'inconvénient d'être fragile. Au moment où les vagues possèdent le plus d'énergie, on doit relever l'appareil pour éviter qu'il ne soit détruit.

mer dont il a besoin à l'aide d'une turbine spéciale actionnée par les vagues et appelée rotor de Savonius (fig. 4). L'appareil fonctionne depuis plusieurs années; mais par gros temps on est obligé de le retirer; c'est là la difficulté de tous les systèmes d'utilisation de l'énergie des vagues : celle-ci est trop brutale; elle ressemble surtout à des coups de bélier, et les grosses vagues de tempête qui enlèvent des morceaux de digues n'auront aucune peine à pulvériser des installations de résistance mécanique forcément faible.

Remarquons en passant que cette énergie, comme toutes celles que nous offrent les phénomènes naturels, nous vient toujours en dernière analyse du soleil, par l'intermédiaire des vents résultant des différences des conditions atmosphériques suivant les endroits.

Les stations éoliennes

Pourquoi, dans ces conditions, ne pas utiliser directement le vent? Certes, on le faisait aux

de grandes dimensions installées sur des montagnes et actionnant des dynamos; elles enverraient le courant dans les vallées, où il ferait tourner des pompes remplissant des lacs artificiels et l'énergie potentielle ainsi accumulée serait utilisée de la façon habituelle.

L'énergie thermique des mers

Enfin, nous ne pouvons quitter ce domaine sans rappeler les tentatives de G. Claude pour tirer parti de la différence de température entre les couches supérieures et profondes des mers équatoriales. Les expériences de Matanzas ont démontré la possibilité théorique d'une telle entreprise et aussi la fragilité de l'installation.

C'est pour remédier à cet inconvénient que Georges Claude emploie dans une seconde tentative qu'il compte effectuer près d'Abidjan, en Côte d'Ivoire, un procédé différent de pompage de l'eau froide. Celle-ci serait amenée par une galerie en tunnel et un puits allant déboucher dans une fosse sous-marine appelée « trou sans fond ».

L'utilisation directe de l'énergie solaire

Quittons maintenant les houilles « multicolores » pour revenir au rayonnement direct du soleil. On sait qu'il est considérable. Dans les pays tropicaux, il peut correspondre à une puissance de un cheval par mètre carré. Ce cheval-vapeur par mètre carré a toujours fasciné les inventeurs qui ont cherché par tous les moyens à récupérer cette énergie perdue en grande partie. Certains ont proposé de se servir du phénomène bien connu de thermoélectricité pour utiliser la différence de température entre le sol des régions équatoriales et le fond de la mer aux environs de 4°. On sait qu'en joignant les extrémités de deux fils de métaux différents et en portant les deux jonctions à des températures inégales, on observe le passage d'un courant dans le circuit ainsi formé avec absorption corrélative de chaleur tendant à égaliser les deux températures.

Ce procédé d'utilisation de la chaleur solaire, si séduisant qu'il paraisse au premier abord, se révèle absolument chimérique. En effet, la différence de température entre le fond et la surface de la mer n'atteint pas 50°. Or, la force électromotrice maximum des couples de métaux usuels, seuls à considérer pour une application industrielle, est celle du couple fer-constantan et vaut 2,5 millivolts pour 50° (rappelons que la force électromotrice d'une pile de poche est 4,5 volts, presque 2 000 fois plus grande). Un simple calcul montre qu'en partant d'une puissance très ordinaire de 20 000 kilowatts et admettant une longueur des couples de 1 kilomètre, il faudrait, pour avoir une tension utilisable, employer des conducteurs dont l'ensemble formerait un carré de 35 kilomètres de côté, correspondant à environ 7 000 milliards de tonnes de fer.



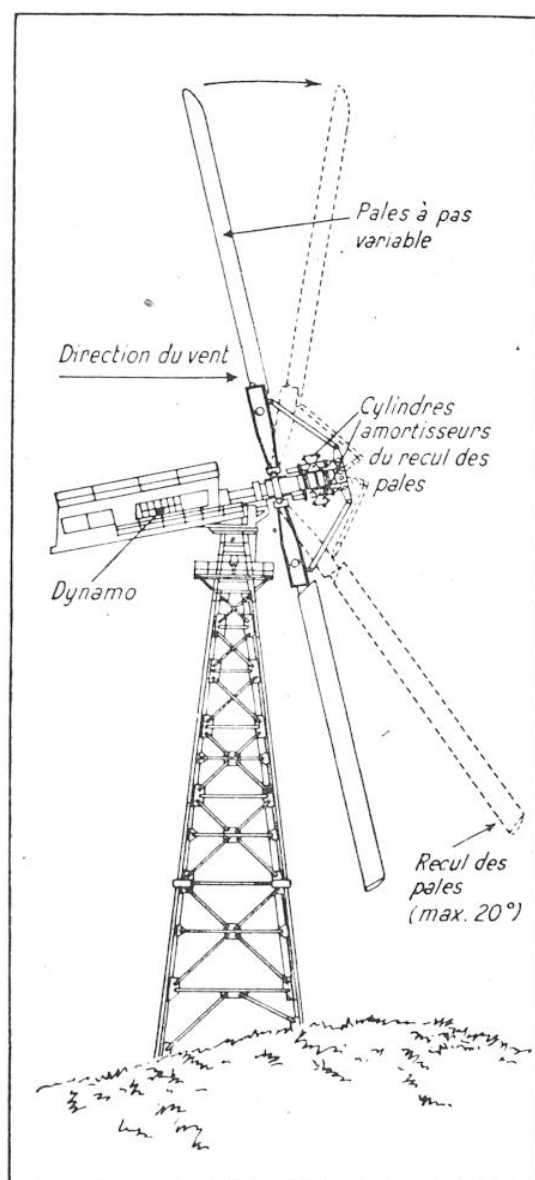
T W 16409

FIG. 5. — LA STATION ÉOLIENNE DE GRANDPA'S KNOB (E.-U.) DE 1 000 KW ACTUELLEMENT EN COURS D'ESSAIS

Le vent étant une source d'énergie essentiellement irrégulière, une telle station est destinée à servir d'appoint à une centrale thermique ou hydroélectrique. Sa construction en série permettrait d'abaisser la mise de fonds initiale au-dessous du prix d'installation d'une centrale thermique de même puissance, et le coût de son fonctionnement serait du même ordre que celui d'une centrale hydroélectrique.

Un projet plus raisonnable qui a reçu la sanction de l'expérience serait d'utiliser simplement l'énergie solaire à produire de la vapeur. A Méadi, près du Caire, existe une telle usine solaire. Un tube noirci entouré d'un tube de verre forme chaudière et est placé au foyer d'un miroir en forme de cylindre parabolique orienté suivant la direction du soleil : il donne de la vapeur actionnant une machine à basse pression de 100 kilowatts.

Le Français Tellier avait imaginé un moteur utilisant la différence de solubilité de l'ammoniac entre 10° et 60° et donnant une puissance



T W 16410

FIG. 6. — SCHÉMA DE LA STATION ÉOLIENNE DE GRANDPA'S KNOB

Cette station repose sur le sommet d'une tour, de telle sorte que la voilure tournante équilibre l'usine de production de courant. La voilure est constituée par deux pales d'hélice à pas réglable, en acier inoxydable. Le pas de l'hélice varie de façon à maintenir la vitesse de rotation de la voilure à la valeur constante de 28,7 tours/mn, quelle que soit la vitesse du vent au-dessus de 30 km/h. L'hélice, d'une envergure totale de 53 m, peut résister à un vent de 225 km/h et à un vent de 160 km/h lorsqu'elle porte une épaisseur de glace de 15 cm sur son bord d'attaque. Mais sa propriété la plus originale est de pouvoir se replier partiellement, les deux pales décrivant un cône de révolution, sous l'action d'une variation brusque du vent. Ce recul est encaissé par un frein élastique un peu analogue à celui d'un canon; sa valeur maximum est de 20°.

de 2/10 de ch. Les essais, intéressants cependant, n'ont pas été poursuivis.

On a dressé des cartes des régions de la Terre où on pourrait utiliser en permanence la chaleur solaire et quelques installations embryonnaires, telles que celle de Méadi, sont en fonctionnement. Il serait question d'en créer une en Afrique du Nord.

On a proposé également des systèmes photo-électriques. Rappelons qu'en effet les petites cellules « à contact rectifiant », vendues sous le nom d'exposemètres par les photographes, produisent assez d'énergie pour actionner directement un appareil de mesure.

Les laboratoires Bell ont construit une cellule sélénium-platine qui donne 2 watts par mètre carré. Ce n'est pas absolument négligeable, et si le rendement n'est encore que le 1/300 de ce qu'il pourrait être, on peut légitimement espérer une amélioration. Il suffira de s'arranger pour que la résistance des fils de connexion ne soit pas telle qu'elle absorbe toute l'énergie disponible; par ailleurs, le platine à 63 francs le gramme n'est pas un métal industriel.

La foudre

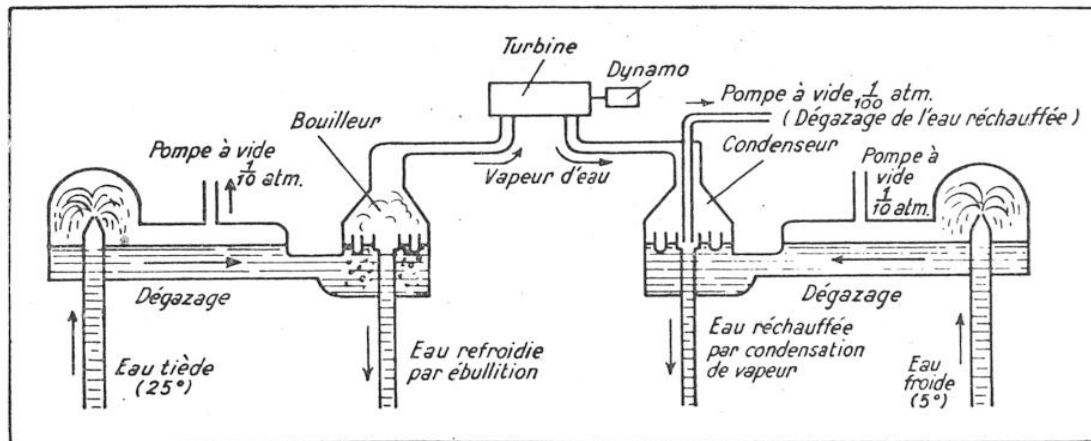
Passant maintenant d'un extrême à l'autre, nous allons envisager l'utilisation des très fortes tensions : un immense réservoir d'électricité est à notre disposition : c'est l'atmosphère. Que cette électricité nous vienne directement du soleil sous forme d'électrons ou indirectement, résultant des troubles atmosphériques, physiiciens et astronomes discutent encore là-dessus. Ce qui nous importe aujourd'hui, c'est son existence. La très haute tension disponible, et surtout l'irrégularité d'une pareille source d'énergie, seront le principal obstacle à son utilisation. Peut-on, en effet, demander à la foudre d'être docile? Le gradient de potentiel passe en quelques instants par temps d'orage de quelques volts à quelques centaines de volts par mètre.

Nous signalerons cependant qu'une application semi-industrielle a été faite de cette peu banale source d'énergie : des physiciens allemands, renouvelant l'expérience classique de Franklin, ont réalisé au Monte Generoso (1), en Suisse, une station d'expériences et d'essais à très haute tension fournie directement par l'atmosphère en temps d'orage par l'intermédiaire d'un simple câble isolé. Ainsi nous voilà devant un laboratoire à haute tension qui se passe de générateur et puise directement son énergie dans les nuages. Il faut reconnaître que c'est là une application un peu exceptionnelle et que l'extrême irrégularité d'une telle source d'énergie lui fait prévoir peu d'applications. Toutefois, si on réussissait à utiliser ces tensions qui atteignent 14 millions de volts pour la « synthèse » des radioéléments, on pourrait envisager l'utilisation de l'énergie radioactive de ceux-ci.

La matière, réservoir inépuisable d'énergie

Nous ne mentionnerons que pour mémoire la radioactivité en tant que source d'énergie. Si, en effet, elle est très intéressante en raison de sa permanence, la rareté des gisements de substances radioactives suffisamment intenses à la surface de la Terre nous interdit tout espoir, du moins pour le moment. Peut-être y en a-t-il beaucoup plus à de grandes profondeurs,

(1) Voir *La Science et la Vie*, no 195, sept. 1933.



T W 16404

FIG. 7. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE L'USINE GEORGES-CLAUDE POUR L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

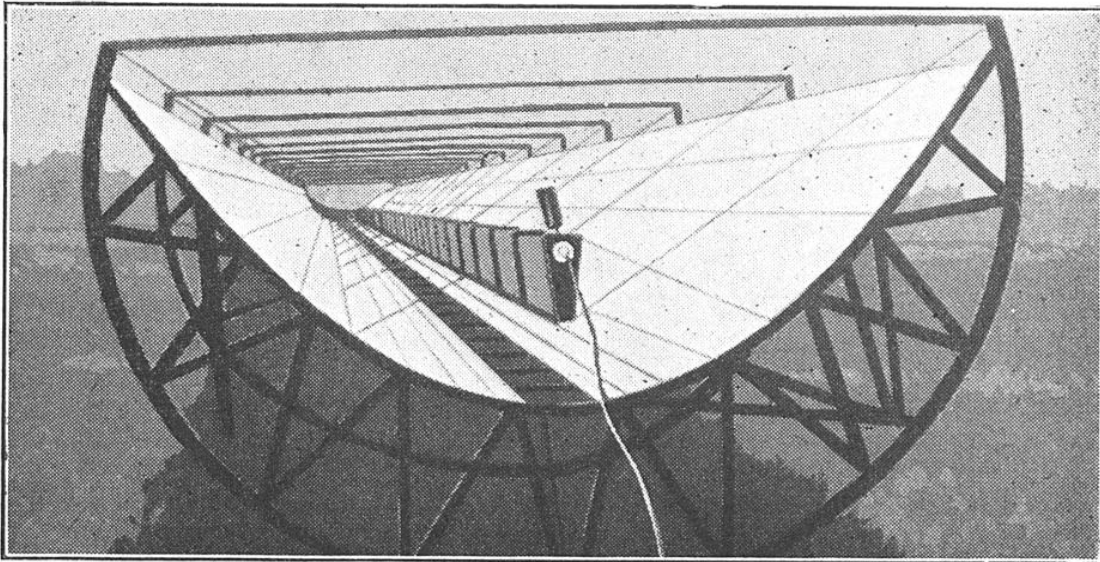
Une turbine est installée entre une source chaude eau à 25° et une source froide (eau à 5°). En abaissant la pression dans l'appareil à une valeur convenable à l'aide d'une pompe à vide, on provoque l'ébullition de l'eau de la source chaude. La vapeur produite va se condenser à la source froide après avoir fait tourner la turbine. Cette machine, qui utilise deux sources à des températures voisines, est par conséquent d'un rendement théorique faible (principe de Carnot). Le rendement pratique est encore plus faible du fait qu'il faut que les pompes à vide débarrassent les liquides des gaz qu'ils renferment en solution. Mais on peut s'accommoder d'un rendement faible, car les deux sources chaude et froide ne coûtent rien une fois construit le tube qui va chercher l'eau froide à grande profondeur.

comme le disent certains géophysiciens, mais nous n'en savons absolument rien, et il serait imprudent de tabler là-dessus.

Reste la ressource d'en fabriquer artificiellement à partir d'une autre forme d'énergie, comme nous venons de le voir plus haut.

Il y a enfin une dernière source d'énergie toute nouvelle et dont la découverte revient aux

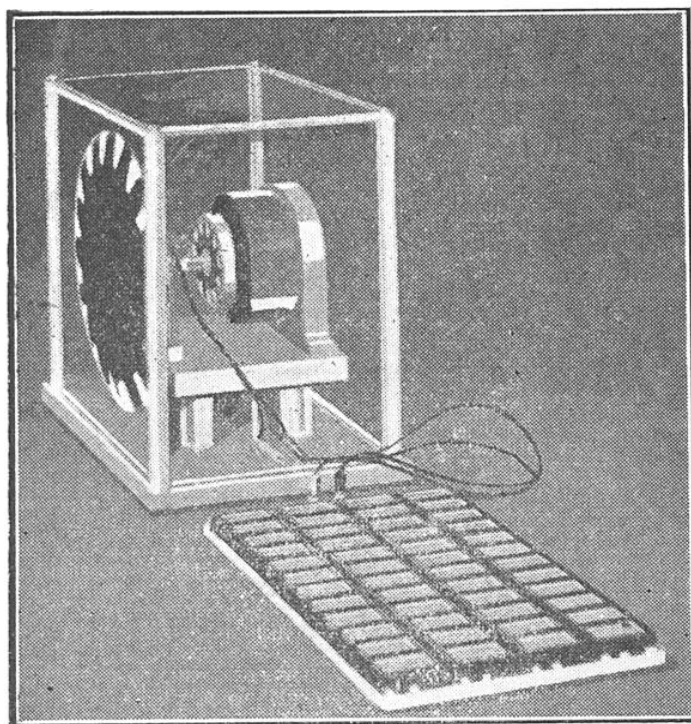
physiciens exclusivement. C'est peut-être elle qui nous donnera — demain — la vraie solution du problème de l'énergie : c'est la transformation de la matière en énergie; la matière ne nous manquant pas, on voit que nous aurions à notre disposition des quantités illimitées d'énergie. On sait que, d'après les théories modernes, la vieille loi de conservation de la masse



T W 16411

FIG. 8. — UN DES ÉLÉMENTS DE PRODUCTION DE VAPEUR DE LA STATION DE POMPAGE DE MEADI (ÉGYPTE)

L'eau que l'on veut porter à l'ébullition est contenue dans un tube disposé suivant la droite focale d'un cylindre parabolique réfléchissant la lumière. Le miroir cylindrique, dont les génératrices sont orientées suivant le méridien terrestre, tourne au cours de la journée de telle sorte que le soleil soit toujours dans son plan de symétrie, position dans laquelle le générateur recueille le maximum d'énergie solaire.



T W 16408

FIG. 9. — MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 0,01 W MU PAR UNE BATTERIE DE CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES

n'est pas vérifiée et que la matière peut se transformer en énergie. Une formule célèbre, due à Einstein, donne précisément cette équivalence et affirme que, quand un gramme de matière disparaît, il apparaît une énergie de $9 \cdot 10^{20}$ ergs, soit 25 millions de kilowatts-heure environ, l'énergie fournie par une centrale de 3 000 kilowatts pendant un an. Les besoins annuels de l'humanité pourraient donc être satisfaits par la destruction de 200 kg de matière. On voit immédiatement que très peu de matière correspond à beaucoup d'énergie.

Il ne s'agit donc que de provoquer le passage de la matière à l'énergie. Là réside la difficulté qui a été résolue récemment, au moins de façon théorique. On a maintes fois parlé ici même du neutron. C'est une petite particule matérielle de masse voisine de celle de l'atome d'hydrogène et ne portant aucune charge électrique; c'est un des constituants fondamentaux de la matière.

Or, quand on bombarde avec des neutrons l'atome d'uranium, le 92^e et dernier élément de la classification de Mendeleïew, le noyau est brisé en deux ou plusieurs noyaux d'atomes plus légers (baryum, lanthane, etc...) et deux ou trois neutrons. Une simple addition montre qu'il y a dans la réaction perte d'une petite masse de matière et apparition corrélative d'une certaine quantité d'énergie.

Les choses en resteraient là si les deux ou trois neutrons libérés ne venaient à leur tour bombarder d'autres atomes avec répétition du

même processus. Or, ce bombardement, qui conditionne l'entretien de la réaction indéfiniment (réaction en chaîne), ne se produira que si la probabilité de rencontre d'un atome d'uranium par un des neutrons durant son libre trajet est assez grande.

N'oublions pas que la matière vue à grande échelle n'est composée que de quelques atomes disséminés dans le vide. On conçoit qu'en calculant cette probabilité de rencontre, on puisse déterminer l'épaisseur minimum de matière nécessaire pour avoir une réaction se propageant d'elle-même. On a ainsi déterminé qu'un gramme d'uranium dont tous les atomes se briseraient donnerait 20 millions de grandes calories, l'énergie apparaissant sous forme thermique, car il serait difficile de la faire apparaître autrement. Mais si nous laissons dégager d'un seul coup cette énergie formidable, il se produirait très probablement une explosion catastrophique : il nous faut assagir, régulariser la réaction. Or, le calcul de l'épaisseur minimum nécessaire pour une réaction en chaîne montre que celle-ci croît avec la température. Si donc nous prenons une sphère de rayon juste nécessaire pour l'entretien de la réaction en chaîne à une certaine température, disons 900°, ce qui correspondrait à un rayon de 150 cm, et que la température

viennne à dépasser cette valeur, le rayon minimum est alors plus grand que 130 cm et la réaction va s'arrêter; elle ne reprendra que quand la sphère sera revenue à cette température critique. On a donc là une stabilisation de la température et de la vitesse de la réaction.

On peut ainsi concevoir le futur générateur à désintégration : l'oxygène ne jouant aucun rôle dans les réactions en chaîne, on utiliserait une sphère d'oxyde d'uranium, évitant ainsi la pénible préparation de l'uranium métallique; il suffirait de porter à 180 cm le rayon de cette sphère, qui serait entourée d'une enveloppe de fer servant à améliorer la diffusion des neutrons. Cette sphère à 900° servirait de foyer d'une centrale thermique produisant dans de bonnes conditions de l'énergie électrique qui ne coûterait presque rien, car la consommation d'oxyde d'uranium serait très faible. L'uranium n'est pas un métal très rare, et il serait facile de réunir les 10 tonnes nécessaires pour cette petite expérience.

Les calculs sont faits, il ne manque que les capitaux et un peu d'audace. Espérons que les physiciens, après avoir révisé une dernière fois leurs calculs, tenteront cette expérience qui, si elle réussissait, serait une belle victoire à leur actif, à une époque où nous sommes obligés de revenir à l'énergie humaine, ne serait-ce que pour nous transporter.

André MOLES.

LE PLANEUR AUXILIAIRE DE DÉCOLLAGE

par André FOURNIER

Il n'y a pas encore un an que le planeur a été employé pour la première fois en Crète à une opération massive de débarquement; les nouvelles applications militaires possibles en apparaissent déjà. L'une des plus intéressantes, pour laquelle des commandes auraient déjà été passées en Amérique par l'aviation britannique, est le planeur auxiliaire de décollage, qui porterait le combustible de l'avion remorqueur, le transvaserait en vol et rejoindrait ensuite son terrain. On pourrait ainsi réduire notablement la longueur de décollage des avions lourdement chargés et, par suite, leur faire prendre le départ soit sur des terrains de fortune exigus, soit même sur des porte-avions.

Le développement des applications militaires du planeur remorqué

LE mérite d'avoir appelé l'attention sur les applications militaires du planeur remorqué appartient à l'aviation soviétique qui, plusieurs années avant la guerre, expérimentait déjà le transport des troupes en trains de planeurs remorqués. Mais ce fut la Luftwaffe qui inaugura leur emploi dans l'attaque de certains forts d'abord et les utilisa ensuite au cours de la campagne de Crète, en débarquant avec leur aide des effectifs importants dans l'île (1).

Le développement de la nouvelle arme se poursuit activement. Si les réalisations allemandes, britanniques et russes restent toujours entourées d'un certain secret, les commandes américaines permettent de se faire quelque idée de l'intérêt porté au planeur. L'aviation navale aurait passé des commandes d'essais de quatorze types différents de planeurs, dont quatre pour transport de troupes. Ces derniers appareils seraient d'ailleurs plus importants que les planeurs allemands pour huit hommes; les deux types commandés à l'*Allied Aviation Corporation*, à Baltimore, seraient des planeurs à douze places; les deux autres, commandés à *Snead and Co*, à Orange, seraient des planeurs à vingt-quatre places.

Mais les commandes les plus intéressantes, par leur nouveauté du moins et par la variété de leurs applications militaires et même civiles, sont les commandes de planeurs auxiliaires de décollage que la Commission d'achats britanniques aux U.S.A. s'efforcerait de placer.

Le problème du décollage et le décollage par planeur auxiliaire

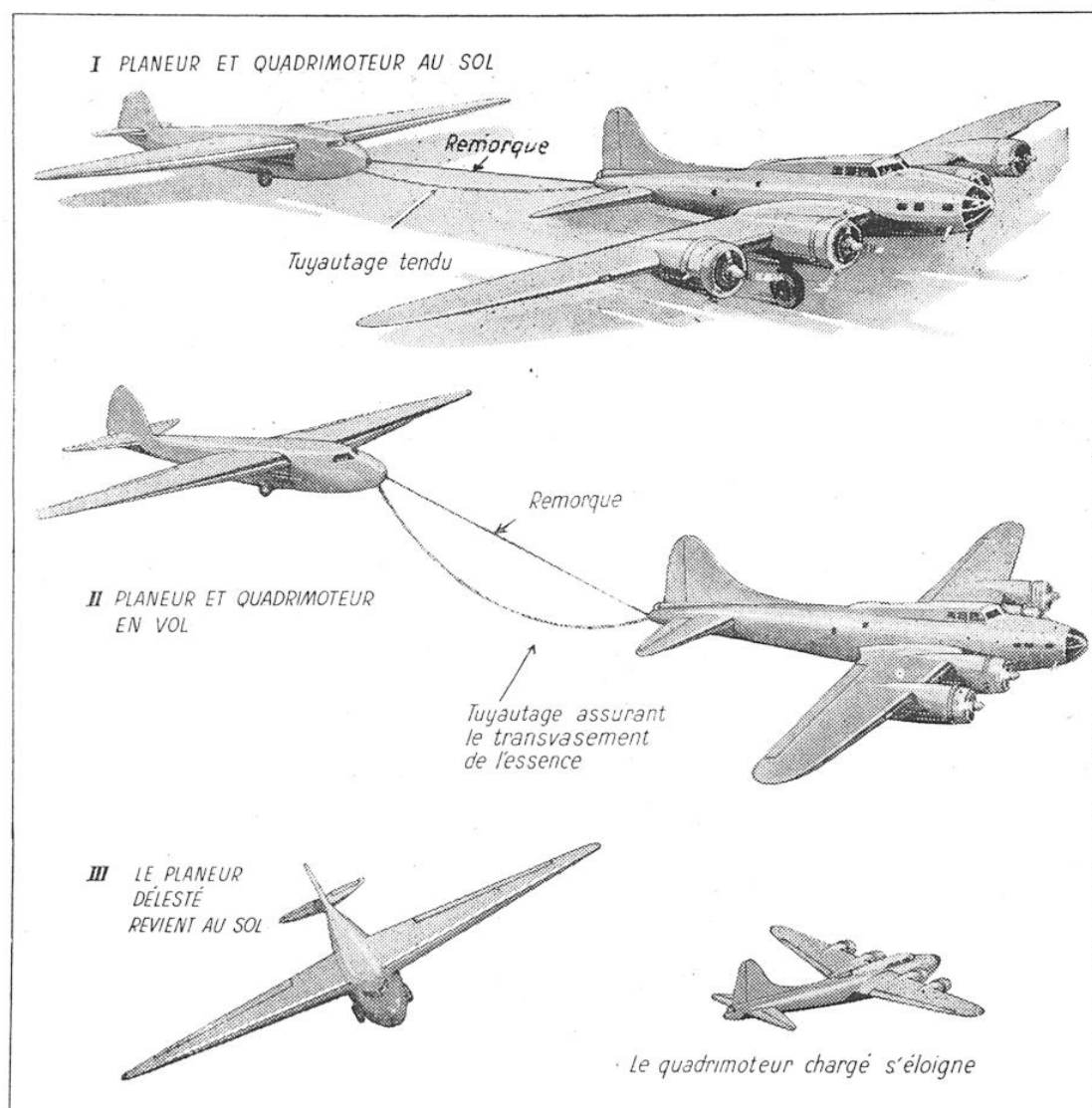
En vol d'une part, au décollage et à l'atterrissage de l'autre, les exigences de l'avion en surface de voilure sont contradictoires. En vol, dans de très larges limites, la surface la plus

faible est la meilleure, et, si l'on n'avait qu'à tenir compte de ce point de vue, il y a longtemps que l'on ne volerait plus que sur des avions chargés à 1 000 kg au moins par mètre carré, au grand bénéfice de la vitesse maximum. Mais la vitesse de décollage ou d'atterrissage est voisine de la vitesse minimum de l'appareil, qui est d'autant plus faible que la surface de voilure est plus grande. Il en est de même, à charge au cheval donnée, de la longueur de décollage qui est un facteur aussi important que la vitesse de décollage en certaines circonstances. C'est l'exigence d'une vitesse de décollage et d'atterrissage acceptable qui impose une limite à la réduction de la surface de voilure. L'idéal serait évidemment la surface de voilure variable (1); la grande surface serait utilisée au décollage et à l'atterrissage, la petite surface en vol. Mais toutes les tentatives faites pour réaliser l'avion à surface variable ont échoué. Le planeur de décollage est, au fond, une des formules de l'avion à surface variable; elle ne résout le problème que partiellement, au décollage seulement.

Pendant longtemps, on a cherché à concilier ces exigences contradictoires en surface de voilure par une amélioration du tracé de l'aile. Ce qui intéresse directement le constructeur et l'utilisateur, ce n'est pas, en effet, la surface de voilure, mais le produit de cette surface de voilure par son coefficient de portance qui, pour un poids d'avion donné, fixe sa vitesse minimum. On commença par la recherche de profils d'ailes à grande portance; malheureusement, les ailes à grande portance se trouvèrent aussi être des ailes à grande résistance. On essaya ensuite de modifier le profil d'aile suivant qu'on était en vol ou au sol; ce fut le triomphe successivement des ailes à fente, des ailes à courbure variable, des volets d'intrados... et des combinaisons différentes de ces diverses solutions. Le résultat fut des plus heureux, puisqu'on parvint à doubler très largement le coefficient de portance de l'aile, en conservant une résistance en vol très satisfaisante. Aujourd'hui, on ne conçoit plus d'avions, militaires ou commerciaux, sans ces dispositifs hypersustentateurs.

(1) Voir : « L'arme nouvelle de la campagne de Crète », dans *La Science et la Vie*, no 290 (oct. 1941).

(1) Voir *La Science et la Vie*, no 226, avril 1936.



T W 16459

FIG. 1. — L'EMPLOI D'UN PLANEUR-CITERNE AUXILIAIRE POUR LE DÉCOLLAGE DES AVIONS LOURDEMENT CHARGÉS

En I, un quadrimoteur décolle d'un terrain exigu en remorquant un planeur qui contient son combustible; en II, le planeur déverse son combustible dans les réservoirs de l'avion; en III, la remorque et le tuyautage d'essence sont largués de l'avion et rentrés dans le planeur qui, allégé, revient au sol par ses propres moyens.

En même temps qu'on améliorait les formes d'ailes, on cherchait à décoller ou atterrir à des vitesses de plus en plus élevées. On s'aperçut qu'on pouvait aller très loin dans cette voie, et les vitesses de décollage et d'amerrissage qui effrayaient les spectateurs des concurrents de la coupe Schneider n'étonnent plus aujourd'hui personne. L'augmentation des vitesses de décollage ne posait guère que des problèmes d'infrastructure; il suffisait d'aménager des pistes de départ ou des plans d'eau assez longs. L'augmentation des vitesses d'atterrissage vint d'abord de l'amélioration des trains d'atterrissage, puis de l'application du freinage sur roues,

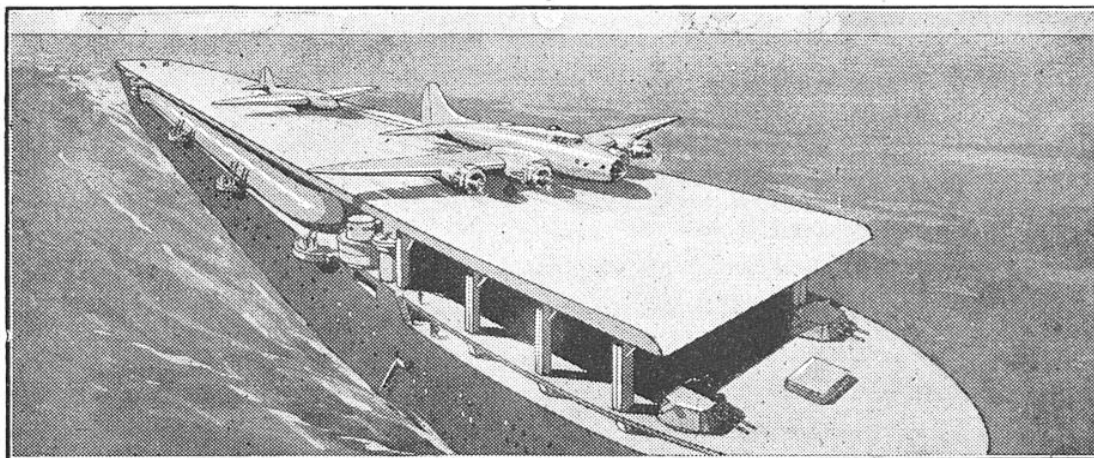
enfin et surtout du remplacement des trains d'atterrissage à roulette de queue par des trains « tricycles », comportant une roue avant dans le nez du fuselage. On fit si bien que le problème de l'atterrissage, qui paraissait le plus difficile, fut au moins aussi bien résolu que celui du décollage. En moins de quinze années, sous l'effet conjugué des dispositifs hypersustentateurs et de l'augmentation admise des vitesses au sol, les charges au mètre carré des bombardiers ont quintuplé; elles atteignent aujourd'hui 250 kg au mètre carré.

Mais cette progression ne va pas sans de graves inconvénients d'ordre militaire. En de

nombreuses régions, les terrains qui conviennent aux avions chargés à 250 kg au mètre carré et même à beaucoup moins sont rares; ils sont bien difficiles à dissimuler à l'aviation adverse. N'est-ce pas faute de terrains pour son aviation que la R.A.F. dut abandonner la Crète pour un illusoire repli sur l'Egypte de ses « chasseurs à grand rayon d'action »? L'inconvénient est au moins aussi grave en ce qui concerne l'aviation embarquée; la plate-forme des porte-avions qui convenait aux appareils de 1920 chargés entre 40 et 50 kg au mètre carré ne suffit plus à l'envol des appareils chargés à 250 kg au mètre carré; l'infériorité de

Sitôt décollé, le planeur déverse par gravité son combustible dans les réservoirs de l'avion, largue sa remorque et son tuyautage de liaison et rentre au terrain où il ne lui reste qu'à recommencer au service d'un autre appareil.

Le planeur de décollage peut donc être conçu comme une variante du ravitaillement en vol, avec cet avantage que l'accrochage en vol, délicat aux vitesses actuelles, surtout de nuit, est évité, mais avec cet inconvénient que l'avion ravitaillé est obligé de fournir lui-même au décollage la puissance nécessaire à l'envol du planeur. Il est donc plus exact de considérer que le planeur transforme au décollage l'avion



T W 16460

FIG. 2. — LE PLANEUR AUXILIAIRE PERMET LE DÉCOLLAGÉ DE GROS QUADRIMOTEURS LOURDEMENT CHARGÉS A PARTIR DE PORTE-AVIONS

performances de l'avion dont les caractéristiques auront été choisies pour s'adapter à la longueur de la plate-forme d'envol est irrémédiable.

Dans ces deux cas et dans de nombreux autres, la difficulté porte sur les conditions du décollage beaucoup plus que sur celles de l'atterrissage. Si puissants que soient les moteurs, ils le sont moins que les freins; la contre-accélération au freinage est à peine inférieure, pour l'avion sur piste bétonnée comme pour l'auto sur route, à l'accélération g de la pesanteur; la puissance des moteurs d'avions n'a pas encore atteint, de loin, la valeur qui suffirait en fin d'envol à leur imprimer cette même accélération, c'est-à-dire à les faire grimper à la verticale. Les longueurs d'envol sont donc très supérieures aux longueurs d'arrêt. Il faut remarquer, en outre, que l'avion militaire atterrit, sans essence et sans bombes, à une charge au mètre carré très inférieure à celle du décollage. Enfin, le système d'accrochage en usage sur les porte-avions et qu'on pourrait sans difficulté appliquer à terre permet le freinage sous une contre-accélération très supérieure à celle du simple freinage sur roues; on peut atteindre, si on le désire, les valeurs de 2,5 à 3 g que l'on emploie lors du lancement par catapulte.

Le planeur auxiliaire de décollage résout parfaitement le problème ainsi posé. Porteur de la presque totalité du combustible, il décharge d'autant l'avion, la réduction étant fonction de la répartition de la charge utile de celui-ci entre essence et bombes; la réduction peut atteindre 40 % pour les raids lointains en surcharge.

ainsi soulagé en un avion de même charge au cheval et de charge au mètre carré réduite, réduite par exemple de 250 kg/m² à 175 kg/m², si l'avion a besoin pour sa mission d'un poids de combustible représentant 30 % de son poids en charge.

La technique du planeur de décollage

Les caractéristiques du planeur de décollage diffèrent profondément de celles du planeur de vol à voile, du planeur de transport, du planeur pour débarquement de troupes.

Le planeur pour vol à voile est essentiellement un appareil à très faible charge au mètre carré (10 à 20 kg/m²) et à très grande « finesse » (25 à 30 (1) sur les appareils de performance); ce sont deux conditions indispensables pour que la composante verticale de sa vitesse, sa « vitesse de chute » en air calme, soit très faible, donc pour qu'il puisse utiliser les moindres « ascendances » (2).

Le planeur de décollage est un appareil de caractéristiques très différentes, qui pourrait sans inconvénient être chargé au taux convenable pour des avions de vitesse modérée, 75 kg/m² par exemple, s'il n'avait à assurer que les seules fonctions de transport entre terrains convenablement aménagés. Son rôle est double. Il fournit d'abord la capacité de loge-

(1) La « finesse » est le rapport entre la « portance » et la « traînée » (ou résistance).

(2) Voir *La Science et la Vie*, no 266, août 1939.

ment qui manque à beaucoup d'avions commerciaux et surtout à la plupart des avions militaires. Mais il augmente en outre la surface de voilure en transformant l'avion commercial ou militaire rapide en un ensemble apte au transport à faible vitesse d'une lourde charge; c'est en somme l'équivalent d'un changement de vitesse. On saisira très bien la différence des deux rôles si on suppose le planeur de transport appliqué à un avion qui n'a qu'une capacité de transport nulle, l'avion de chasse. Un chasseur de 3 000 kg, avec moteur de 1 300 ch, est évidemment incapable de transporter douze hommes à bord pour deux raisons : il n'a pas la place pour les loger, et, l'aurait-il, qu'il s'écraserait sous leur poids au décollage ou à l'atterrissage. Mais il est parfaitement capable de décoller et de remorquer un planeur portant ces douze hommes et pesant dans les 1 200 kg en ordre de vol. Le planeur de transport est un moyen d'utiliser en vue du transport de la charge maximum le moteur puissant d'un avion rapide, tout comme la remorque qu'on accroche derrière une voiture de tourisme en multiplie par deux ou trois la capacité de transport, si l'on accepte de monter les côtes sur une vitesse inférieure.

Le planeur de débarquement tient du planeur de transport, en ce qu'il augmente la capacité de transport de l'avion qui le remorque. C'est ainsi que le Junkers Ju 52, qui portait dix-sept passagers en avion commercial, peut remorquer un train de six planeurs de débarquement du type à huit places utilisé en Crète, soit quarante-huit hommes en supplément; le quadrimoteur Focke-Wulf « Kurier » remorque jusqu'à dix planeurs, soit quatre-vingts hommes. Mais ce type de planeur doit pouvoir atterrir en terrain non préparé, coupé d'obstacles, souvent même accidenté. Il lui faut donc une charge au mètre carré faible; on estime à 34 kg/m² la charge des planeurs employés en Crète. On n'atteint d'ailleurs de telles charges qu'à condition de munir la voilure de volets hypersustentateurs, combinés avec des freins aérodynamiques sur l'extrados et l'intrados de l'aile. La finesse, qualité indispensable du planeur pour vol à voile, n'a qu'une importance secondaire; on en jugera d'après l'envergure des planeurs allemands à huit places qui, avec 21,3 m, n'atteignait même pas l'envergure de certains planeurs monoplaces de performances particulièrement fins.

Le planeur auxiliaire de décollage répond à des conditions très différentes encore. Il peut sans inconvénient être chargé au même taux que l'avion qui le remorque; on verra des planeurs chargés à 150 kg/m². On y trouvera l'avantage d'une voilure de surface faible, donc légère. La finesse a moins d'intérêt encore que sur les types précédents; elle sera du même ordre que celle de l'avion remorqueur. Une autre caractéristique du planeur de décollage

sera son poids élevé; pour emporter l'essence d'un quadrimoteur de 30 tonnes, il faudra des planeurs de 10 tonnes.

La manœuvre d'un planeur de 10 tonnes chargé à 150 kg/m² paraîtra peut-être difficile. En réalité, le décollage d'un tel planeur, muni de tous les dispositifs hypersustentateurs nécessaires, sera aussi aisé que celui de l'avion de même charge au mètre carré. L'atterrissage ne posera aucun problème, car, précisément avec de telles caractéristiques, le poids mort de cette citerne volante pourra être très faible; il dépassera à peine le dixième du poids en charge et atterrira, sous 10 à 15 kg/m², avec la même aisance qu'un planeur de vol à voile.

Les applications du planeur de décollage

À terre, le planeur de décollage pourra servir à faciliter le départ de toute espèce d'avion militaire, de l'avion de chasse monoplace au quadrimoteur de bombardement lointain. Il aura évidemment d'autant plus d'intérêt que la part du combustible dans le poids total de l'avion au décollage sera plus forte; il permettra notamment le départ aisé des expéditions lointaines de bombardement; c'est peut-être à lui que nous devons les premiers bombardements transocéaniques.

Sur porte-avions, son rôle peut être beaucoup plus important. Il permettra l'emploi, à partir de ces bâtiments, de la plupart des appareils utilisés à terre, dont les performances sont aujourd'hui très supérieures à celles des avions embarqués dont on exige le décollage sur 200 à 250 m. Peut-être se modifiera-t-il pour faciliter le départ rapide de l'ensemble des avions embarqués sans exiger des consignes trop strictes pour le retour à bord des planeurs. Si l'on se reporte aux caractéristiques des planeurs de décollage qui viennent d'être indiquées, on observera qu'un moteur auxiliaire de puissance très faible, 100 ch par exemple pour un planeur de 10 tonnes en charge, pourra maintenir le planeur en vol après le délestage de son combustible. On aurait tort de se priver d'un avantage aussi peu coûteux, et le planeur peut ainsi évoluer sous la forme d'un avion léger d'une espèce particulière, l'avion-citerne de 1 000 kg à vide, capable de loger, mais non de sustenter, 9 000 kg de combustible.

Ce sera peut-être également, en raison de sa facilité de transport, la forme qui sera admise à terre. Les planeurs de décollage seraient ainsi un accessoire des escadrilles qui pourraient les accompagner aisément au cours de leurs déplacements et qu'on pourrait même concentrer dans les régions accidentées, ou pour aider les appareils à sortir d'un terrain bombardé ou rendu difficile par les intempéries.

André FOURNIER.

En 1938, la production charbonnière de la France avait atteint 47 570 000 tonnes. En 1941, elle s'établissait à 43 200 000 tonnes (Moselle non comprise). Rappelons que le bassin lorrain produisait en moyenne 5 millions de tonnes et qu'en 1938 nous importions 23 millions de tonnes de charbons divers.

LES NOUVELLES FIBRES DE SYNTHÈSE VONT-ELLES RÉVOLUTIONNER L'INDUSTRIE TEXTILE?

par A. MILHUSER

Il y a quelques années ont apparu aux Etats-Unis les premières fibres textiles vraiment synthétiques, en particulier le nylon. De par leurs propriétés, finesse, résistance spécifique, légèreté, elles dépassent de très loin les fibres naturelles et artificielles; aussi ont-elles immédiatement trouvé outre-Atlantique le plus vaste succès. Le grand trust de l'industrie chimique Du Pont de Nemours, qui créa le nylon, le fabrique en trois usines, deux à Seaford (Delaware), une à Martinsville (Virginie). Dans la seule année 1940, 35 millions de paires de bas de nylon ont été vendues, et ce chiffre devait être doublé en 1941. D'autres applications se développent, depuis la fabrication des poils de brosses ou de fil chirurgical, jusqu'à celle des parachutes. Déjà, malgré son prix encore élevé et étant données ses qualités précieuses, le nylon et les fibres qui lui sont apparentées se posent en concurrentes des fibres naturelles, surtout de la soie, et les quasi-monopoles de certains pays pour la fourniture de la soie, de la laine ou du coton risquent de se trouver ébranlés. Encore l'industrie chimique pour la création de fibres nouvelles, et l'industrie textile pour la mise au point de méthodes de filature et tissage inédites adaptées aux textiles nouveaux, sont-elles loin d'avoir dit leur dernier mot.

Molécules et macromolécules

DES 300 000 combinaisons de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote que connaît la chimie organique, la plupart ont des poids moléculaires compris entre 14 et 3 000, et contiennent de 1 à 200 atomes de carbone par molécule (1). Cependant, certains corps organiques s'écartent fortement de ce type, et possèdent des poids moléculaires de l'ordre de 100 000 : le caoutchouc, par exemple, avec 68 000 à 100 000, groupe dans sa molécule au moins 13 000 atomes; la cellulose dépasse encore ces valeurs, avec un poids moléculaire d'environ 120 000, et environ 16 000 atomes.

Les méthodes employées par la chimie organique pour les premiers de ces corps se trouvent parfois en défaut pour les seconds. Une des difficultés principales résulte de l'impossibilité de déterminer par les procédés usuels des poids moléculaires aussi élevés. Ces poids moléculaires ne peuvent être connus qu'avec une certaine approximation; on ne sait si telle cellulose doit s'écrire $(C_6H_{10}O_5)_{750}$, ou $(C_6H_{10}O_5)_{752}$, et l'on touche ici une première différence entre les *micromolécules*, dont nous

connaissions les formules exactes, et les *macromolécules*.

Une autre différence non moins importante, et d'un tout autre ordre, réside dans le fait que les macromolécules d'un produit à haut poids moléculaire, ne sont pas, à la différence des micromolécules classiques, égales et de même grandeur. Les substances macromoléculaires naissent généralement par polymérisation d'une molécule fondamentale ou « monomère » (c'est-à-dire par union d'un nombre plus ou moins grand de ces molécules, pour donner une molécule unique géante). Mais cette polymérisation peut donner naissance à toute une série de produits plus ou moins polymérisés, et plus ou moins différents dans leurs propriétés physiques. De tels produits sont des *polymères-homologues*; et de même que dans les combinaisons homologues, c'est principalement la taille de la molécule qui détermine les propriétés physiques. On comprend facilement que lorsque le degré de polymérisation est très élevé, une différence notable en valeur absolue n'entraîne plus que des variations très faibles dans les propriétés. Un exemple frappant est celui des polymères de l'isoprène C_5H_8 . Il existe des différences entre le caoutchouc $(C_5H_8)_n$ env. 1000 et la balata $(C_5H_8)_n$ env. 700; la meilleure preuve en est que l'on connaissait les deux produits bien avant leurs formules approximatives. Mais quelle méthode nous permettrait actuellement de séparer un caoutchouc $(C_5H_8)_{1000}$ d'un autre caoutchouc $(C_5H_8)_{1001}$, si tant est que nous soyons capables de déterminer seulement leurs poids moléculaires avec cette rigueur? A la vérité, aucune. Car les propriétés de ces deux corps

(1) On sait que le poids moléculaire d'un composé s'obtient en multipliant le poids atomique de chaque constituant par le nombre d'atomes présents et en additionnant le tout. Exemple : l'alcool éthylique a pour formule C_2H_5O . Le poids moléculaire est donc $12 \times 2 + 1 \times 6 + 16 = 46$. Rappelons que le poids atomique de l'oxygène est fixe par définition à 16; dans ces conditions on a 1 pour l'hydrogène, 12 pour le carbone 14 pour l'azote, etc.

sont si peu différentes qu'un tel mélange est, à proprement parler, inséparable. Et c'est cette propriété qui permet de définir les *macromolécules* comme ces grandes molécules dont les membres voisins d'une série (homologues ou polymères homologues) diffèrent suffisamment peu pour que la séparation du mélange soit impossible.

Les polymères supérieurs et leurs macromolécules sont parmi les derniers objets que s'est donnés la chimie organique. Et déjà, sur le double plan de la science pure et de la science appliquée, de grands résultats ont été atteints.

Les polymères supérieurs dans la chimie

Il y a peu de temps encore, les polymères supérieurs n'étaient guère connus que comme matériaux de construction employés par les organismes. Aujourd'hui, on en réalise de plus en plus par synthèse, et il ne se passe guère de semaine que l'on en ait construit un nouveau, souvent important scientifiquement ou techniquement; chacun a entendu parler de *buna*, de *nylon*, de *néoprène*, de *perspex*, de *trolitul*; cette avalanche de dénominations commerciales (d'ailleurs plus ou moins fantaisistes), démontre, à défaut d'autre chose, que les polymères supérieurs synthétiques ont fait leur entrée dans la pratique.

Parallèlement, se poursuit l'édification de leur chimie particulière. Car il s'agit non seulement de créer des produits aux propriétés définies et utiles, mais aussi d'établir les lois générales qui relient ces propriétés à leur structure moléculaire et surtout à leurs fonctions, comme fit la chimie organique « classique » depuis la seconde moitié du XIX^e siècle. D'abord édictées sous forme d'hypothèses, certaines règles, résistant victorieusement au feu d'une expérimentation toujours plus poussée, prirent ainsi forme et force de lois; d'autres ne furent pas vérifiées par les faits, et sont aujourd'hui oubliées. Celles qui nous sont parvenues, d'ailleurs, évoluent, se ramifient et se précisent. C'est ainsi que l'on connaît aujourd'hui les combinaisons qui confèrent à une molécule des propriétés tinctoriales, ou explosives, ou narcotiques; les groupes dont la présence entraîne la solubilité dans l'eau, etc. Aux lois qualitatives se sont ajoutées des lois quantitatives, et aujourd'hui l'ensemble représente un édifice solide et imposant.

La chimie des polymères supérieurs n'a pas encore atteint ce stade de son développement, et n'est encore capable de formuler, en ce qui concerne la relation de la structure et des fonctions d'une macromolécule à ses propriétés, que des « règles préliminaires » purement qualitatives, et encore largement teintées d'hypothèse.

Il ne paraît pas inutile, cependant, devant l'importance chaque jour croissante de cette

nouvelle branche, d'examiner avec le professeur Mark les variables les plus importantes et leur influence sur le comportement du polymère.

Structure et propriétés des polymères supérieurs

La première possibilité d'agir sur les propriétés d'un polymère consiste évidemment dans le *choix du monomère*. Celui-ci peut être aliphatique ou aromatique (1), il peut avoir une ou plusieurs doubles liaisons, être un hydrocarbure, une cétone, un ester, etc. Parmi les corps les plus importants, il faut citer : comme hydrocarbure, le butadiène C_4H_6 , dont le polymère est le caoutchouc synthétique *buna* (le

butadiène est, on le voit, très proche de l'isoprène C_5H_8 , monomère du polyisoprène ou caoutchouc naturel); parmi les esters, l'acétate de vinyle, parmi les chlorures, le chlorure de vinyle, base de polymères intéressants pour le textile.

Les propriétés des polymères supérieurs dépendent aussi, et très largement, de la *longueur de la chaîne carbonée principale*; ou, pour être plus précis, de la *longueur moyenne* de cette chaîne, puis-

que aussi bien les macromolécules d'un même corps présentent des différences de longueur. C'est ainsi qu'une cellulose de synthèse $(C_6H_{10}O_5)_n$ ne présente pas les mêmes caractères qu'une cellulose naturelle $(C_6H_{10}O_5)_{750}$. La longueur moyenne des chaînes, ou, si l'on préfère, le degré de polymérisation, dépend essentiellement des conditions de la réaction : haute ou basse température, présence ou absence de catalyseur, etc.

La *flexibilité interne de la chaîne carbonée* principale détermine certaines propriétés des macromolécules. Les longues chaînes possèdent une certaine mobilité interne due à la libre rotation autour des liaisons de valence principale. Cependant cette flexibilité peut être réduite par des radicaux substitués, des doubles liaisons, des chaînes fermées, etc. Dans la cellulose, cette propriété est peu marquée, dans le caoutchouc au contraire elle se manifeste fortement.

Enfin, et particulièrement lorsque la molécule monomère contient plus d'une double liaison, il est possible de créer, *entre les chaînes*, des liaisons de valence principale. Ces liaisons renforcent notablement la « compacité » de la structure, au détriment des propriétés « plastiques ». L'« indice de nouage » qui caractérise quantitativement ces liaisons, et qui exprime leur nombre pour 100 liaisons alignées, varie des environs de zéro pour la cellulose et le caoutchouc brut, à 5 ou 10 pour le caoutchouc non vulcanisé, à 10 ou 20 pour le caoutchouc vulcanisé et le « buna », à 50 pour la bakélite.

(1) C'est-à-dire à chaîne de carbone ouverte ou fermée.

Produits	Résistance à la traction kg/mm ²
Chanvre.	100
Sisal.	60
Soie.	35
Coton.	28
Viscose.	25
— bien orientée.	80
Acétate de cellulose.	18
Acétate de cellulose bien orienté.	100
Caoutchouc.	15-20
— bien orienté.	80

TABLEAU I. — RÉSISTANCE A LA TRACTION DE QUELQUES PRODUITS TEXTILES

Si les principaux facteurs capables de déterminer les propriétés d'un polymère supérieur sont connus, nous devons reconnaître notre incapacité partielle à en déterminer l'influence précise sur telle propriété particulière. Certes, on sait, pour prendre un exemple, que la propriété « résistance à l'eau » est favorisée par la présence des substituants $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5$, et gras, autrement dit par la présence de substituants alcoylés ou arylés; par la rigidité des chaînes; par un « indice de nouage » élevé; et défavorisée au contraire par les groupes OH , NH_2 , OCH_3 , HSO_3 , COOH , par la flexibilité des chaînes et un indice bas. On peut donner des indications analogues pour d'autres propriétés, telles que la résistance à la chaleur, à l'huile, aux chocs, à l'abrasion, ou l'élasticité.

Et c'est ainsi que s'édifie cette nouvelle chimie des polymères supérieurs dont on peut prévoir qu'elle nous mènera très prochainement à la connaissance de ce qu'il faut faire pour obtenir par synthèse des macromolécules aux propriétés prédéterminées avec une faible approximation.

Polymères supérieurs et fibres textiles

Ce qui précède laisse entrevoir le vaste champ qui s'ouvre à cette chimie nouvelle dans le domaine des textiles, car certaines des propriétés que l'on sait susciter ou diriger dans les macromolécules sont précisément de celles que l'on demande aux fibres textiles. Mais une macromolécule n'est pas une fibre; et si certaines propriétés d'une fibre sont moléculaires, d'autres sont le fait de la fibre elle-même, c'est-à-dire d'un complexe de macromolécules associées de quelque façon. La discrimination est d'ailleurs souvent malaisée, et l'état actuel des études entreprises ne permet pas encore l'établissement de lois. Cependant l'examen des produits naturels fournit de précieuses indications.

La résistance à la traction constitue l'une des plus désirables parmi les qualités d'une fibre textile. Si nous considérons le tableau I, nous constaterons immédiatement une propriété commune aux fibres possédant une forte résistance à la traction : la grande longueur et le bon alignement des macromolécules.

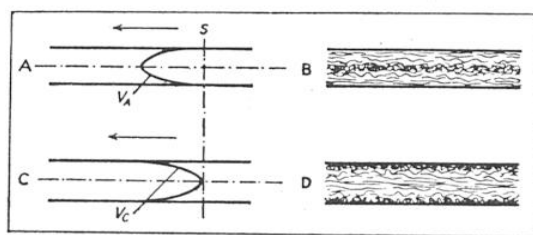
On peut donc conclure avec Eric K. Rideal : « Ainsi, quelque système macromoléculaire que nous préparions, nous pouvons être sûrs qu'il lui faut avoir un poids moléculaire élevé, et qu'il doit être capable d'un bon alignement. »

Si l'on considère à présent une autre propriété également importante, qui est la résistance à la flexion, on en vient à souhaiter que la « fibre théorique idéale » présente au contraire un certain « désordre », un net « manque d'alignement », dans sa partie périphérique.

En effet, le travail à la flexion provoque une compression et un allongement, et ceux-ci ne seront facilement réversibles que si les zones intéressées présentent un certain enchevêtrement macromoléculaire.

On peut donc dire, à peu de chose près, ce que devrait être une fibre textile idéale : un système macromoléculaire à poids moléculaire élevé, associé en fibres, avec un parfait alignement des macromolécules au voisinage de l'axe et un arrangement quelque peu désordonné à la périphérie. A ces qualités, il faut évidemment ajouter une résistance suffisante à l'eau, à la chaleur et aux autres agents auxquels la fibre sera appelée à faire face par sa destination particulière.

L'orientation des macromolécules dans les fibres naturelles et dans les fibres artificielles



T W 16470

FIG. 1. — L'ORIENTATION DES MACROMOLÉCULES DANS LES FIBRES ARTIFICIELLES

On voit en A la courbe V_e des vitesses d'écoulement dans une fibre éjectée par une filière. L'effet sur l'orientation est représenté en B, qui schématise une coupe axiale et longitudinale de la fibre : les macromolécules sont alignées dans la zone périphérique et désordonnées au centre. La répartition de la coupe D assurerait à la fibre des qualités supérieures, du fait d'un alignement parfait au voisinage de l'axe et imparfait à la périphérie. V_e serait une courbe de vitesses donnant cet effet, mais actuellement impossible à obtenir. Cette figure montre l'imperfection du principe actuel de filage des suspensions macromoléculaires.

transversalement, est maximum à la périphérie et nulle sur l'axe. Le résultat d'un tel écoulement est évidemment la production d'une fibre hétérogène, convenablement alignée aux parois, et très imparfaitement dans la partie centrale. Or cette conformation est exactement contraire à celle que l'on souhaiterait à la fibre idéale. Et les propriétés insuffisantes des premières fibres artificielles obtenues tenaient certainement à cette répartition défectueuse des macromolécules plus qu'à tout autre vice. Il ne faut pas voir ailleurs l'extraordinaire amélioration constatée sur certaines fibres étirées avant coagulation, l'étirage rétablissant quelque peu l'alignement des macromolécules, ou tout au moins le corrigeant partiellement.

Pourquoi, connaissant les imperfections du filage actuel, et la supériorité des méthodes de la nature, n'a-t-on pas imité ces dernières? C'est surtout parce que nous ne les connaissons pratiquement pas. Il est peu douteux que si leur mécanisme était élucidé, l'homme trouverait quelque moyen de s'en inspirer. Aussi peut-on prédire que l'étude approfondie des procédés de la nature donnera certainement naissance à un principe de filage différent du principe actuel.

Il existe un moyen au moins d'aligner les systèmes macromoléculaires, et c'est un procédé convenable de cristallisation. Nous igno-

rons s'il est bien exact que le polyprène (caoutchouc) se compose de longues unités macromoléculaires en perpétuel état d'enroulement et de déroulement (mouvement « macrobrownien »), capables de prendre une forme plus ordonnée sous l'effet de la traction. Nous savons cependant que du caoutchouc étiré, refroidi et cristallisé, n'est plus « élastique » à la façon du caoutchouc mais bien à la façon d'un corps normal. Pour adopter un langage commode, le produit a perdu le « genre caoutchouc » pour prendre le « genre cellulose », mais en même temps, ses macromolécules ont subi un alignement très net et sa résistance à la traction a augmenté considérablement (voir tableau I). Or Rideal observe des phénomènes étrangement semblables sur la protéine de la glande du bombyx, qui peut, elle aussi, exister à l'état « genre caoutchouc », et passer à l'état « genre cellulose » après 10 ou 20 secondes d'extension, et cristallisation. La cristallisation sous tension est-elle le mode de filage du ver à soie et, plus généralement, de la nature? Les prochaines années auront à résoudre la question et à nous donner des méthodes de filage améliorées. Il n'est pas trop hardi de prévoir le jour où l'homme dépassera la nature, et sera capable de préparer la « fibre idéale », composite, ayant une âme « genre cellulose » et une périphérie « genre caoutchouc », avec des propriétés que l'on ne peut pas même soupçonner.

La formation des macromolécules

Pour préparer des fibres synthétiques, il faut, on l'a vu plus haut, filer une suspension de macromolécules aussi longues que possible. Si l'on ne connaît pas encore le mode de filage le plus approprié, du moins commence-t-on à savoir produire des macromolécules convenables.

Grossièrement, on peut considérer les réactions de polymérisation comme des réactions « en chaîne ». On sait que dans une telle réaction, une première molécule est rendue réactive d'une façon ou d'une autre, réagit sur une seconde, que le « dimère » ainsi produit réagit avec une troisième jusqu'à ce que quelque processus arrête les opérations et mette une fin à la croissance de la macromolécule.

De telles molécules doivent évidemment pouvoir se combiner en laissant libre un groupe réactif : il leur faut donc posséder deux de ces groupes, ou avoir au moins une double liaison qui puisse être réactive.

Parmi les manières dont une macromolécule peut voir finir sa croissance, les « collisions » sont les plus fréquentes. Une chaîne en formation peut entrer en collision avec une autre, ou avec une molécule monomère. C'est pourquoi on cherchera à réduire la probabilité de telles rencontres en évitant des concentrations par trop fortes.

Mais une telle collision, en mettant fin à la croissance de la chaîne en développement, peut déclencher la formation d'une chaîne nouvelle à partir de la molécule monomère rencontrée. Des solvants peuvent, dans certains cas, participer à ces *translocations*. Quand à leur mécanisme exact, il n'est pas connu à l'heure actuelle, mais dans certains cas au moins apparaît un transfert d'hydrogène (étude de la polymérisation des oléfines par le Professeur Rideal). Une meilleure connaissance du processus permettrait de prévoir avec plus de certi-

tude quels systèmes seront exempts de ces mécanismes. Mais dès à présent les réactions de condensation, telles que : phénol-méthanal, acide-alcool, acide-amine, semblent les plus indiquées pour l'obtention de macromolécules aux grandes dimensions.

Il convient d'ajouter que certains laboratoires industriels possèdent sur ces questions des connaissances plus précises, mais qu'ils ne les divulguent pas encore. Dès à présent cependant, ils en ont fait la preuve : la plus remarquable peut-être est la réalisation du nylon par la Compagnie américaine du Pont de Nemours.

Fibres synthétiques et fibres artificielles

En 1938, la Compagnie Du Pont de Nemours annonçait la mise au point de la *première fibre textile synthétique*. A n'en pas douter, cette date sera l'une des plus en vue dans l'histoire future de l'industrie : la date de naissance du nylon.

Pourtant, dira-t-on, il y a beau temps que l'on connaît des fibres issues non de la nature, mais du travail de l'homme : N'y a-t-il pas plus de cinquante ans que Chardonnet fabriqua sa « soie artificielle »? Et depuis, n'entendons-nous pas parler — et chaque jour davantage — de soie végétale, de fibres synthétiques, de rayonne, de fibranne enfin, sans compter les dénominations commerciales où la fantaisie le dispute à l'obscurité?

La nouvelle terminologie officielle nous aidera à faire le jour sur cette question. A l'heure actuelle, seuls les termes de *rayonne* et de *fibranne* (suivis ou non de l'indication du procédé de fabrication), sont admis.

Rayonne désigne les textiles artificiels à fibres continues (1). *Fibranne* ceux dont les fibres sont courtes et assemblées par torsion; les autres dénominations sont illégales et doivent disparaître.

Cependant, les rayonnées ni les fibrannes ne sont des fibres *synthétiques*, et il est juste que ce qualificatif, appliqué jusqu'à une date récente, leur soit retiré. Car la cellulose ou l'acétate de cellulose dont elles sont constituées n'ont pas été obtenus par synthèse, mais simplement empruntés à la nature sous une forme différente. En gros, fabriquer de la rayonne ou de la fibranne n'est pas autre chose que de convertir en fibres de cellulose ou d'acétate de cellulose une cellulose qui n'était pas sous forme de fibres (bois), ou qui était sous forme fibreuse peu appréciée (« linters » de coton).

Une fibre textile véritablement synthétique doit être fabriquée par synthèse, eût dit M. de La Palice. C'est-à-dire qu'elle doit être obtenue par la combinaison de corps élémentaires; ou tout au moins par la combinaison de corps dont la synthèse propre est déjà connue. C'est précisément ce qui a été fait, et pour la première fois, pour le nylon.

Les producteurs de cette fibre se rendent compte à tel point de la nouveauté du fait, qu'ils insistent pour que le nom en soit écrit avec une minuscule pour initiale; ils désirent marquer ainsi qu'il ne s'agit pas d'une dénomination nouvelle pour un produit d'une catégorie connue, mais d'un mot couvrant un

(1) Voir *La Science et la Vie*, no 217, juillet 1935, page 26.

objet aussi différent de la rayonne que l'est la soie ou le coton.

Le nylon

« Le nylon, lit-on dans la première documentation publiée par la Compagnie Du Pont de Nemours, a pour point de départ des produits élémentaires que l'on condense sous forme de polymère linéaire, auquel on donne la forme de fibres par filage sous pression et étirage. Chimiquement, c'est une polyamide, et de ce fait elle se rapproche des protéines comme la soie. »

Les brevets Du Pont montrent que si la condensation d'acides aminés avait déjà été réalisée, ce processus n'avait pas été poussé suffisamment pour que les macromolécules fussent capables de s'associer en fibres à la suite du filage sous pression du produit; ils mettent en relief également l'influence d'un traitement thermique suffisant; le choix des acides aminés n'est pas sans importance, — ce qui précède le laissait entendre par avance — : ils sont choisis tels que le groupe aminé NH_2 s'y trouve aussi éloigné que possible du groupe fonctionnel acide COOH . La polymérisation est avantageusement conduite en atmosphère d'azote, et l'acide aminé dissous dans un monophénol.

C'est ainsi qu'on peut opérer de la façon suivante : 10 parties de 9. amino-nonanoïque $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$ et 12 parties de xylénols mélangés sont chauffées à 215° , de l'azote barbotant dans le mélange. Au bout de 20 minutes, la distillation visible de l'eau est achevée, mais on poursuit le chauffage pendant 2 heures, la pression est réduite à 5 mm, pendant que les xylénols distillent complètement. Le résidu est une masse dure, opaque et très compacte. Pour le filage, la masse, fondue, est expulsée sous une pression de l'ordre de 4 kg par des filières à orifices de 0,47 mm de diamètre, maintenus à 210°C par des blocs de cuivre chauffés électriquement. Le filament est envidé sur un tambour à raison de 21 mètres/

minute. On remarquera ici l'étirage considérable, de l'ordre de 300 %, dont l'influence sur l'orientation des macromolécules a été soulignée plus haut.

Les produits de cette catégorie ont été baptisés « superpolyamides ». La composition de celui-ci est : $\text{NH}(\text{CH}_2)_x\text{CO} \cdot \text{NH}(\text{CH}_2)_y\text{CO} \cdot \text{NH}(\text{CH}_2)_z\text{CO} \dots$

Il y a avantage à recourir, au lieu d'un seul acide aminé, à un mélange

diamine-diacide. Dans ce cas, les deux groupes aminés peuvent se trouver sur une même molécule, et les deux groupes fonctionnels acides sur une autre. D'une façon générale, la réaction est l'action de $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_x\text{NH}_2$ sur $\text{COOH}(\text{CH}_2)_y\text{COOH}$, où x est plus grand que 4 et y plus grand que 3 (conditions nécessaires à la formation de polymères). Ce procédé donne des fibres d'une finesse et d'une résistance tout à fait extraordinaires : on peut le réaliser au moyen de l'hexaméthylène diamine et de l'acide adipique — mélangés à des xylénols à 220° , et chauffés pendant sept heures ils sont précipités dans l'alcool.

Sans entrer dans trop de détails, on peut indiquer jusqu'à

quel point les méthodes ont été dès à présent perfectionnées : on isole maintenant les sels de la diamine et du diacide en une opération séparée. On peut de la sorte les purifier par recristallisation. D'autre part, leur stabilité est plus grande que celle des produits initiaux, ce qui permet de les stocker jusqu'au moment de la polymérisation.

Vinyon, vinyarn, fibre 66 et autres

Le nylon a été la première fibre synthétique; mais déjà il n'est plus la seule. L'étude détaillée de ses sœurs cadettes n'a pas sa place ici.

Mais il faut au moins citer le vinyon, obtenu par filage en air chaud d'une solution à 23 % de résines polyvinyliques dans l'acétone; le filage se fait jusqu'à 250 mètres/minute. Stocké sur bobine, et tordu au continu à anneaux. le

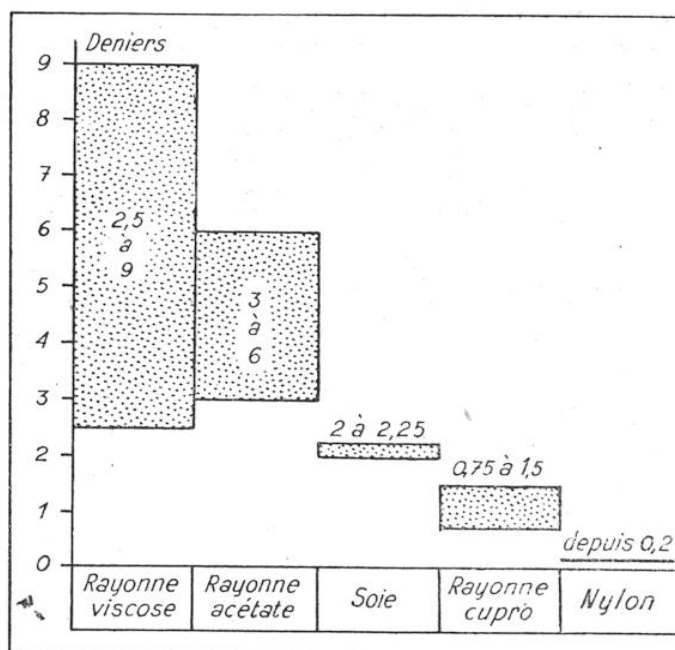


FIG. 2. — FINESSE COMPARÉE DES FIBRES DE RAYONNE, DE SOIE ET DE NYLON

Ces finesses, exprimées en « deniers », indiquent le poids en grammes de 9 000 m de fibre. On voit que le nylon peut se filer quatre fois plus fin que la rayonne « cupro »; onze fois plus que la soie; treize fois plus que la viscose; 15,5 fois plus que l'acétate. Ces rapports, valables pour la finesse limite en deniers, ne sont pas ceux qui régissent les diamètres correspondants : la finesse, exprimant le poids par unité de longueur, varie comme le produit de la densité par le carré du diamètre. A densité égale, les diamètres seraient donc entre eux comme les racines des finesses.

fil est étiré à 140 % dans l'eau à 65° C, puis bobiné à la façon classique.

Une impressionnante floraison de brevets tout récents montre combien la question est actuellement travaillée de tous côtés. Mais les propriétés de ces fibres nouvelles venues justifient-elles cette vogue avant la lettre? Certes oui, et l'on en jugera sans peine.

Les propriétés des fibres synthétiques

L'annonce de ces propriétés a été reçue

quées à titre documentaire, car pour les fibres non naturelles, on en est largement le maître. La limite inférieure par contre exprime bien les possibilités limites (actuelles) de la fibre : on conçoit très bien que la rayonne au cuivre, ou « cupro », capable de se filer très fin, mais coûteuse, ne puisse étendre son champ d'application aux gros deniers, où elle serait battue par les rayones moins coûteuses; de même que la viscose, plus commune, cherchera à abaisser son denier-limite pour concurrencer la rayonne au cuivre. Si donc nous prenons pour unité le denier moyen de la soie, les deniers-

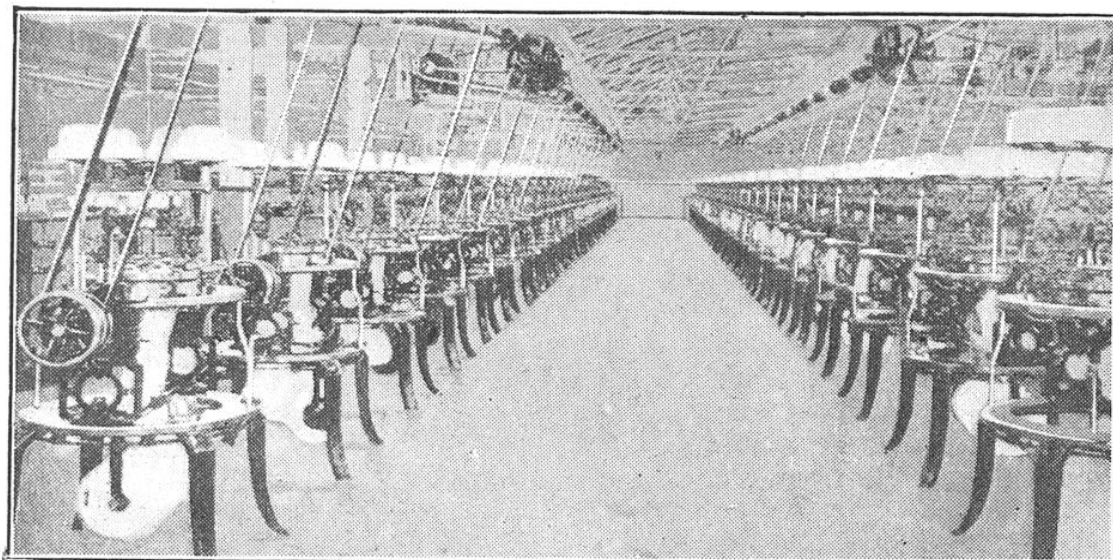


FIG. 3. — TRICOTAGE MÉCANIQUE DE SOIE AUX ÉTATS-UNIS

T W 16472

L'industrie de la bonneterie est extrêmement développée aux États-Unis, où elle n'a cessé de croître depuis 1929. Cet état de choses a fourni un excellent terrain de départ au nylon, qui, après deux ans de lancement, jouissait déjà à la veille de la guerre d'une faveur marquée malgré son prix élevé. La figure permet de se faire une idée de la puissance de certaines entreprises américaines intéressées aux premiers développements du nylon.

avec scepticisme au début, avec stupeur ensuite lorsqu'elles furent confirmées. C'est que, — sur certains points au moins — elles dépassent de très loin les fibres naturelles et les fibres artificielles. C'est donc à deux titres divers mais également importants que leur naissance mérite de faire date.

L'une des qualités les plus recherchées dans les fibres textiles est la *finesse* . Cette propriété, par suite du regrettable manque de normalisation qui règne dans cette industrie, s'exprime de façon différente suivant la nature de la fibre (titre métrique, denier, etc.). C'est le *denier* (1) qui prévaut en matière de soie et de rayonne; et comme c'est encore de ces fibres que les fibres synthétiques sont le plus voisines morphologiquement, il constitue, en attendant mieux, l'unité la plus indiquée pour les y comparer.

La figure 2 montre l'échelonnement des deniers courants pour les principales fibres de ces classes. Les limites supérieures ont été indi-

(1) Le denier, qui exprime par définition le poids en 1/20 de g de 450 m de fil ou de fibre, est donc aussi, et plus simplement, le poids en g de 9 000 m de fil ou de fibre.

limites des rayones et du nylon s'exprimeront par les nombres :

Rayones	Acétate	1,4
	Viscose	1,2
	Cuivre	0,35
Nylon		0,09

Mais il y a mieux : à cette finesse record, le nylon ajoute une *résistance spécifique* inégalée, et qui dépasse du double celle de la soie.

Cette grandeur, égale à la charge de rupture rapportée à la finesse, et exprimée en grammes par denier, est représentée pour la soie, les rayones, et les fibres synthétiques, par la fig. 4. Bien que les valeurs ne puissent être données qu'à titre indicatif, elles se passent de tout commentaire. Il n'existe pas de rapport exact entre ces ténacités spécifiques et les résistances en kg/mm². Mais en prenant pour base la résistance de rupture en kg/mm² de la soie d'après Mark et Meyer, il semblerait que la résistance du nylon fût du même ordre que celle de l'acier.

Il est clair qu'une *faible densité* est intéressante pour toute fibre nouvelle : à poids égal de matière, on produira plus de fil. de

tissu ou de tricot. A volume égal, les fils, les vêtements, les bas et autres seront plus légers : or le nylon est le moins dense des textiles, avec un poids spécifique à peine supérieur à 1 (1).

Un point de fusion élevé enfin n'est pas sans importance : et là encore le nylon dépasse toutes les fibres connues antérieurement.

Si l'on ajoute une bonne résistance à de nombreux agents fortement nuisibles aux textiles usuels, on comprendra mieux encore l'importance de la fibre nouvelle, — qui, par surcroît, est peu froissable (« élasticité de forme »).

La « fibre 66 » possède des propriétés assez voisines de celles du nylon; le vinyon et le vinyarn, avec quelques différences, ne s'écartent pas beaucoup de ce type. Toutes ces fibres sont largement insensibles aux acides, aux bases, à de nombreux solvants, et aux moisissures.

Les usages des fibres synthétiques

Si l'on avait écrit en 1889 un chapitre sur « les usages de la soie artificielle » (puisque ce serait ainsi qu'il se fût intitulé), on n'eût pas manqué de prédire, au mieux, que la nouvelle venue se substituerait partiellement à la soie dans ses applications. On rirait aujourd'hui d'une telle prophétie; les inventions, sorties du cerveau humain, vivent leur vie propre et se soucient peu de leur destination primitive. Les « soies artificielles » sont devenues les rayonnées, qui vivent en bonne intelligence avec la soie; la famille s'est enrichie, des fibrannes qui se combinent avec le coton et la laine (ce qui nous est bien secourable aujourd'hui).

Dès à présent cependant, le champ d'application des fibres synthétiques paraît extrêmement étendu.

Avant tout, le nylon et ses semblables suivront les premiers pas des rayonnées en s'élançant sur les traces de la soie. Ce mouvement est même entamé, on le verra plus bas, au moins aux Etats-Unis. Il faut dire à ce sujet que les fibres synthétiques se prêtent particulièrement bien à la « bonneterie type soie », et donnent des tricotés non seulement résistants, mais indéformables (voir fig. 5). Il y a donc

certainement des possibilités de développement de ce côté.

Mais dès 1938, la Compagnie Du Pont proposait et, pour une partie, avait mis au point, des usages nombreux et variés dans un tout autre ordre d'idées.

Filés en très grosses fibres, ces textiles peuvent fort bien servir à des fins non textiles : lignes et racines pour la pêche, « boyaux » de raquettes de tennis, fil chirurgical, poils de brosses et plus spécialement de brosses à dents (« Exton »).

Mais ces polymères supérieurs sont susceptibles d'être employés d'autres façons encore que sous forme de fibres, fines ou grosses; et c'est encore une foule d'usages que l'on peut prévoir : films, produits d'emballage, matières plastiques, produits pour le revêtement et pour l'appât de tissus, n'épuisent certainement pas la liste.

La production actuelle

C'est en décembre 1938 que « démarra » l'usine de Delaware (U. S. A.), la première au monde à fabriquer le nylon. Le département « rayonnées » de la Compagnie Du Pont avait préalablement créé une division « nylon » qui ne s'était pas vu attribuer moins de 8 millions de dollars pour la création des premiers assortiments de l'usine.

Le passé industriel du nylon est donc court, et si l'on tient compte du fait que depuis quelque temps les renseignements sur sa fabrication, qui arrivaient péniblement dès 1940, sont du do-

maine des secrets de guerre, on concevra qu'il soit difficile de donner des précisions. Une chose cependant est certaine : dans les dernières années, l'Amérique a produit et mis en vente des bas, des sous-vêtements, des « crins » de nylon; et ces produits — coûteux, certes — étaient hautement appréciés.

Pourquoi le nylon a-t-il marqué d'emblée une préférence pour la bonneterie? Pour deux raisons, semble-t-il. Avant tout, il ne fait pas de doute que les premières formes de nylon obtenues se prêtaient bien au tricotage; les bas en particulier, faits de fil à forte torsion, étaient solides, élastiques, indéformables et relativement indémaillables par rapport aux bas de soie. Mais aussi le nylon est né en Amérique, et l'Amérique est le pays de la bonneterie de soie (fig. 3). De 1929 à 1937, la consommation

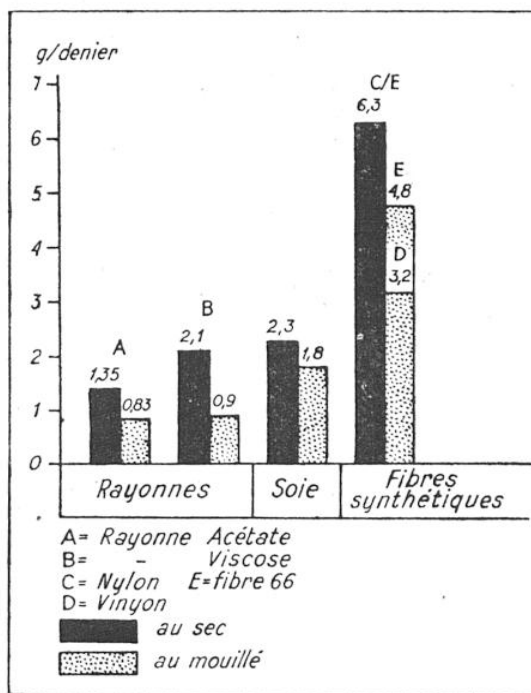


FIG. 4. — RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE DE LA SOIE, DES RAYONNÉES ET DES NOUVELLES FIBRES POLYMÉRIQUES DE SYNTHÈSE

Ce sont les résistances à la traction exprimées en grammes par denier. La figure montre une très grande supériorité des fibres synthétiques. Il faut se garder d'étendre cette conclusion à d'autres propriétés, également importantes, telles que les résistances à la flexion et à l'abrasion. Les indications sérieuses manquent encore sur ces points.

(1) Densité de la laine : 1,3; densité du coton : 1,49; densité de la soie : 1,36.

de soie brute y est tombée de 38 000 à 26 000 tonnes; mais le pourcentage de cette soie utilisée en bonneterie passait dans la même période de 15 % à 65 %; de sorte que malgré la réduction de la consommation globale, la bonneterie de soie était en progrès de 300 %. Aussi, dans les raisons qui ont jeté le nylon sur cet important marché, faut-il certainement faire une part importante aux considérations commerciales. Il n'est nullement douteux que le nylon sert actuellement à faire des parachutes, et que les bas seront en rayonne et non plus en soie japonaise.

En France, le nylon est fabriqué par la Société Rhodiacéta. Mais le développement est encore très limité, puisque l'usine, ou plutôt une petite usine-pilote, ne fonctionne que depuis le milieu de 1941. La production est certainement encore faible.

Les renseignements manquent sur la production de fibres synthétiques dans les autres pays industriels. On peut être certain que l'Allemagne, avec son formidable équipement chimique, n'est pas restée inactive; la littérature des brevets suffirait à en faire la preuve si besoin était.

La question des prix

Jusqu'ici, les fibres synthétiques sont des textiles chers. Il faut sans nul doute amortir de gros frais de recherches (ou par contre-coup, de brevets ou de licences) et aussi des frais de premier établissement importants. Que les prix ne diminuent à l'avenir, toutes choses égales d'ailleurs, on n'en doutera pas. Mais jusqu'à quel point? Il est possible que les textiles de synthèse soient appelés à rester des articles chers. Mais à la longue, il semble probable au contraire qu'ils doivent devenir parfaitement courants, et concurrencer, sinon supplanter, un certain nombre de textiles naturels. On peut dire qu'en France le kilogramme de nylon revient, en moyenne, aux environs de 600 francs.

A la même époque, les prix de la soie peuvent, en gros, être près de 250 à 530 francs le kilogramme de fil, soit en moyenne à 390 francs.

Quant à la rayonne filée, elle coûte entre

22 et 59 francs, ce qui fait ressortir la moyenne à 40,50 fr.

Sur ces bases, le nylon coûterait donc 15 fois plus que la rayonne et 1,5 fois plus que la soie en valeur moyenne. Si l'on considère les prix des qualités les plus basses,

le nylon est alors 25 fois plus cher que la rayonne et 2,4 fois plus cher que la soie.

Cette comparaison, utile pour fixer les idées, n'a cependant pas la valeur qu'elle eût revêtu en temps normaux. Car dans l'économie actuelle, le concept de prix n'a plus le même sens qu'il y a quelques années. A ce moment, un article n fois plus coûteux qu'un autre était un objet que quiconque pouvait se procurer en payant n fois le prix qu'il eût donné de l'autre; aujourd'hui c'est un article que le producteur est autorisé à facturer n fois plus cher que lui-même, ou tout autre, ne facture le second. Ce qui revient à dire que, puisque pour le consommateur il n'y a pas de nylon dans le commerce, il n'y a pas non plus pour lui de prix de nylon qui tienne. Cette remarque est utile pour ramener à leur juste signification les données qui précèdent. Pourtant, quel que soit le régime économique des temps prochains, le fait est là : une série de fibres textiles de très haute qualité, entièrement obtenue par synthèse, est née de l'industrie humaine.

L'avenir des textiles synthétiques

Techniquement, il n'y a pas de raison de voir une limite quelconque aux progrès réalisables dans la voie des fibres polymériques. L'avenir, peut-être proche, verra leurs qualités déjà remarquables progresser (1), et probablement se spécialiser. L'exemple de la rayonne est là pour indiquer l'une des premières voies probables de cette différenciation : on verra sans nul doute ces fibres, coupées, concurrencer les fibres discontinues naturelles : coton, laine, lin, chanvre, jute, etc; tout au moins dans celles de leurs applications où ce caractère

(1) Voir plus haut : « L'orientation des molécules... » (p. 217.)

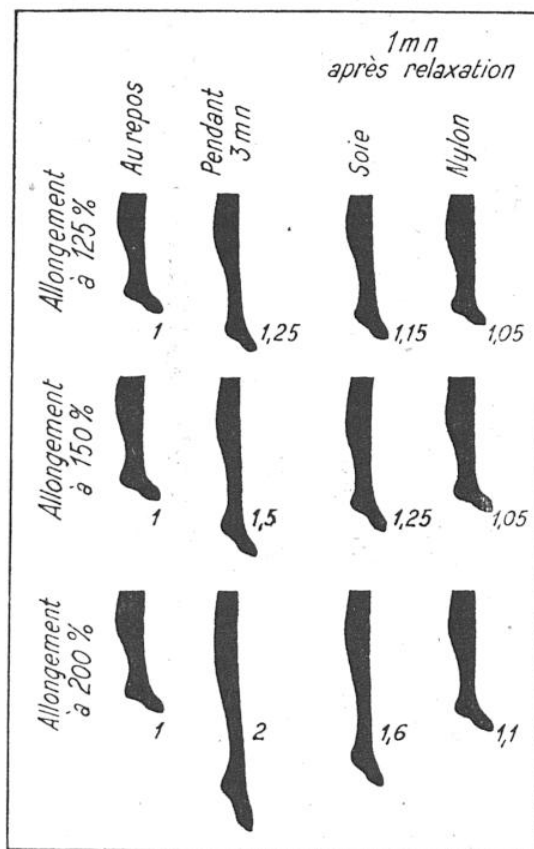


FIG. 5. — RÉSISTANCE À LA DÉFORMATION DE BAS EN SOIE ET EN NYLON

Même après un allongement à 200 % pendant trois minutes, qui distend fortement un bas de soie, un bas de nylon reste presque inaltéré. Le nombre qui accompagne chaque bas indique sa longueur en fonction de la longueur initiale au repos prise pour unité.

discontinu en justifiera encore l'utilité. Car, dans l'état actuel des connaissances techniques, certains phénomènes recherchés (comme le foulage et le feutrage de la laine) semblent liés à la structure discontinue du fil (composé de fibres solidarées par la torsion) autant qu'à la nature de la fibre; mais il n'y aurait plus de raison d'être technique à une fibre telle que le jute si un fil continu pouvait le concurrencer économiquement.

D'autre part, lorsqu'une fibre discontinue naturelle se trouvera, toutes choses égales d'ailleurs, à égalité avec une fibre synthétique, elle aura bientôt sur celle-ci une très lourde infériorité : celle de nous être offerte par la nature dans une forme désordonnée (toison, touffe de coton) et non dans l'ordre parfait qui sera le propre des fibres continues industrielles. Il faut bien considérer en effet que c'est précisément l'état désordonné des matières premières naturelles qui a donné naissance aux techniques, extraordinairement compliquées, de la filature « coton » ou de la filature « laine peignée » par exemple. Recourir aux mêmes techniques pour filer des fibres artificielles, qui se présentaient en ordre parfait au sortir de l'usine chimique, après avoir détruit cet ordre pour rendre ces fibres justiciables du matériel existant, paraît irrationnel, — et l'est en effet. Certes, puisqu'il existe des filatures de coton sans

coton et des filatures de laine sans laine, on comprend qu'elles travaillent, suivant chacune son principe, les fibres disponibles. Mais de même que l'homme a créé les fibres artificielles continues, de même il créera la machine qui, en une seule opération, convertira le fil continu et floche en fil discontinu et tordu à volonté. Il serait même surprenant, à lire les brevets déposés depuis 1933, que quelque machine semblable n'existât pas, tout au moins aux essais. Sa diffusion changera nettement l'aspect du problème, et sera un danger nouveau pour les fibres naturelles, largement esclaves des méthodes de filature actuelles.

Une meilleure connaissance des fibres naturelles élucidera probablement les fondements physico-chimiques de phénomènes tels que le foulage, déjà mentionné. Il ne paraît pas hardi de prédire que la chimie s'attachera à produire des fibres synthétiques aptes à subir des effets analogues; et peut-être même des effets actuellement insoupçonnables, encore que rien ne permette, à l'heure actuelle, d'en affirmer l'éventualité prochaine.

On le voit, ces perspectives diffèrent notablement de celles qu'on entrevoyait il y a quelques années; mais aussi, le nylon a été inventé entretemps...

A. MILHUSER.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

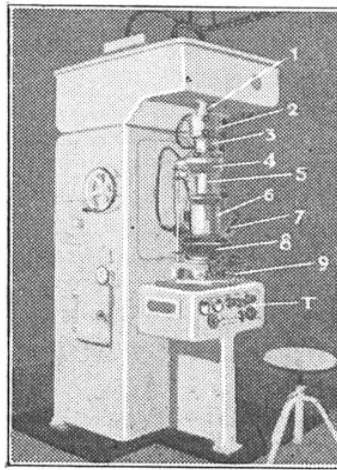
INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Le supermicroscope électronique

ON sait que dans un microscope ordinaire, le pouvoir séparateur est limité par la nature ondulatoire de la lumière par suite de la diffraction qui a pour résultat de donner d'un point une image en forme de tache entourée d'un certain nombre d'anneaux. Ce phénomène limite à 1 200 environ le grossissement linéaire d'un microscope utilisant la lumière ordinaire. Mais en diminuant la longueur d'onde de la lumière employée on diminue le diamètre de cette tache; ainsi la lumière ultraviolette a permis de porter le grossissement à 1 500.

Pour aller plus loin, on a eu l'idée de mettre en œuvre un rayonnement cor-



T W 15526

FIG. 1. — ENSEMBLE DU SUPER-MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

1, tube cathodique; 2, bobine condenseur; 3, porte-objet; 4, bobine objectif; 5, corps du microscope; 6, bobine projecteur; 7, microscope optique; 8, corps du microscope; 9, porte-plaques photographiques. T, tableau de manœuvre.

pusculaire essentiellement différent de la lumière et de longueur d'onde environ 100 000 fois plus petite (1). On a pu obtenir ainsi un pouvoir séparateur de 3 à 5 mmicron (millième de millième de millimètre), alors qu'avec le microscope à lumière visible il est de 200 mmicron et de 1 mmicron avec le microscope à ultra-violet.

Mais il y avait loin de la théorie à la construction vraiment industrielle du supermicroscope électronique. Celle-ci a été récemment mise au point par Siemens en Allemagne. C'est ainsi qu'on a pu réaliser des champs magnétiques annulaires symétriques extrêmement intenses. Grâce à de hautes tensions d'accélération des électrons, le pouvoir

(1) Voir : « Le supermicroscope électronique », dans *La Science et la Vie*, no 257 (novembre 1938).

séparateur a atteint les chiffres ci-dessus et le grossissement une valeur de 40 000 (théoriquement 60 000 à 100 000). De plus, comme la propagation des rayons cathodiques n'est rectiligne que dans le vide, il a fallu établir tout le corps du microscope comme un tube à vide et prévoir des dispositifs spéciaux pour que l'objet examiné et les plaques photographiques soient hermétiquement incorporés au microscope.

La figure ci-dessus montre l'ensemble de l'appareil. On distingue l'appareillage à haute tension dans un bac de protection qui met l'opérateur à l'abri, une armoire contenant une partie de l'appareillage électrique. Le microscope proprement dit est solidement fixé à une table.

Un système ingénieux permet de placer l'objet ou d'introduire et de retirer

les plaques photographiques sous vide. Un autre rend aisée la visite des pièces les plus importantes sans effectuer un démontage qui, étant donnée l'extrême précision de l'usinage, risquerait de provoquer une détérioration mécanique.

Grâce à cet appareil, dont nous ne donnons qu'un bref aperçu, on peut encore reconnaître une image ponctuelle ou striée de diamètre 1,25 mmicron. Les grandeurs ainsi décelées sont du domaine des colloïdes ou des macromolécules. La molécule de protéine du virus de la mosaïque du tabac a été ainsi photographiée pour la première fois. Une cellule de bactérie entourée de bactériophages a pu être de même enregistrée. C'est donc un instrument de recherche scientifique remarquable dont le champ d'action est extrêmement vaste.

Pour la sécurité du cycliste

CONTRE les ennemis du cycliste : crevaisons, vol, accident, on a cherché depuis longtemps des remèdes efficaces. Pour la crevaison, on connaît la *Vélomine*, produit naturel absolument sans danger pour la chambre à air, qui supprimerait la crevaison, cela pour la durée d'un an et pour un prix modique. 1 000 000 de cyclistes l'ont déjà adoptée et ont obtenu des résultats satisfaisants.

Contre le vol et l'accident, le seul moyen de se mettre à l'abri est évidemment l'assurance.

« La Mutuelle Cycliste », spécialiste des assurances-vélo, garantit ces deux cas : vol et accident (que le cycliste soit responsable ou victime). L. Tajan, 13, rue Jean-Pégot, Toulouse.

(296)

BULLETIN D'ABONNEMENT

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

Déclare m'abonner pour } un an, au prix de }
 } 6 mois, }

(tarif ci-contre) que je vous adresse par Chèque postal 184.05 Toulouse. Le premier numéro à envoyer sera le n°

TARIF DES ABONNEMENTS A "LA SCIENCE ET LA VIE"

FRANCE ET COLONIES

Envois simplement affranchis.....	1 an.....	60 fr.
	6 mois.....	32 fr.
Envois recommandés.....	1 an.....	90 fr.
	6 mois.....	50 fr.

ÉTRANGER

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

Envois simplement affranchis.....	1 an.....	130 fr.
	6 mois.....	70 fr.
Envois recommandés.....	1 an.....	180 fr.
	6 mois.....	100 fr.

Pour les autres pays :

Envois simplement affranchis.....	1 an.....	120 fr.
	6 mois.....	65 fr.
Envois recommandés.....	1 an.....	150 fr.
	6 mois.....	80 fr.

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

"LA SCIENCE ET LA VIE"

Rédaction et Administration : actuellement : 22, rue Lafayette, Toulouse (H^e-G.)
 Chèques Postaux : Toulouse 184.05

(Aucun envoi n'est fait contre remboursement)

Pour faciliter notre tâche, nous demandons à nos lecteurs d'effectuer tous leurs règlements uniquement par chèque postal au C/C 184-05 Toulouse.

Les abonnements à effet rétroactif partent du 1^{er} janvier.

Les numéros parus avant le 1^{er} janvier sont vendus au prix unitaire :

6 fr. 50 pour les numéros ordinaires ; 13 francs pour les numéros spéciaux (franco).

LE GÉRANT : L. LESTANG.

T W 5413 - 20 mars 1942

IMP. RÉGIONALE, TOULOUSE.

ÉCOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

(Inscription à toute époque de l'année)

actuellement : Rue Maréchal-Lyautey - VICHY

Cours sur place et par correspondance

INGENIEUR-RADIOTECHNICIEN

Trigonométrie, règle à calcul, calcul différentiel et intégral, mécanique, machines électriques, radiotechnique générale, construction et mise au point des appareils, cinéma sonore, télévision.

Admission : niveau B. S. ou classe de première.

SOUS-INGENIEUR-RADIO DE 1^{re} CLASSE

Mathématiques générales, électricité, radiotechnique, machines électriques, cours de travaux pratiques, émetteurs et récepteurs, études schématiques.

Admission : niveau du B. E. ou classe de seconde.

OPÉRATEURS-RADIO DE 1^{re} OU 2^{me} CLASSE

Electricité, magnétisme, statique, machines électriques, radiotélégraphie et radiotéléphonie, réglementation des radiocommunications, taxation, moteurs thermiques, géographie professionnelle, émetteur B 41 K, récepteurs en usage.

Admission

1^{re} classe : niveau B. E. ou classe de seconde.

2^{me} classe : notions d'algèbre.

MONTEUR-DEPANNEUR-RADIOTECHNICIEN

Electricité générale, circuits oscillants, ondes et propagation, accord des récepteurs et sélection, transmission radiophonique, différents modèles de lampes et utilisation, récepteurs batteries, tous courants, alternatif, vérification et mise au point, recherche des pannes, télévision.

Admission : niveau C. E. P.

(Notices contre 2 francs en timbres.)

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



Des millions
de
mètres carrés
de références

Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires