

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 66. n. 324. Août-Septembre 1944
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1944
Collation	1 vol. (IV p.-p.[45]-88) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 324
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.324

AOUT-SEPTEMBRE 1944

N° 324

SCIENCE ET VIE



10 FRANCS

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

LA RADIO

*s'apprend
aussi..*

Cours par Correspondance
Ecole Centrale de T.S.F.
(Annexe)
8, rue Porte de France
VICHY (Allier).

...par **CORRESPONDANCE**



ÉCOLE CENTRALE DE T.S.F.

12 rue de la Lune PARIS 2^e Téléphone Central 78-87

"Annexe, 8 rue Porte de France - VICHY (Allier)"

Publicités Réunies

*Il est si
facile*



D'APPRENDRE A DESSINER

par la nouvelle méthode Moderne

"LE DESSIN FACILE"

INVENTÉE PAR MARC SAUREL

Le promoteur de l'enseignement du dessin par Correspondance, Marc SAUREL, qui a consacré 32 ans de sa carrière à former tant d'artistes de talent, a imaginé une méthode Nouvelle, basée sur un judicieux emploi du document photographique.

En dix mois chacun peut apprendre le dessin à la maison, à temps perdu, à tout âge, soit pour le plaisir soit en vue d'une carrière lucrative. Le foudroyant succès de cette Méthode vraiment moderne est attesté par l'enthousiasme de ses milliers d'élèves et

par ses retentissantes expositions publiques. Ne laissez pas passer l'occasion. Renseignez-vous dès aujourd'hui en demandant à Marc SAUREL sa jolie brochure illustrée pleine de précieux renseignements. Indiquez le genre de dessin que vous aimez.

MÉTIER D'AVENIR

Parmi les carrières ouvertes aux dessinateurs, il en est une qui assure de nombreux postes :

LE DESSIN INDUSTRIEL

Un cours spécialement conçu pour l'accession à cette carrière permet aux élèves d'obtenir rapidement les connaissances techniques et l'habileté manuelle requise.

**"LE DESSIN
FACILE"**

11, rue Képler X V I

BON
pour une
brochure
SV 49

Brochure illustrée S-V 49
contre 4 fr. 50 en timbres.

Pour les adultes
"LE DESSIN FACILE"
en dix leçons

Cours spéciaux
DESSIN INDUSTRIEL - MODE -
PUBLICITÉ - ILLUSTRATION -
LETTRES - DESSIN ANIMÉ.

Pour les enfants
"JE DESSINE..."
en dix leçons

JE N'AI QU'UN REGRET

c'est de n'avoir pas connu plus tôt
L'ÉCOLE UNIVERSELLE

Telle est la phrase qui se retrouve constamment sous la plume de milliers de correspondants dans des lettres touchantes où ils nous expriment en même temps que leur reconnaissance pour les services que leur a rendus l'Ecole Universelle, leur admiration pour son enseignement.

Epargnez-vous un pareil regret en vous renseignant dès aujourd'hui sur l'organisation de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

par correspondance de Paris

Uniquement consacrée à l'enseignement par correspondance dont elle a porté les méthodes à leur perfection, elle vous permettra d'acquérir les connaissances générales et techniques qui vous sont nécessaires pour subir un examen ou un concours, obtenir une situation que vous avez en vue, améliorer celle que vous possédez. Pour cela demandez à l'Ecole Universelle l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse.

BROCHURE L. 19.585. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE: Classes complètes, depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur. Bourses, Brevets, C.A.P., etc.

BROCHURE L. 19.586. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE: Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Baccalauréats, etc.

BROCHURE L. 19.587. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR: Licences (Lettres, Sciences, Droit). Tous les professorats (classes élémentaires, lycées, collèges, etc.).

BROCHURE L. 19.588. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.

BROCHURE L. 19.589. — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES, et des TRAVAUX PUBLICS, etc.

BROCHURE L. 19.590. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du GÉNIE RURAL, etc.

BROCHURE L. 19.591. — CARRIÈRES DU COMMERCE, de l'INDUSTRIE HÔTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.

BROCHURE L. 19.592. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE.

BROCHURE L. 19.593. — LANGUES VIVANTES, TOURISME (Interprète) etc.

BROCHURE L. 19.594. — AIR, MARINE: Pont, Machine, Commissariat, T.S.F., etc.

BROCHURE L. 19.595. — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, etc.

BROCHURE L. 19.596. — ÉTUDES MUSICALES: Instruments, Professorats, etc.

BROCHURE L. 19.597. — ARTS DU DESSIN: Professorats, Métiers d'Art, etc.

BROCHURE L. 19.598. — MÉTIERS DE LA COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE, etc.

BROCHURE L. 19.599. — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ etc.

BROCHURE L. 19.600. — CARRIÈRES DU CINÉMA.

BROCHURE L. 19.601. — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES.

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

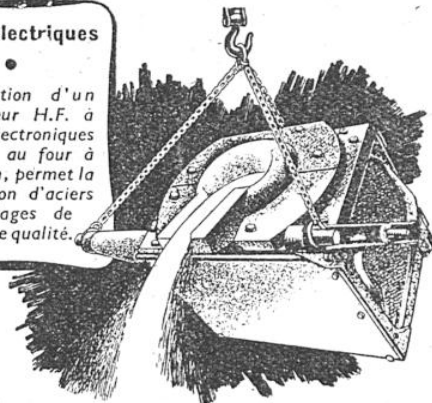
ÉCOLE UNIVERSELLE

12, pl. Jules-Ferry, Lyon

59, bd. Exelmans, Paris

Fours électriques

L'application d'un Générateur H.F. à tubes électroniques PHILIPS, au four à induction, permet la fabrication d'aciers et d'alliages de très haute qualité.



PHILIPS

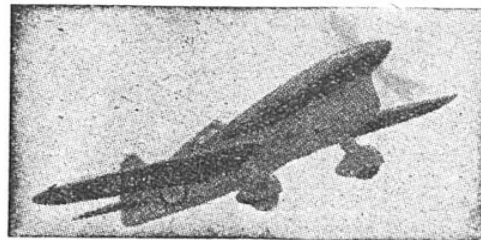
De multiples activités dans tous les domaines de l'Électronique moderne mais **une seule** qualité ont fait la réputation de



SAPHILIPS, ÉCLAIRAGE et RADIO

50, AVENUE MONTAIGNE, PARIS 8^e

JEUNES GENS!



SAVEZ-VOUS que chaque avion moderne est une véritable centrale électrique?

SAVEZ-VOUS que sa construction et son entretien exigent des milliers d'Electro-Techniciens, qualifiés?

FAITES VOTRE CARRIÈRE DANS L'AVIATION

Devenez rapidement CHEF ÉLECTRO-TECHNICIEN d'Aviation, en suivant par correspondance les cours de l'

ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE (Section Aviation)

51, Boulevard Magenta, PARIS (10^e)

Demandez la documentation gratuite.

Si vous pouvez écrire Vous pouvez **DESSINER**

CETTE FORMULE, CONNUE AUJOURD'HUI DU MONDE ENTIER, RÉSUME EN QUELQUES MOTS LA REMARQUABLE MÉTHODE GRACE À LAQUELLE L'ÉCOLE A.B.C. DE DESSIN A, DEPUIS 24 ANS, PERMIS À 60.000 PERSONNES, RÉPARTIES SUR TOUS LES CONTINENTS, DE GOÛTER LES JOIES ET LES AVANTAGES DU DESSIN.

Cette méthode, absolument unique, permet à un simple débutant de réaliser, dès sa première leçon, des croquis **d'après nature**, développant ainsi très rapidement sa personnalité.

Chaque élève de l'Ecole A.B.C. dirigé individuellement selon ses goûts et ses aptitudes, peut acquérir en peu de temps le métier, les connaissances techniques d'un professionnel et bénéficier ainsi des nombreux débouchés qu'assurent au Dessin les exigences de la vie moderne.

L'Ecole A.B.C. de Dessin est non seulement la première en date et la plus importante Ecole de Dessin du monde, mais elle reste la plus moderne.

BROCHURE GRATUITE

Ecrivez à l'adresse ci-dessous pour demander la brochure de renseignements (joindre 5 fr. en timbres pour tous frais). Spécifiez bien le cours qui vous intéresse : Cours pour enfants ou cours pour adultes.



M^{lle} Goucheron a acquis une technique personnelle dont elle a su tirer parti dans cette d'enfant.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN

Section
C. B. 25

12, Rue Lincoln — PARIS (VIII^e)

6, Rue Bernadotte — PAU (Basses-Pyr.)

SCIENCE ET VIE

Tome LXVI - N° 324

SOMMAIRE

Août-Septembre 1944

- ★ Le moteur d'avion de grande puissance en 1944, par Jean Bertin..... 47
- ★ Les transports intercontinentaux de demain, par Charles Sillards..... 62
- ★ Les isotopes : de l'eau lourde aux radioéléments artificiels, par G. Champetier..... 69
- ★ Voici la synthèse industrielle du méthanol, carburant de l'avenir, par Henri Doyen..... 80
- ★ Le travail des métaux et la dureté des roches, par E. Le-maire. 86
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 88

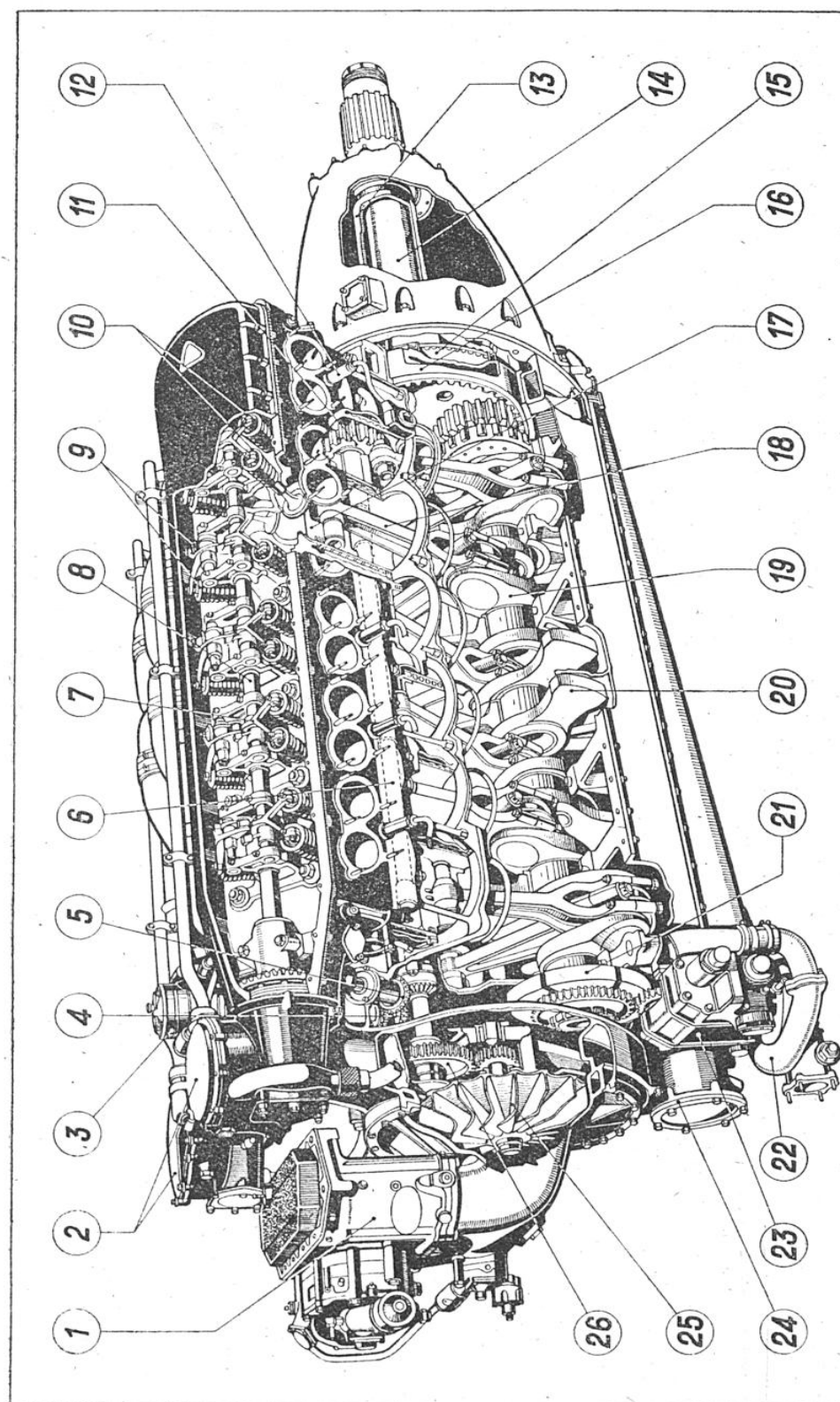


Dans l'organisation des transports commerciaux de l'après-guerre, l'avion est appelé à jouer un rôle de premier plan. En particulier, le navire ne sera plus seul à assurer le trafic transocéanique. Sur les lignes aériennes transatlantiques, inaugurées dès avant la guerre, les principaux problèmes techniques peuvent être considérés aujourd'hui comme résolus et les appareils gros porteurs ont vu le jour, réunissant les qualités de vitesse, rayon d'action, charge utile nécessaires à l'exploitation commerciale de services réguliers. Sécurité, rapidité, prix relativement peu élevé attireront à l'avion transatlantique, tel que celui que représente la couverture du présent numéro, la clientèle des super-paquebots de grand luxe à exploitation déficitaire. D'autre part, l'avion cargo réclame déjà le fret cher exigeant un transport rapide. Ce sera une des tâches des prochaines années que d'harmoniser, en fonction de leurs possibilités techniques, les différents moyens de transport, anciens et nouveaux, en vue d'obtenir le maximum d'efficacité dans les échanges entre les continents (voir l'article page 62 de ce numéro).

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

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by « Science et Vie », Août-Septembre mil neuf cent quarante-quatre. Registre de Commerce : Toulouse 3235 B.

Abonnements : France et Colonies, un an : cent dix francs.



LE MOTEUR AMÉRICAIN ALLISON V 1710, 12 CYLINDRES EN V, A REFRIGÉRESSEMENT PAR LIQUIDE, 1 450 CH AU DÉMARRAGE A 3 000 TOURS PAR MINUTE

1. Carburateur inversé Stromberg; 2. Distributeurs d'allumage; 3. Magnéto double; 4. Pignon d'entraînement de la magnéto; 5. Pignon d'entraînement de l'arbre à cames; 6. Arbre auxiliaire entraînant les accessoires de l'arrière du moteur; 7. Culbuteurs; 8. Arbre à cames; 9. Soupapes d'admission (deux par cylindre); 10. Soupapes d'échappement (deux par cylindre); 11. Pignon d'entraînement de l'arbre auxiliaire; 12. Bougie d'allumage; 13. Fourreau de l'arbre porte-hélice; 14. Arbre porte-hélice; 15. Amortisseur de vibrations de torsion du réducteur; 16. Pignon annulaire du réducteur; 17. Piston; 18. Bielle; 19. Vilebrequin; 20. Contrepoids; 21. Équilibreur dynamique; 22. Pompe du liquide de refroidissement; 23. Pompes à huile; 24. Emplacement du démarreur électrique; 25. Rotor du compresseur; 26. Pignon de l'arbre entraînant le compresseur.

LE MOTEUR D'AVION DE GRANDE PUISSANCE EN 1944

par Jean BERTIN

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique
Ingénieur de l'Aéronautique

Pendant la guerre de 1914-1918, l'aviation militaire a exigé des constructeurs des moteurs de plus en plus puissants. Les Rhône rotatifs et les Renault de 60 à 80 ch d'août 1914 sont devenus les Hispano et Renault de 200 à 240 ch de novembre 1918. Le même besoin de puissance se fait sentir pendant cette guerre. Toutefois, l'effort des constructeurs a commencé deux ou trois ans avant les hostilités proprement dites, au moment où les différents Etats, conscients du rôle considérable qu'allait jouer l'avion dans les combats, ont compris que la guerre devenait inévitable. La puissance des moteurs en présence au début du conflit s'échelonnait entre 700 et 1 200 ch. Après plus de quatre ans d'hostilités, nous trouvons sur les différents théâtres d'opérations une vingtaine de moteurs se ramenant à trois types principaux allant de 1 000 à 2 000 ch. L'accroissement de la puissance a été ainsi très substantiel, ce qui ne veut pas dire qu'il ait été celui que l'on espérait. Ce sont des unités de 4 000 ch et plus que réclament les « avionneurs » pour leurs bombardiers lourds ou pour les transports intercontinentaux ou transatlantiques de l'après-guerre. Malgré les prévisions faites, le cap des 2 000 ch n'est pratiquement pas dépassé. Il est certain cependant que les belligérants ont fait toutes les études et tous les sacrifices financiers possibles. Les moyens industriels dont ils disposent sont infiniment plus puissants qu'il y a vingt-cinq ans. En dehors des progrès faits par les machines-outils classiques, l'emploi généralisé des rectifieuses a rendu facile l'obtention des grandes précisions et des excellents états de surface qu'exigent les conditions de travail de plus en plus sévères des divers assemblages et pièces mécaniques. Les premières difficultés rencontrées dans la course à la puissance ont été ainsi résolues. Mais de très nombreuses autres causes de limitation interviennent, exigeant de minutieuses et longues études d'ensemble, car leurs interactions sont suffisamment complexes pour que l'étude systématique de l'une d'entre elles ne permette pas, dans l'état actuel de la technique, de progresser sûrement.

L'évolution des moteurs d'avions de 1939 à 1943

QUAND la guerre fut déclarée en 1939, les principaux avions en présence étaient équipés avec des moteurs ressortissant à sept types différents. Nous trouvons sur le tableau I quatre 12 cylindres en V à refroidissement par eau pour trois 14 cylindres en double étoile à refroidissement par air.

Cette préférence pour le moteur refroidi par liquide était due à trois causes principales.

La recherche de la plus grande puissance pour un maître-couple donné d'une part, avait établi ce fait que l'ensemble moteur-radiateur sous tunnel présentait une « traînée » (1) moindre que le moteur à air de même puissance avec son capot (2).

(1) Ou résistance à la pénétration dans l'air.

(2) La forme de capot universellement adoptée en pratique était celle mise au point aux Etats-Unis par le National Advisory Committee for Aeronautics, en abrégé N.A.C.A.

D'autre part, les avions les plus travaillés dans chaque camp étaient le chasseur et l'avion de combat, tous deux appelés à des changements de régime et d'altitude considérables. Là encore, la préférence était allée au moteur à eau dont le refroidissement présentait dans ces conditions une plus grande sécurité.

Enfin, il se trouvait que l'Europe, à l'encontre de l'Amérique, avait poussé bien plus loin la technique du refroidissement par liquide.

Cette troisième raison est une conséquence des précédentes. Il est notoire que toutes les études aéronautiques de l'entre deux guerres ont été, en Europe, entachées de préoccupations militaires.

Ainsi les idées officielles du moment voulaient que seuls les bombardiers ou les avions commerciaux pussent recevoir des Gnôme et Rhône 14 N ou des Bristol « Hercules ».

Plus de quatre ans de guerre et d'efforts industriels ont passé. Au lieu de sept moteurs pour trois nations, nous en trouvons vingt et un principaux pour les cinq belligérants. Au lieu de deux types, nous en trouvons trois : les

12 cylindres en V et les 24 cylindres en X ou en H à refroidissement par eau, et les 14 ou 18 cylindres en double étoile à refroidissement par air.

Le tableau II qui résume la situation montre que le cap des 2 000 ch. atteint par deux moteurs américains, n'est dépassé que par le Napier « Sabre » anglais. Voilà, pour les moteurs existants, la situation au début de 1944. Elle est assez différente de celle espérée en 1939. Même les moteurs en essais actuellement — B. M. W. 802 de 2 000 ch, Bristol « Centau-

Par suite, deux ou quatre moteurs sont plus lourds qu'un moteur unique de même puissance totale. Cela entre en considération pour le chasseur et le bombardier, avec une plus grande importance pour le second dont la qualité primordiale est le tonnage admissible à performances égales.

2° La multiplication des moteurs conduit à les disposer en bataille le long du bord d'attaque de l'aile. Peut-être regagne-t-on sur la construction de l'aile une partie de l'excédent dû au poids total des moteurs. La répartition

ANNÉE	NATIONS	MOTEURS	TYPE (Nombre de cylindres, nombre de soupapes par cylindre)	Alésage x course (mm)	Cylindrée unitaire (litres)	Cylindrée totale (litres)	Rapport volumétrique	Poids au cheval (kg/ch)	PUISSANCES (ch)	Vitesses de rotation (tours/mn)	Altitude (m)
1939	FRANCE	Hispano 12 Y	12 cyl. (2 soup.) 	150 x 170	3	36	5,8	0,56	835 900	2 400	sol 2 000
		Gnome et Rhône 14 N	14 cyl. (2 soup.) 	146 x 165	2,76	38,7	6,1	0,57	1 050 1 010	2 480 2 360	sol 1 500
		Gnome et Rhône 14 M	14 cyl. (2 soup.) 	122 x 116	1,32	18,9	6,5	0,60	670 650	3 000	sol 4 000
	ALLE- MAGNE	Mercedes-Benz DB-601	12 cyl. (4 soup.) 	150 x 160	2,8	33,9	6,5	0,55	1 150 1 175	2 400	sol —
		Junkers « Jumo » 211	12 cyl. (3 soup.) 	150 x 165	2,92	35	6,5	0,56	1 200 950	? 2 250	sol 3 000
	ANGLE- TERRE	Rolls-Royce « Merlin X »	12 cyl. (4 soup.) 	137 x 152	2,25	27	6	0,60	1 070 972	2 600	sol 4 000
		Bristol « Hercules »...	14 cyl. (s. soup.) 	146 x 165	2,76	38,7	6,7	0,574	1 308 1 150	2 800 2 400	sol 1 520

TABEAU I. — LES MOTEURS NATIONAUX EN PRÉSENCE EN 1939 ET LEURS PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

rus » de 2 100 ch, Mercedes D. B. 606 de 2 000 ou 2 400 ch, Wright « Tornado » de 2 400 ch et Allison « 3420 » de 2 000 ch — ne nous feront pas atteindre les 4 000 ou 5 000 ch prévus pour 1944.

Pourtant, dès le début des hostilités, on avait l'utilisation de semblables moteurs : la chasse pour la vitesse et l'altitude, le bombardement pour le tonnage et la vitesse.

La supériorité du moteur de grande puissance

La solution du moteur à grande puissance, opposée à celle de la multiplication du moteur plus petit semble souvent préférable, tant en théorie qu'en pratique.

Les avantages portent sur plusieurs points dont trois principaux :

1° Le poids au cheval d'un groupe motopropulseur décroît lorsque la puissance augmente. La multiplication des moteurs conduit à la multiplication des organes adjoints dont le poids est indépendant de la puissance (magnétos, pompes, organes d'asservissement), ou ne croît que peu avec elle (réservoirs, bâtis moteurs, hélices).

Un même kilogramme d'acier ou d'aluminium contribue à fournir plus de puissance dans un moteur de 2 000 ch que dans un de 500.

des charges le long de l'envergure, loin de charger la voilure, comme il semble aux profanes, la décharge au contraire, d'où un certain allègement possible dans sa construction.

Ce qui est certain toutefois, c'est que l'on perturbe totalement l'écoulement aérodynamique autour de l'aile par la présence sur le bord d'attaque — endroit sensible s'il en est — de nombreux fuseaux-moteurs qui en détruisent la continuité et d'hélices, sources de veines tourbillonnaires nuisibles.

Le tout est encore aggravé par des interférences entre les divers écoulements perturbés, dans des proportions que l'on ne soupçonne pas toujours.

3° Le seul fait de la constante augmentation du tonnage des appareils de transport justifie enfin la demande de moteurs plus puissants. Sans aller plus loin, les constructeurs français, après les hydravions transatlantiques SE 200, Laté 631 et Potez-CAMS-131 (1), se sentent parfaitement capables d'aborder le problème de l'avion de 100 ou 150 tonnes.

La seule question qui les arrête est celle de

(1) Voir : « Vers un essor prodigieux de l'aviation transatlantique ». (*Science et Vie*, n° 300, août 1942, p. 51.)

ANNÉE	NATIONS	MOTEURS	TYPE (Nombre de cylindres, nombre de soupapes par cylindre)	Alésage × course (mm)	Cylindrée unitaire (litres)	Cylindrée totale (litres)	Rapport volumétrique	Poids au cheval (kg/ch)	PUISSANCES (ch)	Vitesses de rotation (tours/mn)	Altitude (m)
1944	ALLEMAGNE	Mercedes-Benz DB-605	12 cyl. (4 soup.) 	150 × 160	2,8	33,9	6,5	0,54	1 520	?	4 875
		Junkers « Jumo » 211 J	12 cyl. (3 soup.) 	150 × 165	2,92	35	6,5	0,54	1 300	2 400?	3 800
		BMW-801	14 cyl. 	156 × 156	2,98	41,8	—	—	1 600	2 700	sol
	ANGLETERRE	Rolls-Royce « Merlin 61 »	12 cyl. (4 soup.) 	137 × 152,4	2,25	27	6	0,50	1 600?	3 000?	?
		Rolls-Royce « Vulture »	24 cyl. 	127 × 140	1,77	42,5	6	0,6	2 000 1 755	3 200 3 000	sol 4 600
		Rolls-Royce « Griffon »	12 cyl. 	152,4 × 167,6	3,06	36,7	—	—	1 600?	?	sol
		Bristol « Hercules »...	14 cyl. (s. soup.) 	146 × 165	2,76	38,7	6,8	0,51	1 680	2 900	sol
		Napier « Sabre »	24 cyl. (s. soup.) 	127 × 120,6	1,53	36,67	—	0,48	2 200	3 700	sol
	ETATS-UNIS	Pratt et Whitney « Twin Wasp »	14 cyl. 	139,5 × 139,5	2,16	30	6,8	0,54	1 215 1 065	2 700	sol 4 000
		Pratt et Whitney « Double Wasp »	18 cyl. 	146 × 152	2,55	46	6,7	0,55	1 875 1 520	2 600	sol 4 300
		Wright « Cyclone »	9 cyl. 	155,6 × 174,6	3,32	29,9	6,3	0,49	1 215 1 015	2 500	sol 4 100
		Wright « Double Row Cyclone »	14 cyl. 	155,6 × 160,3	3,05	42,7	6,3	0,55	1 620 1 420	2 400	sol 3 600
		Wright « Duplex Cyclone »	18 cyl. 	155,6 × 160,3	3,05	54,9	6,3	—	2 200 1 725	—	sol 4 300
		Allison V-1710	12 cyl. 	140 × 152	2,33	28	6,65	0,42	1 450 1 450	3 000	sol 3 600
	U. R. S. S.	M-105 R	12 cyl. (3 soup.) 	150 × 170?	3	36	5,8?	—	1 100 945	2 600	sol 4 000
		M-88	14 cyl. 	—	—	—	—	—	950	—	sol
		M-82	?	—	—	—	—	—	1 600?	—	—
		AM-38	12 cyl. 	—	—	—	—	—	1 300	—	—
	JAPON	Mitsubishi « Kinsei »	14 cyl. 	—	2,3	32,3	—	—	1 000 1 075	2 500	sol 2 000
		Mitsubishi	18 cyl. 	—	2,5	45	—	—	1 500?	—	—
		Hikari	9 cyl. 	—	—	—	—	—	800	—	—

TABLEAU II. — LES MOTEURS NATIONAUX EN PRÉSENCE EN 1944 ET LEURS PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

la constitution de la puissance nécessaire. Pour le SE-200 et le Laté-631 on avait déjà fait appel aux seuls 1 500 ch existants (Wright « Double row Cyclone » de 1 620 ch à 2 400 tours/mn au décollage et 1 520 ch au même régime à 3 500 m d'altitude), et chaque appareil en comportait six.

Or il faut maintenant un total de 15 000 à 20 000 ch. Si l'on en reste aux unités actuelles, nous serons appelés à voir évoluer de nouveaux phénomènes du genre Dornier Do X, dont chacun a encore l'étrange allure en mémoire, avec, perchés sur les superstructures, quelque douze moteurs et hélices. C'était la seule solution possible pour décoller ses 50 tonnes avec des unités motrices de 600 ch, les plus puissantes dont on disposait à cette époque.

Le moteur d'avion Ce qu'il est, ce qu'on lui demande

Il semble qu'on ne puisse pas construire actuellement un moteur d'avion de plus de 2 000 ch. Pourtant, on sait produire des puissances bien plus considérables à l'aide de moteurs à combustion interne. Les moteurs Diesel fixes ou marins atteignent couramment 10 000 ch. Certains vont jusqu'à 30 000 ch. Un seul cylindre du Diesel marin anglais Doxford donne 1 600 ch, soit autant qu'un bon moteur d'aviation actuel (B.M.W. 801, Bristol « Hercules » XI).

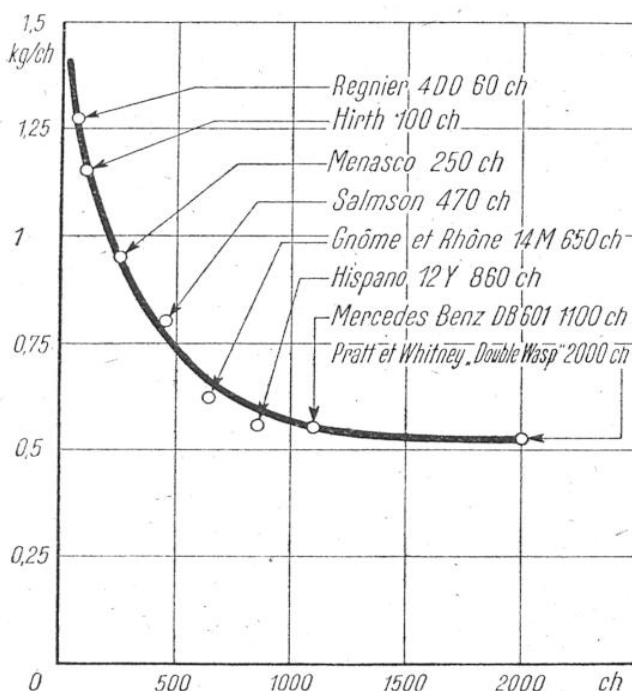


FIG. 1. — COMMENT VARIE LE POIDS AU CHEVAL D'UN MOTEUR D'AVION EN FONCTION DE LA PUISSANCE

La situation privilégiée de certains moteurs à refroidissement par eau (Hispano, Mercedes-Benz) vient du fait qu'on ne tient pas habituellement compte du poids des radiateurs et de la tuyauterie. C'est d'ailleurs une erreur, car, ce qui importe en utilisation, c'est le poids au cheval du groupe motopropulseur complet.

Seulement, on peut saisir à ce propos un des aspects de la différence des difficultés à résoudre. Le volume de la cylindrée nécessaire au Doxford pour donner 1 600 ch (725 x 2 250 mm) est à peu près le volume total du moteur d'avion de même puissance avec tous ses accessoires.

Si l'on se reporte à tout autre générateur d'énergie mécanique, on s'aperçoit de la même façon que les problèmes posés par le moteur d'avion ne sont pas du même ordre.

Deux quantités caractéristiques d'un générateur : le poids par unité de puissance produite (en kilogrammes par cheval), et la puissance produite par unité de volume (en chevaux par mètre cube) nous renseignent

particulièrement bien sur la façon dont la matière travaille.

Le tableau III, donnant les limites de variation de ces quantités pour les sources d'énergie mécanique courantes montre bien la situation spéciale du moteur d'avion. La matière qui le constitue travaille dans les conditions les plus dures et on lui demande par-dessus tout la sécurité maximum, exigences incompatibles qui ne sont partiellement satisfaites qu'au prix de compromis incessants.

Enfin, le problème de la puissance maximum n'est pas le seul à se poser pour lui. Il doit encore la produire malgré ses évolutions dans une atmosphère dont la densité diminue avec

	MOTEURS D'AVION	MOTEURS D'AUTOMOBILE	MOTEURS ÉLECTRIQUES	MOTEURS DIESEL FIXES OU MARINS	MACHINES A VAPEUR
Poids au cheval (kg/ch)	1 à 0,5	15 à 5	20 à 5	30 à 15	50 à 12
Puissance au mètre cube (ch/m³)	800 à 1 500	200 à 400	100 à 700	30 à 100	40 à 70
Domaine des puissances	50 à 2 500 ch.	15 à 150 ch	1 à 10 000 ch	40 à 30 000 ch	500 à 30 000 ch (turbines)

TAB. III. — LES CARACTÉRISTIQUES MOYENNES DES DIFFÉRENTS MOTEURS

l'altitude et dans des conditions de refroidissement continuellement variables.

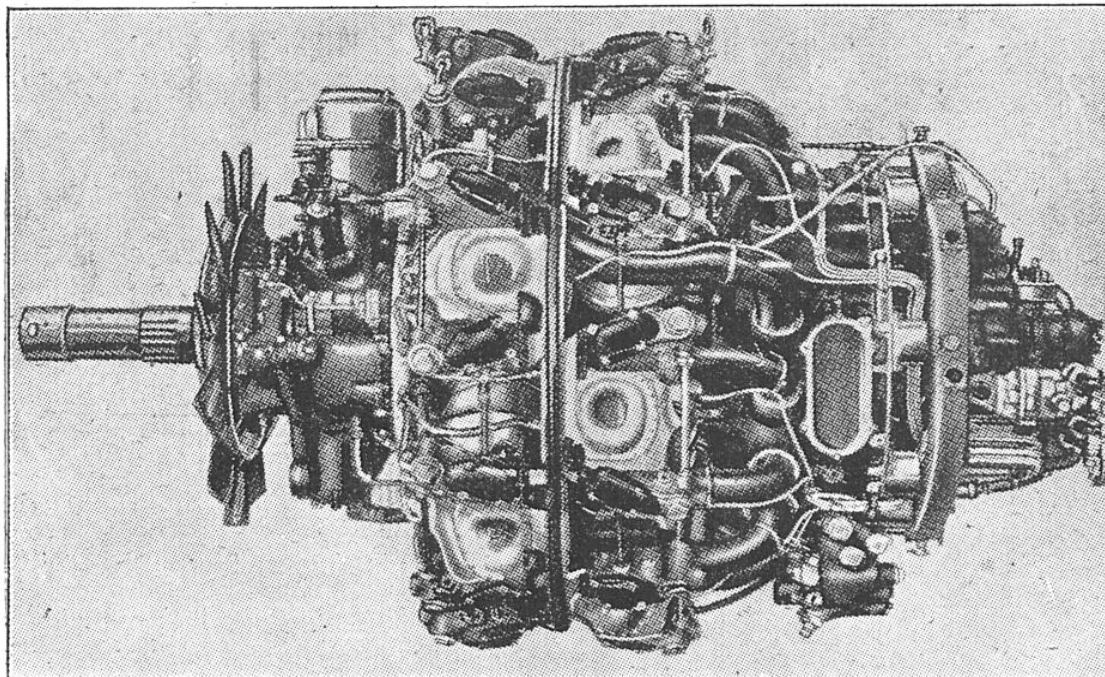
On s'est heurté là à des difficultés certaines pour évaluer la puissance des moteurs. On s'est trouvé dans l'obligation de normaliser certaines conditions de fonctionnement appelées « régimes nominaux ». Ce sont les puissances obtenues à ces différents régimes qui servent à comparer plusieurs moteurs entre eux.

Les normes françaises en ont distingué cinq se répartissant en trois catégories :

mais encore la durée de fonctionnement possible, le carburant et le mode de refroidissement.

Deux exemples montrent l'importance de ces dernières spécifications.

Le moteur américain Pratt et Whitney « Twin Wasp », 14 cylindres en double étoile, est donné pour 1 200 ch au sol. On oublie parfois de dire que ce résultat est obtenu avec de l'essence à 100 d'octane (1). Si l'utilisateur n'en dispose pas, comme par exemple l'armée française de 1939-1940, la puissance obtenue tombe



T W 4012

FIG. 2. — LE MOTEUR ALLEMAND BMW-801.

C'est un moteur de 14 cylindres en double étoile à injection d'essence. Caractéristique essentielle : refroidissement forcé par moulinet placé en avant du capot; entrée d'air réglable. On dispose ainsi de variables nombreuses pour adapter le refroidissement aux conditions d'emploi (Voir fig. 3).

I. — Régimes susceptibles d'une durée prolongée :

- a) au sol;
- b) en altitude (en général à l'altitude de rétablissement) (1);

II. — Régimes susceptibles seulement d'une durée moyennée :

- c) de montée;

III. — Régimes susceptibles seulement d'une durée réduite :

- d) de surcharge (décollage);
- e) de survitesse (piqué).

On ne doit plus dire d'un moteur qu'il donne 1 500 ch, bien que cela soit encore courant, mais préciser à quel régime il est capable de cette puissance.

La définition du régime comporte, non seulement la fixation de la vitesse de rotation du moteur et de la pression d'admission, variables dont dépend directement la puissance produite,

(1) Altitude à laquelle le compresseur, comprimant l'air atmosphérique qui se raréfie avec l'altitude, permet au moteur de développer sa puissance nominale.

à 900 ch avec le carburant B (85 à 87 % d'octane) ou 800 ch avec le carburant A (70 % d'octane). La pleine admission est inutilisable parce que la détonation apparaît.

Un moteur à refroidissement par eau a parfaitement terminé ses essais d'homologation au banc. Monté sur avion, il ne tient pas. Entre temps, afin de réduire la surface du radiateur, on a adopté, sans rien modifier, le refroidissement à l'éthyl-glycol s'opérant à température supérieure. De ce fait les températures internes ont augmenté, des points chauds sont apparus avec la détonation et la baisse de puissance qui en résulte.

Comment se crée un moteur d'avion

On ne doit pas oublier qu'un moteur d'avion n'est, comme tout moteur à combustion interne, qu'un transformateur de l'énergie calo-

(1) L'indice d'octane caractérise la résistance du carburant à la détonation. Un indice élevé permet l'emploi de fortes compressions dans les cylindres du moteur, donc un rendement élevé.

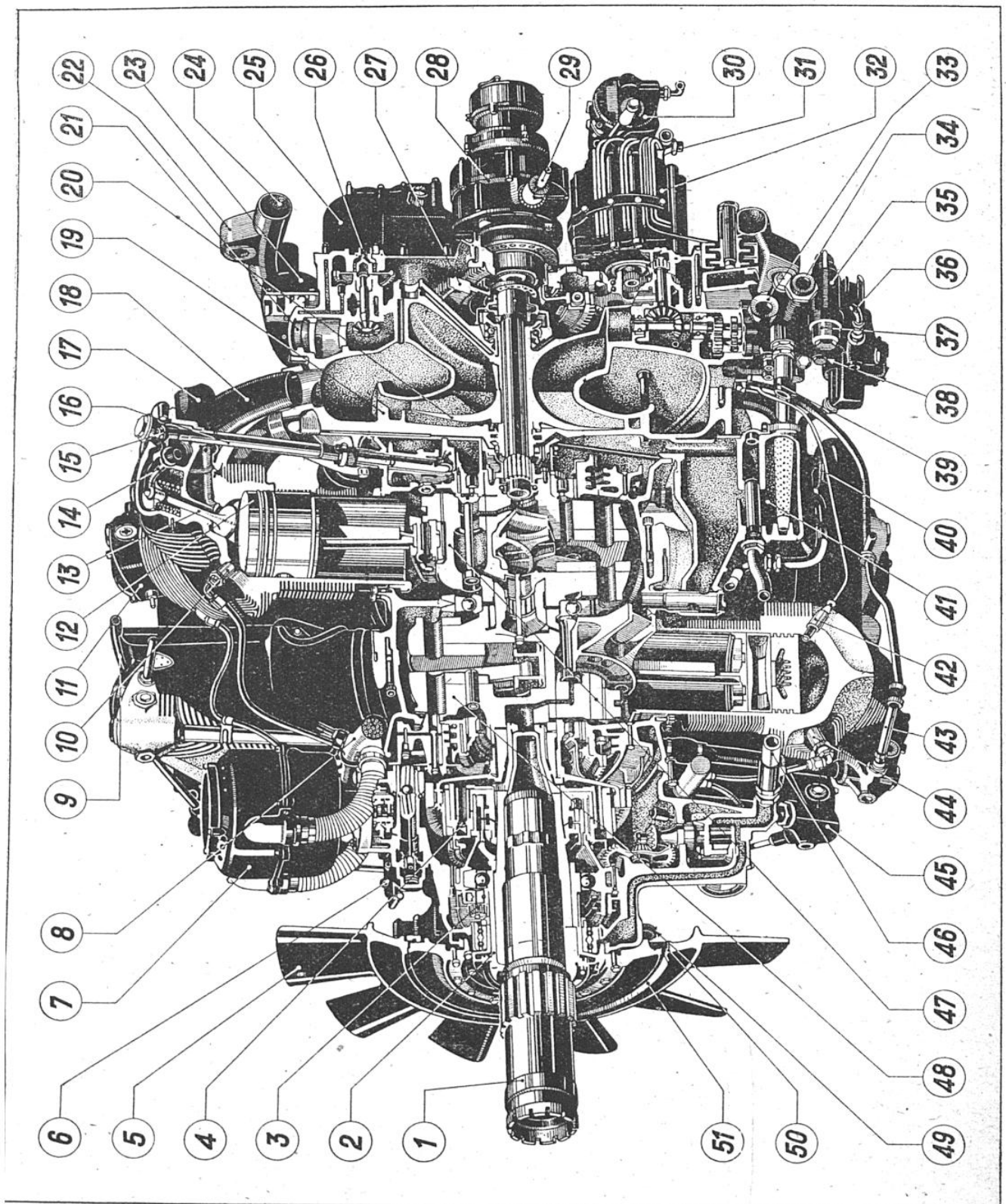


FIG. 3. — COUPE DU MOTEUR ALLEMAND B M W 801 DE 14 CYLINDRES EN DOUBLE ÉTOILE A REFROIDISSEMENT PAR AIR ET A INJECTION, 1 600 CH AU DÉCOLLAGE A 2 700 TOURS PAR MINUTE

Ce moteur est équipé d'un compresseur à deux vitesses : la première vitesse, pour le fonctionnement au sol, est 5,07 fois la vitesse de l'arbre principal du moteur ; pour le fonctionnement en altitude, elle est 7,47 fois celle-ci. Le réducteur intercalé avant l'arbre de l'hélice réduit la vitesse de cette dernière par rapport au moteur dans la proportion de 1 à 0,54. Le graissage s'effectue sous une pression de 15 atmosphères lorsque la température d'entrée de l'huile est inférieure à 50° C et sous 8 ou 9 lorsque cette température est supérieure à 50° C ; le changement s'effectue automatiquement grâce à un thermostat. Ce moteur est équipé d'un dispositif de commande central qui réduit le rôle du pilote à la manœuvre d'un seul levier, toutes les variables se trouvant automatiquement ajustées à la valeur convenable à tous les régimes. L'ensemble du moteur comprend 16 500 pièces. — 1. Arbre de l'hélice ; 2. Manchon de commande de variation du pas de l'hélice ; 3. Commande de variation du pas ; 4. Réducteur ; 5. Ventilateur ; 6. Réglateur d'allumage ; 7. Magnéto ; 8. Faisceau de câbles d'allumage ; 9. Tube assurant l'étanchéité du capotage (ce dernier non représenté) ; 10. Bougie d'allumage ; 11. Soupape d'admission ; 12. Piston ; 13. Soupape d'échappement ; 14. Culbuteur ; 15. Ecrou de réglage du culbuteur ; 16. Tige de poussoir du culbuteur ; 17. Echapement ; 18. Tubulure d'admission d'air ; 19. Aubages faces du compresseur ; 20. Rotor du compresseur ; 21. Raccord du dispositif de mise de feu des armes tirant à travers l'hélice (pour les avions de chasse seulement) ; 22. Point de fixation au châssis ; 23. Stentibloc (caoutchouc) ; 24. Anneau de suspension du moteur ; 25. Changement de vitesse du compresseur ; 26. Branchement du compte-tours ; 27. Entraînement du compresseur ; 28. Démarreur par inertie ; 29. Démarreur par inertie ; 30. Désarateur d'essence centrifuge ; 31. Arrivée d'essence ; 32. Pompe d'injection d'essence ; 33. Retour de l'huile au réservoir ; 34. Départ de l'huile au radiateur d'huile ; 35. Pompe à huile ; 36. A l'indicateur de température de l'huile ; 37. Thermostat ; 38. Au manomètre d'huile ; 39. Retour de l'huile du réducteur ; 40. Vidange ; 41. Filtre d'huile ; 42. Injecteur d'essence ; 43. Retour de l'huile des culbuteurs ; 44. Bougie d'allumage ; 45. Cyl de fixation du capotage ; 46. Retour de l'huile du réducteur ; 47. Vitrorequin ; 48. Contrepioids ; 49. Arrivée du liquide de dégivrage ; 50. Orifices de passage du liquide de dégivrage ; 51. Nervures projetant le liquide de dégivrage sur l'hélice.

rique contenue dans le carburant en énergie mécanique récupérable sur l'arbre. La transformation qui s'effectue à l'intérieur du cylindre, volume déformable limité par le piston, peut se faire suivant deux processus différents qui ont donné naissance, soit au moteur à allumage commandé, soit au moteur à injection et allumage par compression (Diesel).

Dans les deux cas, on est amené à étudier l'évolution de la pression en fonction de la course du piston, c'est-à-dire le cycle caractéristique du phénomène. L'étude théorique a conduit au cycle de Carnot et à la notion maintenant familière du rendement, dépendant du taux de compression et de l'élévation de température apportée par la combustion.

On s'est très vite aperçu, une fois le moteur réalisé, que le rendement effectivement obtenu en comparant l'énergie récupérée sur l'arbre à celle contenue dans le carburant consommé pendant le même temps, était bien inférieur au rendement théorique calculé avec les éléments définissant le moteur.

L'énergie dissipée en chaleur par les frottements dans les cylindres, paliers et coussinets est une première cause de pertes. C'est le rendement mécanique du moteur. Il est compris entre 0,85 et 0,95, et il est possible de le mesurer expérimentalement.

Il subsiste d'autres pertes beaucoup plus importantes. Un moteur à essence de rapport volumétrique 6,5 (1), fonctionnant

(1) Rapport des volumes de la chambre de combustion lorsque le piston est au point mort haut et au point mort bas.

avec le mélange normal de 1 gramme d'essence pour 15 grammes d'air, présente en général les chiffres suivants : rendement théorique 53 %, rendement réel 27 %.

La différence, soit 26 %, constitue l'ensemble des pertes secondaires par les parois, par l'échappement, par combustion incomplète, par dégradation d'énergie dans les tuyauteries. Elles dépendent essentiellement de la configuration géométrique et mécanique du moteur. On ne peut absolument pas les chiffrer par avance. Il faut nécessairement, pour lever le doute qu'elles entraînent lors du passage de la conception à la réalisation, se livrer à des essais très longs et très difficiles.

Il y a ainsi une discontinuité entre la théorie et la pratique. Deux méthodes seulement permettent de travailler avec fruit.

La première exige l'expérimentation du cylindre unitaire et, après mise au point complète, la construction du moteur à l'aide d'éléments rigoureusement identiques.

La seconde et la plus générale consiste en une évolution prudente et contrôlée d'un type parfaitement au point. La pratique a montré que l'on retombe dans des conditions de fonctionnement thermodynamique analogues, donc à des valeurs du rendement pratique comparables, si l'on ne modifie les caractéristiques d'un moteur que de quantités relativement petites.

A vrai dire, les questions thermodynamiques ne sont pas les seules à prendre en considération. Tout doit entrer en jeu, aérodynamique interne, résistance des matériaux, etc... Nous sommes, dans le domaine du moteur puissant, à la limite des possibilités de la matière. Tel qu'il nous apparaît après sa mise au point, le moteur est défini par un ensemble de paramètres pour la plupart dépendant strictement les uns des autres, soumis à des conditions restrictives telles qu'il n'est plus possible d'en modifier un seul sans retoucher tous les autres.

La complexité des problèmes à résoudre, l'état imparfait des diverses techniques qui se fondent, tout concourt à donner à cet équilibre qu'est la forme actuelle d'un moteur, une instabilité malade.

On comprendra ainsi quelques-unes des raisons pour lesquelles toutes les solutions trouvées jusqu'ici dans le monde sont aussi voisines les unes des autres. En gros, il y a deux types de moteurs puissants, les 12 cylindres en V et ses dérivés (24 H ou 24 X) et le 14 ou 18 cylindres en double étoile. L'analogie est très grande, et dans les diverses versions mondiales, l'écart des paramètres principaux ne dépasse pas quelques pour cent (cylindrée unitaire 30 %, taux de compression 18 %, rapport course-alésage 2 %, vitesse de rotation 20 %, poids au cheval 18 %). C'est une des plus grandes preuves que le moteur de 1 500 à 2 000 ch représente le maximum des possibilités actuelles puisque, par mille chemins différents, toutes les équipes d'ingénieurs du monde en sont arrivées à réaliser à peu de chose près les mêmes moteurs.

La nécessité de l'évolution restreint considérablement le champ d'action du fabricant de moteurs d'avion. Il n'a jamais été heureux pour celui-ci d'effleurer tous les genres comme cela s'est vu en automobile ou ailleurs. La spécialisation ne s'est pas arrêtée au stade des petites, moyennes et grandes puissances. Elle est allée plus loin, elle a encore distingué les techniques du refroidissement par air ou par liquide (tableau IV).

Chaque fois qu'une maison a voulu transgresser cette loi de la spécialisation, il lui en a coûté. Hispano n'a pas réussi à faire tenir ses 14 Aa de 1 000 ch et 14 Ab de 700 ch à refroidissement par air. Le 12 Y par contre est un bon moteur. Le cas du 9 V (9 cylindres en étoile à refroidissement par air de 700 ch) n'est pas à prendre en considération, car c'était une construction sous licence étrangère.

Renault voulut se lancer en 1938 dans le moteur à refroidissement par air de 1 000 ch avec

Les paramètres de puissance d'un moteur

Nous allons rechercher les paramètres de puissance d'un moteur et étudier leur mode d'action. Mais ce faisant, il nous faudra garder toujours présentes à l'esprit nos conclusions précédentes. C'est en définitive leur ensemble qui définit un moteur et fait qu'il sera viable ou non. Aucun d'entre eux n'agit isolément. Il faut donc bien se dire que cette analyse n'est

	MOTEURS de petite puissance (air) de 0 à 150 ch	MOTEURS de moyenne puissance (air) de 150 à 500 ch	MOTEURS de grande puissance (air) au-dessus de 500 ch	MOTEURS de grande puissance (liquide) au-dessus de 500 ch
FRANCE.....	Train Ava Chaise Poinsard	Régnier Renault Lorraine Potez Salmson	Gnome et Rhône	Hispano Lorraine
ALLEMAGNE....	Hirth	Argus	B M W Bramo	Junkers Mercedes
ANGLETERRE..	Cirrus	Armstrong De Havilland Napier	Bristol Napier	Rolls-Royce Napier
ETATS-UNIS	Continental Lycoming Warner	Continental Curtiss Menasco Ranger	Wright Pratt et Whitney	Allison Lycoming

TABLEAU IV. — LA SPÉCIALISATION DES CONSTRUCTEURS DE MOTEURS D'AVIONS EN FONCTION DE LA PUISSANCE

le 14 T.O. (14 cylindres en double étoile). Il n'a pas dépassé le stade des essais.

Ces maisons ont toujours réussi par contre, lorsqu'elles ont travaillé dans le domaine qui était le leur. Presque tous leurs types de moteurs au point sont les derniers termes d'une série qui peut comprendre jusqu'à 20 exemplaires.

Ainsi le moteur américain Pratt et Whitney « Double Wasp » de 1 875 ch au décollage à 2 600 tours/mn a été précédé des types suivants : le « Wasp Junior » de 450 ch, les « Wasp » de 550 et 600 ch, le « Hornet » de 700 ch, les « Twin Wasp » de 900, 1 000, 1 100 et 1 200 ch, le « Twin Hornet » 14 cylindres de 1 500 ch, enfin les « Double Wasp » de 1 750 et 1 875 ch.

On comprendra que certaines maisons, tard venues à la construction aéronautique, comme Allison aux Etats Unis, pour ne citer que celle-là, aient quelques difficultés à réussir là où peinent encore des techniciens qui ont de la question une aussi longue expérience.

Sait-on toujours que sur 39 types de moteurs de 850 à 2 000 ch annoncés de 1937 à 1943, 17, soit 43 %, ont pu être effectivement employés (France, Allemagne, Angleterre, Etats-Unis, Italie) ?

Wright n'a pas réussi à tirer de son « Duplex Cyclone » les 2 500 ch que Lockheed lui demandait pour son quadrimoteur de transport « Constellation ». Cela ne nous étonne pas. A plus forte raison lorsqu'après quatre ans d'efforts la maison Allison voit ses moteurs remplacés par des Rolls-Royce « Merlin » XXI construits aux Etats-Unis sur les Lockheed P. 38 « Lightning », Bell P. 39 « Airacobra », Curtiss P. 40 « Kittyhawk » et « Warhawk » et North American P. 51 « Mustang » pour insuffisance de puissance en altitude.

qu'une commodité d'exposition et que parmi un faisceau de causes entremêlées nous en avons retenu quelques-unes aux aspects les plus caractéristiques.

Il ne faut pas davantage oublier que, même s'il était possible de disposer plus librement de ces paramètres, la puissance ne saurait être accrue de façon sensible. D'autres limitations dues au travail difficile de certaines pièces sous de grands efforts ou à de hautes températures interviendraient pour minimiser le gain espéré.

Un aspect sous lequel nous avons envisagé le moteur est celui de transformateur. Il nous fait passer de l'énergie calorifique du mélange carburé à l'énergie mécanique recherchée.

A première vue, la puissance d'un moteur sera proportionnelle à la masse de mélange admise, donc au volume de la cylindrée totale. Décomposons en paramètres simples : elle sera proportionnelle au volume de chaque cylindre d'une part, et au nombre de cylindres de l'autre.

La cylindrée unitaire

La cylindrée unitaire est définie par la course du piston et l'alésage du cylindre. Ce n'est pas elle qui intervient dans les calculs de puissance, mais une valeur plus petite, dite valeur corrigée, du fait que les soupapes ou lumières, d'admission ou d'échappement, ne s'obturent pas exactement aux points morts.

Pour obtenir plus de puissance, on augmentera la cylindrée. Mais de nombreux obstacles s'y opposent. Ils sont de tous ordres.

1° Pour l'alésage, il ne semble pas que l'on puisse dépasser à l'heure actuelle 155 mm (155,6 mm dans les moteurs Wright). Au-dessus de cette valeur, les segments, et en particulier le premier, dit « segment coup de feu », ne

tiennent plus. Ils travaillent sur des parties mal lubrifiées et à haute température.

2° La course aussi est limitée. La vitesse linéaire moyenne du piston ne saurait dépasser sans dommage 16 à 17 mètres par seconde, toujours pour des questions de graissage. On voit l'incidence de la vitesse de rotation sur la course.

Dans les moteurs en étoile, augmenter la course, si cela est souhaitable du point de vue rendement lorsqu'il est possible de le faire, ne l'est certainement pas du point de vue aérodynamique par suite de l'accroissement de maître couple qui en résulte. On a souvent sacrifié le rendement à cette condition; c'est ainsi qu'ont vu le jour les 14 cylindres en double étoile de 650 ch environ, Hispano 14 Ab et Gnome-et-Rhône « Mars ». Leur diamètre était respectivement de 1 m et 0,95 m.

Pratiquement on ne dépasse pas 175 mm de course et la valeur moyenne s'établit à 160 mm. Il s'ensuit par là même une limitation de la vitesse de rotation.

3° Le refroidissement. La quantité de chaleur à évacuer croît comme le volume du cylindre, les possibilités d'évacuation comme sa surface. Pour un certain volume il ne sera plus possible de refroidir. Il se trouve curieusement qu'avec les moyens actuels ce volume est du même ordre que celui obtenu par l'alésage et la course maxima permis, soit 3 litres. Les moteurs suralimentés échappent en partie à cet obstacle en utilisant le balayage par gaz frais. Si l'alimentation se fait en mélange carburé, il s'en perd une partie et le rendement baisse; dans les moteurs à injection on ne perd que le travail de fourniture de l'air frais ayant traversé le cylindre.

De toutes façons, on a toujours intérêt à pratiquer le balayage. Il apporte une diminution générale des températures internes et soulage beaucoup les soupapes d'échappement. Ce que l'on perd d'un côté se retrouve par le fait qu'il devient possible de faire fonctionner le moteur à un régime plus élevé, sans détonation ni surchauffe.

4° Le remplissage. L'admission dans le cylindre du volume de gaz nécessaire se fait à travers les orifices d'admission (soupapes ou lumières) dans un temps donné inversement proportionnel à la vitesse de rotation du moteur.

La discontinuité du phénomène entraîne l'existence de grandes accélérations de la colonne gazeuse dans les tuyauteries en amont du cylindre. Ces accélérations seront d'autant plus importantes et les pertes de remplissage par inertie qui en résultent relativement d'autant plus grandes que la vitesse moyenne de passage au droit des orifices sera elle-même plus grande.

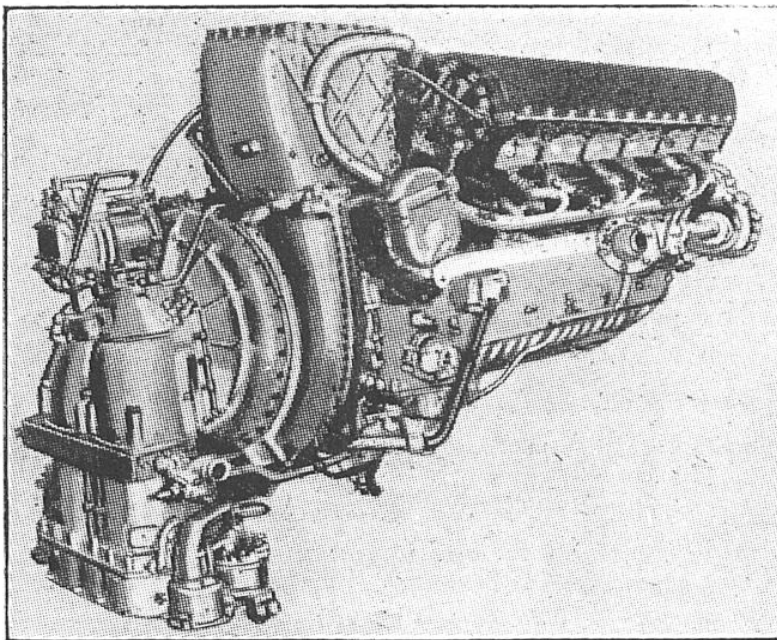
Par conséquent, il importe de diminuer celle-ci autant que possible. On peut le faire :

— soit par augmentation du temps imparti au remplissage en rendant maximum le temps et l'efficacité d'ouverture des orifices. On a tiré, il nous semble, tout ce qu'il était possible du retard à la fermeture de l'admission et du pro-

fil des cames. La solution qui consiste à diminuer la vitesse de rotation n'est pas à conserver parce que celle-ci est en général fixée par d'autres considérations;

— soit par accroissement de la surface des orifices d'admission. Les cylindres à deux soupapes (une d'admission et une d'échappement) sont réservés aux moteurs en étoile à cause de certaines difficultés de réalisation. Les trois soupapes (Junkers « Jumo 211 ») et les quatre soupapes (Rolls-Royce « Merlin » et « Vulture », Mercedes D. B. 601 et 605, etc...) constituent la solution actuelle.

Enfin, les possibilités extrêmes dans cette voie sont atteintes par les distributions à lumières



T W 401

FIG. 4. — LE MOTEUR ANGLAIS ROLLS-ROYCE MERLIN 61

Il diffère de son prédécesseur immédiat Merlin XX (voir fig. 5) (ou XXI) par l'adaptation d'un compresseur à deux étages et deux vitesses, permettant le rétablissement de la puissance à une altitude très supérieure (de l'ordre de 6 500 m au lieu de 4 000).

(liroirs rotatifs pronés en Angleterre par Aspin et fourreaux louvoyants de Burt-Mac Collum sur les Bristol « Taurus » et « Hercules »).

De toutes façons, il ne faut pas oublier que les possibilités d'accroissement des sections de passage sont conditionnées par la surface du cylindre, et la quantité de gaz qui doit les traverser par son volume. On ne peut donc accroître celui-ci au delà d'une certaine valeur sans que la vitesse de passage atteigne des valeurs prohibitives (elles sont actuellement de l'ordre de 150 m/s avec des maxima de 250 m/s).

Cet ensemble de faits établit la limite actuelle de la cylindrée unitaire aux alentours de 3 litres avec des écarts extrêmes de :

— 25 % pour le Rolls-Royce « Merlin » (2,25 litres);

+10 % pour le Wright « Cyclone » (3,22 litres).

Les petits cylindres sont réservés aux moteurs à grande vitesse de rotation (technique anglaise en général, Napier en particulier).

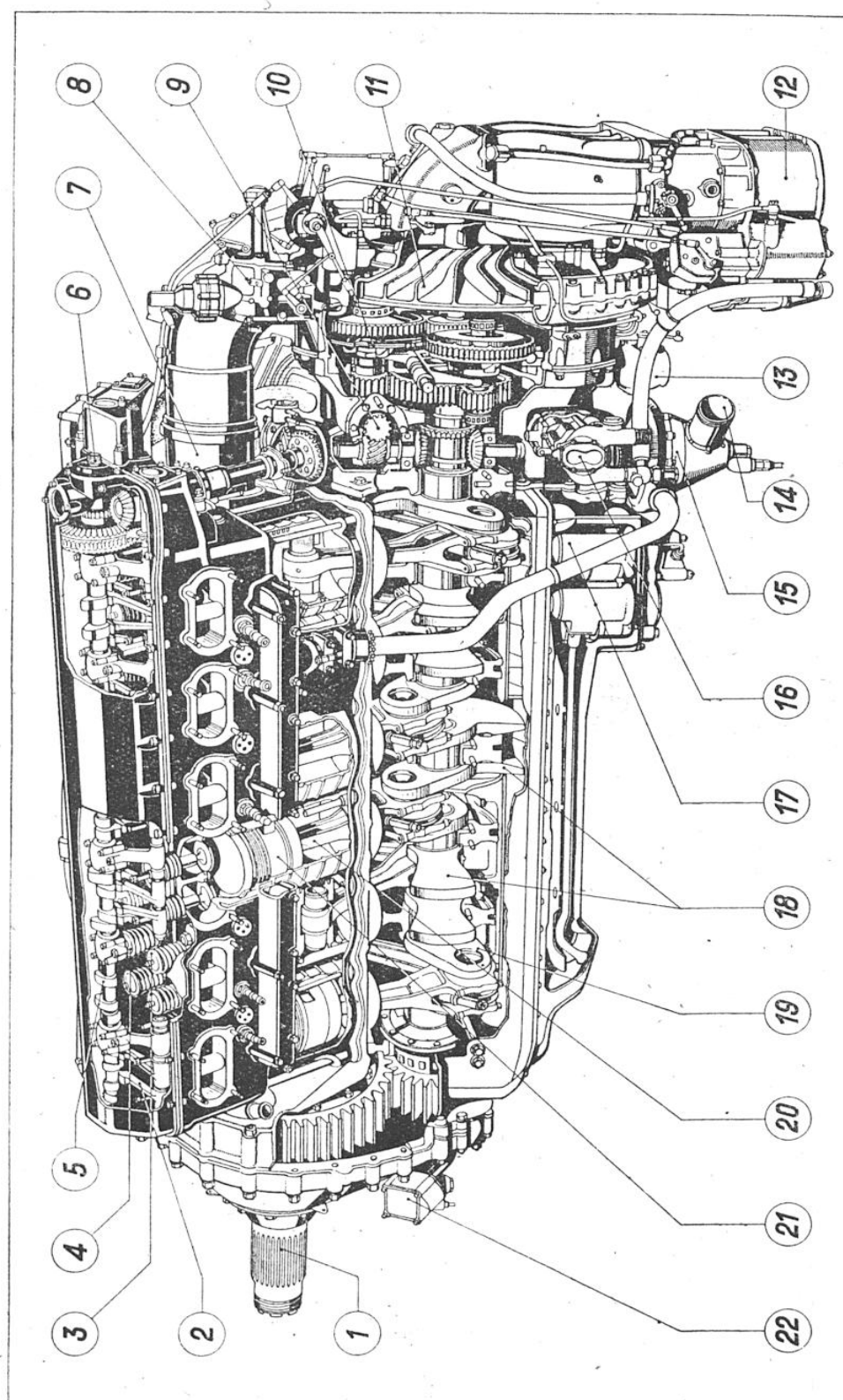


FIG. 5. — LE MOTEUR ANGLAIS ROLLS-ROYCE « MERLIN » XX, 12 CYLINDRES EN V, A REFOIDISSEMENT PAR LIQUIDE, DÉVELOPPANT 1 260 CH A 3 750 M D'ALTITUDE ET 3 000 TOURS PAR MINUTE

1. Arbre porte-hélice; 2. Culbuteur; 3. Soupapes d'échappement (deux par cylindre); 4. Soupapes d'admission (deux par cylindre); 5. Cames commandant les culbuteurs (quatre par cylindre); 6. Prise du couple-tours; 7. Tube d'alimentation en gaz carburé; 8. Régulateur de la pression d'admission; 9. Branchement du distributeur d'allumage; 10. Entraînement du compresseur (deux vitesses); 11. Rotor du compresseur; 12. Arrivée d'air; 13. Pompe à huile pour le compresseur; 14. Liquide de refroidissement; 15. Pompe à liquide; 16. Pompe à huile; 17. Filtre d'huile; 18. Contre-poids; 19. vilebrequin; 20. Bielle; 21. Piston; 22. Commande du changement du pas de l'hélice.

Le nombre de cylindres

Un moteur est constitué par une association de cylindres en principe identiques dont les pistons sont attelés par l'intermédiaire des bielles à un même arbre moteur.

Des lois, par des servitudes qu'elles imposent, régissent le groupement de ces cylindres.

Les forces d'inertie des équipages mobiles (vilebrequins, bielles, pistons) atteignent de grandes valeurs du fait des vitesses de rotation élevées. Leur équilibrage nécessaire a conduit à ne conserver que quelques solutions :

1^o Ligne de six cylindres (théoriquement parfaitement équilibrées avec le vilebrequin classique);

2^o Étoiles de cylindres dont un équilibrage suffisant est possible à l'aide d'une masse tournante liée au vilebrequin.

Ce seront les éléments à l'aide desquels on construira le moteur. Il nous apparaîtra comme constitué de parties séparément équilibrées et il n'y aura pas d'équilibrage d'ensemble compliqué à résoudre.

Nous avons alors deux possibilités d'accroître le nombre de cylindres d'un moteur :

1^o La répartition en éventail autour d'un axe commun des lignes de six cylindres. Ce procédé a donné le 12 cylindres en V, les 18 cylindres en Y ou en W.

Une difficulté a surgi lorsque l'on s'est attaqué au problème des 24 cylindres en X. On sait atteler plus de 4 bielles à un maneton dans les étoiles de 7 ou 9 cylindres. Mais lorsque le vilebrequin est très long, cela devient dangereux. L'importance des efforts à transmettre et leur grande périodicité rend la construction plus fragile et plus sensible à l'effet des vibrations de torsion.

De la sorte, il a paru préférable d'adopter pour les 24 cylindres en 4 lignes de 6 la disposition en H à deux vilebrequins, peut-être plus lourde, mais certainement plus robuste.

Le seul moteur en X en service effectif est le Rolls-Royce « Vulture ». C'est, si l'on veut, un double « Peregrine ». En fait, pour le double de puissance effectivement réalisé, 2 000 ch au décollage contre 960, le « Vulture » accuse 1 200 kg, soit 0,60 kg/ch, le « Peregrine » 520, soit 0,55 kg/ch. L'utilisation d'un carter et d'un vilebrequin au lieu de deux aurait fait espérer un allègement; il n'en a rien été.

Le Napier « Sabre », seul moteur de plus de 2 000 ch (2 400 ?), est un 24 cylindres en H à refroidissement par eau.

2^o La répétition suivant un même axe d'étoi-

les de cylindres adjacentes. L'idée de l'étoile est née du désir de placer tous les cylindres face au vent relatif. Les moteurs en étoile ont donc été jusqu'à présent essentiellement refroidis par l'air. Il n'est pas prouvé qu'il en soit de même lorsqu'on en viendra aux étoiles multiples (3, 4 ou 5 étoiles).

Pour l'instant, ce sont des raisons analogues à celles qui font préférer le 24 H au 24 X qui nous maintiennent à deux étoiles.

Les efforts à transmettre par chaque maneton du vilebrequin sont considérables. Sur ce maneton tourillonné une bielle principale sur

laquelle se concentrent les efforts de 7 ou 9 pistons par l'intermédiaire de 6 ou 8 bielles secondaires. On doit rendre l'un de ces deux éléments, vilebrequin ou bielle principale, démontable. Tant que le moteur ne comporte que deux étoiles, le vilebrequin peut être fractionné et l'expérience prouve qu'il tient. Cette solution est la plus générale actuellement.

Au-dessus, pour 3, 4 ou 5 étoiles, il ne faut pas y songer. Reste la bielle principale démontable. C'est ce que Wright travaille, comme bien d'autres d'ailleurs. Mais là aussi le problème

est ardu. Une solution sûre existe cependant et a reçu la sanction de l'expérience (Pratt et Whitney).

La vitesse de rotation

Ce paramètre, comme la suralimentation que nous étudierons ensuite, est apparu comme un moyen propre à augmenter la cylindrée apparente du moteur sans toucher à son architecture principale.

Cette voie a été fructueuse pendant de nombreuses années, mais est plutôt délaissée pour plusieurs raisons :

1^o En augmentant la vitesse de rotation, on accroît les vitesses linéaires de frottement, en particulier celle du piston dans le cylindre. Les conséquences en sont d'autant plus graves que l'alésage est plus grand. De toutes façons, nous l'avons vu, la vitesse de rotation d'un moteur sera limitée par la vitesse moyenne du piston pour des conditions de lubrification des surfaces en contact.

Une amélioration des huiles employées ou des qualités intrinsèques de frottement de surfaces en présence peut apporter un accroissement de puissance par augmentation de la vitesse de rotation.

2^o On diminue les délais de remplissage ou d'évacuation du moteur. Il respire mal. Les

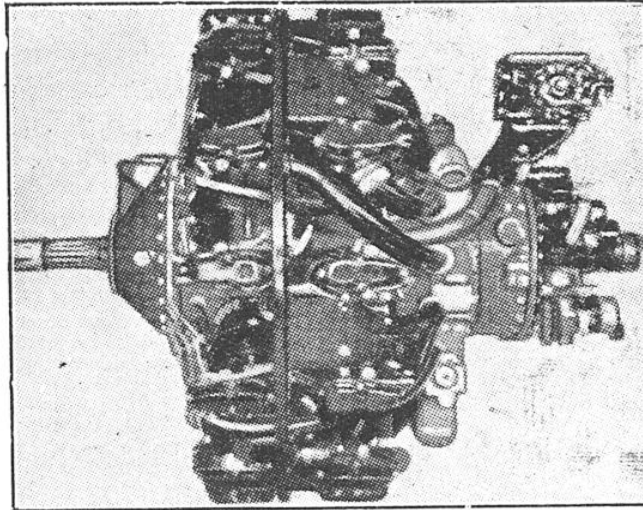
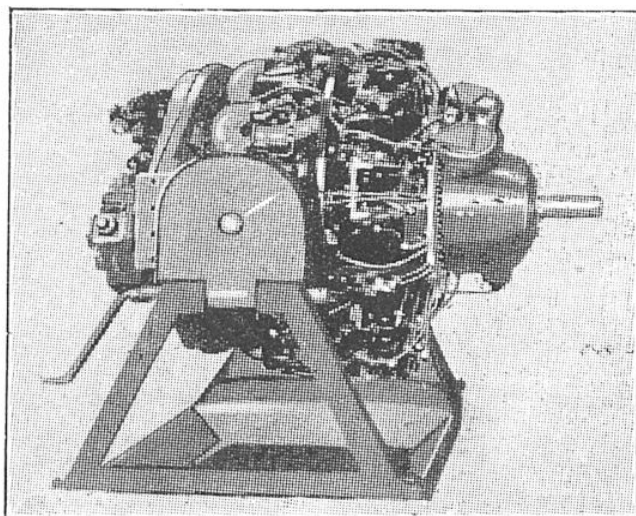


FIG. 6. — VUE LATÉRALE DU WRIGHT « DOUBLE ROW CYCLONE »
Ce moteur, un 14 cylindres en double étoile, fait la transition entre le classique « Cyclone » de 9 cylindres en étoile et le « Duplex Cyclone », 18 cylindres en double étoile, autres productions de la maison Wright.



T W 40124

FIG. 7. — PRATT ET WHITNEY « DOUBLE WASP » R-2800

Ce moteur, 18 cylindres en double étoile, est d'une conception générale analogue à celle du « Twin Wasp » 14 cylindres. La version ordinaire développe 1 875 ch à 2 600 tours/mn au sol. Une autre, plus poussée, atteignant 2 000 ch, a été montée sur l'avion de chasse Republic P-47 « Thunderbolt » avec une hélice à quatre pales.

moteurs aérés à grande cylindrée unitaire, 3 litres par exemple, comme le Bristol « Hercules » à tiroirs ou le DB 601 à quatre soupapes, tourne plus vite (3 000 à 2 700 t/mn) que le Hispano 12 Y à deux soupapes (2 400 t/mn).

Si le volume du cylindre diminue beaucoup, comme dans les Napier « Dagger » et « Sabre » (0,7 à 1,7 litre), la vitesse de rotation peut croître de façon importante et atteindre 4 000 t/mn. (La course est réduite de façon telle que la condition de vitesse moyenne du piston soit satisfaite.)

3° Il ne faut pas oublier que les phénomènes d'inertie croissent comme le carré des vitesses. Les pièces en mouvement (pistons, bielles, vilebrequins) sont soumises à de plus grands efforts; mais surtout les répercussions sur l'ensemble du moteur sont d'autant plus graves que l'équilibrage est moins parfait.

Conclusion : Il faut alléger et équilibrer l'équipage mobile.

La suralimentation

La suralimentation apparaît comme le procédé le plus étudié et le plus pratiqué depuis une dizaine d'années. Elle a eu un succès considérable en aviation parce qu'elle permet de résoudre le double problème de la production de la puissance et de sa conservation en altitude.

Dans le moteur normal, le remplissage s'effectue par aspiration. Les pertes de charge dues à la circulation des gaz d'admission dans les tuyauteries provoquent une différence de pression entre le cylindre où le piston descend et l'atmosphère. Il en résulte une diminution de la densité du gaz admis, donc une perte de puissance.

L'idée est venue de placer sur l'admission

un organe capable de fournir de l'air sous une plus grande densité. Deux procédés étaient possibles : augmenter la pression ou diminuer la température. Le premier, le plus commode, fut choisi et le compresseur vit le jour.

On l'a employé en premier sur les moteurs d'automobiles de course. Son introduction en aviation eut pour but de lutter contre la diminution de densité avec l'altitude. Maintenant il remplit ce rôle et celui de surcharger le moteur au sol pendant un temps assez court pour permettre un décollage plus aisé.

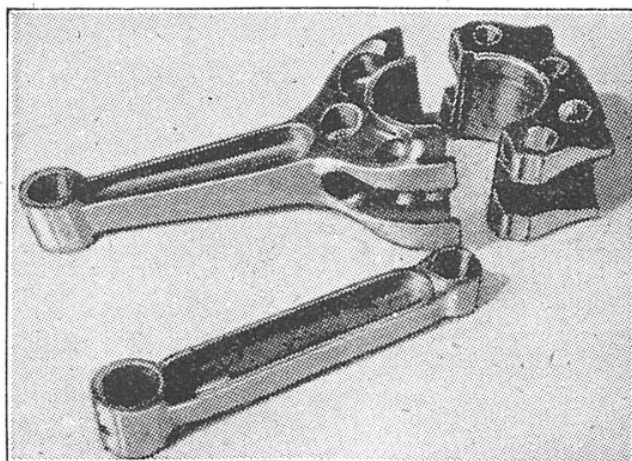
On ne peut aller aussi loin que l'on veut dans ce sens. La pression maximum dans le cylindre est fonction de la pression d'admission. Celle-ci ne peut pas dépasser une certaine valeur sans danger. C'est la pression d'admission maximum caractéristique du moteur. (La température joue aussi son rôle par l'intermédiaire de la densité, mais son influence est plus faible.)

Un compresseur sera d'autant plus puissant qu'il permettra de rétablir cette pression à une altitude plus élevée, dite altitude de rétablissement. Au-dessus de cette altitude, on place un limiteur qui maintient la pression d'admission à la valeur maximum admise.

Cette façon de faire entraîne des inconvénients. Le compresseur donne corrélativement à l'augmentation de pression une augmentation de température (évolution adiabatique du fluide dans le compresseur centrifuge, rendement de celui-ci inférieur à l'unité). Elle entraîne une diminution de densité toujours regrettable et une élévation générale des températures internes qui peut faire apparaître la détonation.

Jusqu'en 1939, ce mode d'emploi était général et les moteurs de l'époque possédaient un compresseur à une seule vitesse rétablissant à des altitudes variant entre 2 000 et 4 000 mètres.

Les besoins militaires ont montré la nécessité impérieuse des vols à haute altitude entre 6 000 et 10 000 mètres pour le bombardement qui échappe aux batteries terrestres et pour la chasse qui doit l'y rejoindre.



T W 40125

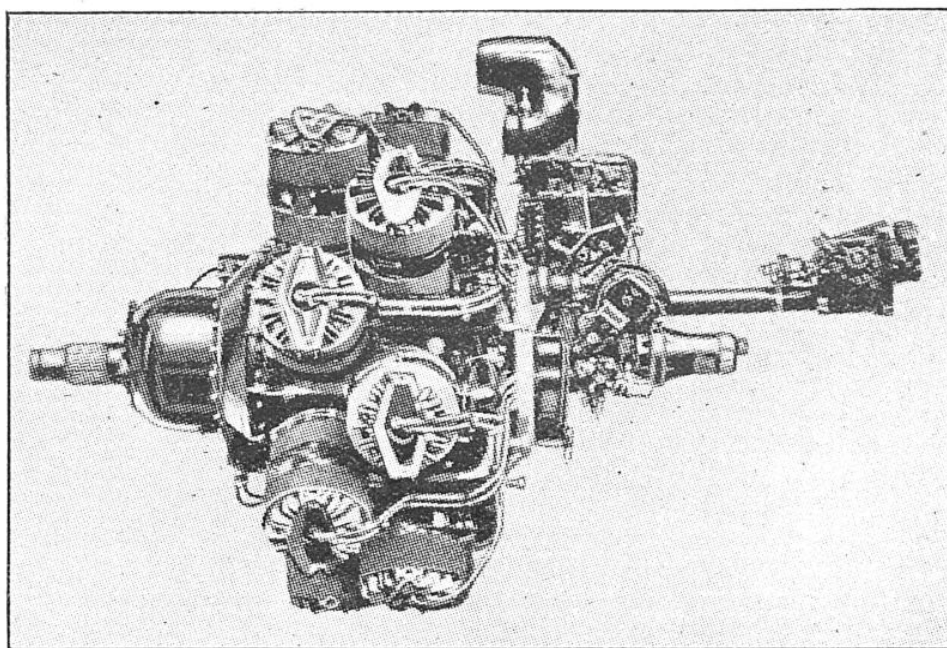
FIG. 8. — BIELLE PRINCIPALE EN DEUX PARTIES ET BIELLETTE DU « TWIN WASP »

Alors qu'en totalité les constructeurs de moteurs en double étoile sont fidèles à la solution du vilebrequin en trois parties, Pratt et Whitney a adopté la bielle démontable. C'est cette conception qui permettra sans doute dans l'avenir la multiplication du nombre d'étoiles.

Extrapoler la solution admise jusqu'à là ne pouvait se soutenir. Le compresseur à une seule vitesse rétablissant au-dessus de 4 000 mètres entraînait une grande dissipation d'énergie et une trop grande élévation de température au-dessus de cette altitude. La solution idéale eût été le changement de vitesse continu assurant le rapport de pression convenable à toute altitude. On vit apparaître les compresseurs à deux vitesses, puis ceux à deux étages de compression embrayés successivement, enfin le dernier mot de la technique actuelle : le compresseur à deux vitesses et deux étages.

Ce sont des compresseurs de ce type qui sont montés sur les derniers modèles Allison V 1710 et sans doute Rolls Royce « Merlin » 61. Ce dernier doit donner 1 600 ch à 3 000 tours/mn à 6 000 mètres. Sa puissance à 12 000 mètres serait le double de celle du « Merlin » X (compresseur à 2 vitesses).

Le changement de vitesse mécanique continu n'est pas la seule solution parfaite possible.



T W 40126

FIG. 10. — LE MOTEUR BRISTOL « HERCULES » XI

C'est un 14 cylindres en double étoile à distribution par fourreaux loupoyants. Il est issu du « Perseus » et a donné lieu à une version réduite, le « Taurus », de 1 025 ch à 3 225 tours/mn au sol pour un diamètre de 1 175 mm contre 1 320 mm pour le « Hercules ». De 1936, date de sa parution, à décembre 1943, ce dernier a vu passer sa puissance de 1 308 ch à 2 800 tours/mn au sol, à 1 600 ch à 2 900 tours/mn au sol.

Il en existe une autre : le changement de vitesse aérodynamique continu qui a été mis au point en France par MM. Szydlowski et Planiol.

Dans les compresseurs centrifuges ordinaires, la compression se fait en deux temps, dans la roue et dans le diffuseur. Szydlowski la réalise en trois temps en adjoignant à la roue une petite turbine à ailettes. Des aubages directeurs placés à l'entrée du compresseur peuvent, suivant leur position, réaliser l'admission axiale de l'air ou au contraire lui communiquer une vitesse de rotation autour de l'axe du compresseur.

Si cette vitesse de rotation est de même sens que celle du rotor, le rapport de pression donné diminue; aux faibles vitesses du moteur il peut même y avoir récupération d'énergie, la petite turbine fonctionnant en moulin à vent. Si la vitesse de l'air est opposée à celle du rotor on a au contraire le rapport de pression maximum. Pour les positions intermédiaires des aubages on peut avoir tous les rapports de pression souhaitables.

Cet avantage de principe joint à une construction remarquable a fait du Szydlowski un compresseur de grande classe dont le rendement en service peut atteindre 0,82. Il a été monté sur les Hispano 12 Y de série et sur les premiers Hispano 12 Z sortis.

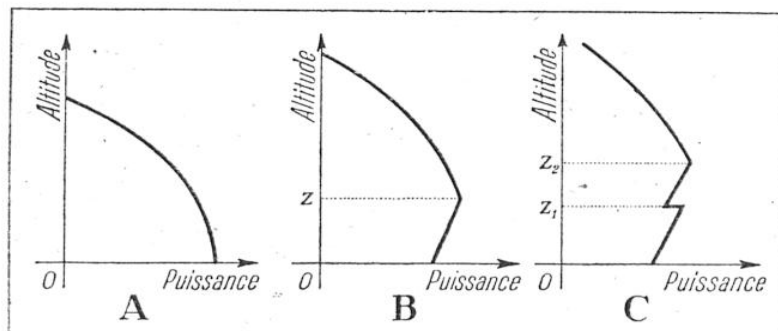
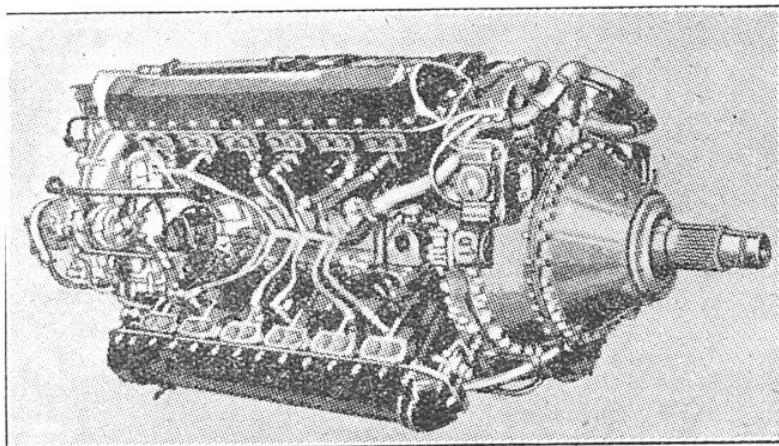


FIG. 9. — COURBES DE VARIATION DE LA PUISSANCE EN ALTITUDE

A. Moteur sans compresseur. La puissance décroît au fur et à mesure que l'on s'élève. A une certaine altitude, la puissance produite est juste suffisante pour vaincre les frottements; au-dessus, il faudrait un appoint de puissance extérieure pour que le moteur puisse continuer à tourner. — B. Moteur avec compresseur à une seule vitesse d'entraînement. L'altitude à laquelle le compresseur donne juste la pression maximum admise est l'altitude de rétablissement Z. La puissance produite est alors supérieure à celle produite au sol du fait de la diminution de la contre-pression à l'échappement. Au-dessus de l'altitude de rétablissement, la puissance décroît de façon continue. — C. Moteur avec compresseur à deux vitesses (ou deux étages). Il y a deux altitudes de rétablissement et deux puissances caractéristiques en altitude.



T W 40127

FIG. 11. — LE ROLLS-ROYCE « VULTURE » (24 CYLINDRES EN X)
DE 2 000 CH

Il serait possible d'augmenter encore la puissance en altitude en accroissant la densité de l'air par un refroidissement à la sortie du compresseur ou après chaque étage intermédiaire. Il existe à l'heure actuelle en service effectif deux exemples de ce procédé (Wright « Cyclone » à turbo-compresseur du Boeing B. 17 F et G « Fortress » et Rolls-Royce « Merlin » 61).

Les rendements

L'augmentation de puissance peut encore se faire par augmentation des rendements thermodynamiques ou mécaniques.

Nous avons vu que le rendement réel d'un moteur n'était que la moitié environ de celui prévu par le théorème de Carnot. Si l'on parvient à augmenter de 10 % le rendement d'un moteur de 2 000 ch, c'est un gain de puissance de 800 ch que l'on obtiendra.

Les différences entre le cycle de Carnot et le cycle réel décrit par les gaz dans le cylindre sont dues aux pertes de chaleur par parois ou par imbrûlés et aux laminages des gaz et dégradation tourbillonnaire d'énergie lors de leurs transvasements.

L'étude plus poussée du refroidissement et de l'aérodynamique interne du moteur doit permettre de se rapprocher davantage de cette limite qu'est le rendement théorique.

Le fait que le rendement croisse avec le rapport volumétrique nous ouvre également une voie. Seulement elle nous conduit bien vite au moteur Diesel.

Les moteurs à allumage commandé, à carburateur ou à injection, supposent essentiellement que, tout le carburant soit introduit dans le cylindre avant l'allumage. Il s'ensuit que ce carburant se trouve placé pendant un temps qui n'est pas négligeable, dans une atmosphère oxydante à haute température et haute pression. Des modifi-

cations de structure se produisent, des composés endothermiques instables apparaissent entraînant la détonation et l'impossibilité de fonctionnement.

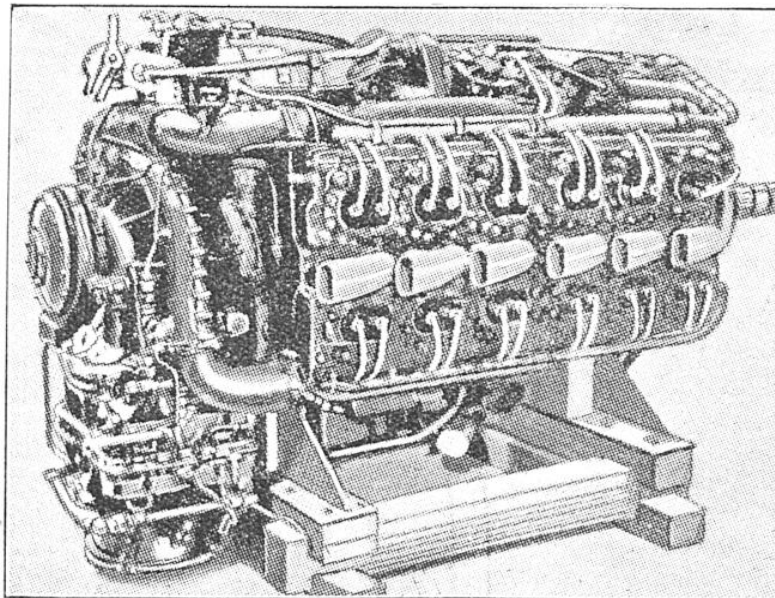
Dans ces moteurs, il s'avère impossible de dépasser le rapport volumétrique de 7, même avec le carburant résistant le mieux à ce phénomène (essence indétonante à 100 d'octane). En fait, ils vont de 6,8 pour les Junkers « Jumo » 211, à 6 pour les Rolls-Royce « Merlin » et « Vulture ».

Dans le Diesel, au contraire, le carburant brûle au fur et à mesure de son introduction dans le cylindre. On peut aller aussi loin que l'on veut dans le domaine de l'élévation des rapports volumétriques. Mais comme la pression maximum en est une fonction rapidement croissante, on n'a pas toujours intérêt à le faire, car cela conduirait à une construction trop lourde. Le cas du Junkers et du

Deschamp l'a montré. Toutefois, la condition d'allumage automatique introduit une limite inférieure du rapport volumétrique. L'abaisser aux environs de 9 ferait faire un grand pas aux moteurs Diesel d'aviation.

Enfin, la puissance perdue dans les gaz d'échappement représente près du double de celle produite par le moteur, et elle augmente avec l'altitude. Il importe d'en récupérer même une petite partie. Ce sera une obligation pour les moteurs d'avions stratosphériques, car la plus grande partie de l'énergie absorbée par le compresseur se trouvera dans l'échappement.

A l'heure actuelle, les turbines d'échappement ne sont pas encore au point pour une question de tenue des matériaux aux températures de 800 et 1 000° rencontrées à la sortie du moteur.



T W 40128

FIG. 12. — LE NAPIER « SABRE », MOTEUR DE 24 CYLINDRES EN H,
A REFOUILLISSEMENT PAR LIQUIDE, DÉVELOPPANT 2 200 CH

On n'utilise les gaz qu'après détente et refroidissement dans des turbines à réaction. Les puissances récupérées sont faibles et de l'ordre de celles absorbées par le compresseur. Comme turbine et compresseur tournent à des vitesses comparables (25 000 tours/mn), il a paru séduisant de grouper les deux en turbo-compresseur (Rateau).

Cette solution est appliquée actuellement avec des originalités de détails sur les Wright « Cyclone » des Boeing B-17 « Fortress » et sur certains Allison V 1710.

Nous ne pensons pas que ce soit la solution d'avenir. Les puissances récupérées par des turbines adaptées seront certainement assez considérables pour justifier leur branchement direct sur l'arbre moteur. La production de la puissance aura lieu ainsi en deux étages, alternatif à haute pression et continu à basse pression.

Les solutions spéciales

Il reste un dernier moyen de constituer une unité plus puissante, c'est le groupement en tandem (ou en parallèle) de deux moteurs au moyen d'une transmission appropriée. Cette solution, jointe à celle des hélices doubles coaxiales, est séduisante par l'augmentation de puissance au maître couple qu'elle apporte. Toutefois l'alourdissement dû à la transmission et à la décomposition de la puissance ainsi que les restrictions d'emploi nécessitées par une solidarisation minimum des bâtis-moteurs, semble plutôt indiquer que nous avons là une réalisation de transition ou d'emplois spéciaux.

Elle sera néanmoins d'un grand intérêt en France où la crise de la puissance est plus aiguë que partout ailleurs.

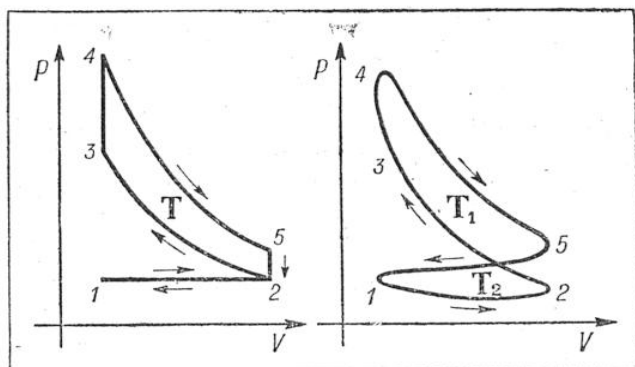


FIG. 13. — CYCLES THÉORIQUE ET RÉEL DÉCRITS PAR LE FLUIDE DANS LE CYLINDRE D'UN MOTEUR A EXPLOSION

Les différences proviennent du fait de l'aspiration (trajet 1-2) qui se fait en dépression dans la réalité, de l'élévation de température due à la combustion (trajet 3-4) qui n'est pas instantanée, enfin de l'échappement (trajet 5-1). Le rendement du cycle, proportionnel à l'aire T dans le premier cas, l'est dans le second à la différence des aires T_1, T_2 .

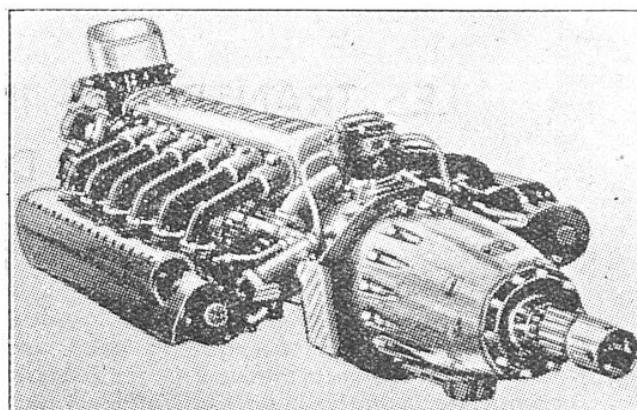


FIG. 14. — UN MOTEUR PLAT AMÉRICAIN

Le 12 cylindres Lycoming, O-1230-D-12, à refroidissement par liquide, développe 1 200 ch au décollage. Il servira sans doute à la constitution d'un 24-cylindres en H de 2 400 ch environ.

Les puissances de l'avenir

Les différents moyens d'obtenir une plus grande puissance que nous venons d'examiner se répartissent en deux catégories : ceux qui consistent à brûler davantage d'essence, et ceux qui permettent de tirer un meilleur parti d'une quantité donnée. Il a semblé que les premiers étaient d'une mise en œuvre plus facile. Aussi durant cette guerre, où les dépenses d'utilisation ne sont pas entrées en ligne de compte, ce sont surtout ceux-là qui ont eu cours.

L'après-guerre, en dehors du grand nombre de moteurs de petite puissance qu'exigera l'aviation privée, aura encore besoin de moteurs puissants pour ses avions de transport. Mais alors la préférence ira au plus économique. C'est donc au problème des rendements et de la récupération des énergies perdues que vont s'attaquer les techniciens. C'est ce domaine qui, nous le pensons, ouvre les plus grandes perspectives.

Nous aurons donc des moteurs de plus de 2 000 ch. Pour avoir une idée de la puissance maximum qui peut être demandée à un moteur dans l'état actuel de la technique d'utilisation, il suffit de se reporter aux puissances que peuvent mettre en œuvre les hélices modernes. Pour 1 800 ch on peut encore se contenter de l'hélice à trois pales de grand diamètre, mais les 2 000 ch du Pratt et Whitney R. 2 800 monté sur le Republic P-47 « Thunderbolt » de chasse ont nécessité une hélice à 4 pales. En tout cas, la mise au point des hélices doubles coaxiales porte à au moins 4 000 ch leur capacité d'absorption.

Par conséquent, nous avons devant nous de larges possibilités avec la certitude que chaque gain réalisé sera bien accueilli et immédiatement utilisé.

Jean BERTIN.

LES TRANSPORTS INTERCONTINENTAUX DE DEMAIN

par Charles SILLARDS

Si l'organisation des transports entre continents ne posait pas, avant-guerre, de problème majeur, puisque le navire assurait à lui seul la presque totalité des transports transocéaniques et ne subissait que dans des cas très limités la concurrence de l'aviation, on peut affirmer aujourd'hui, au contraire, qu'une des principales conséquences du conflit actuel dans le domaine de la vie économique internationale découlera de la technique nouvelle des grandes liaisons intercontinentales. A côté du navire, un nouveau moyen de transport à longue distance vient de faire son apparition et s'impose chaque jour davantage : l'avion. Et lorsque les échanges entre les peuples reprendront demain, un double problème, qu'il faudra résoudre au plus tôt, se posera : d'une part, harmonisation des deux moyens de transport, l'ancien et le nouveau, le navire et l'avion, et d'autre part, adaptation des instruments de transport aux produits transportés qui, reflétant la profonde empreinte de la guerre sur l'économie mondiale, ne se présenteront peut-être pas sous des formes et suivant des courants d'échanges identiques à ceux que nous leur connaissions il y a seulement quelques années.

Les nouvelles méthodes de la construction navale

Il semble bien que, du fait des répercussions directes du conflit actuel sur le tonnage mondial, tant du point de vue pertes que reconstruction, la flotte marchande apparaîtra, au lendemain de la guerre, assez différente, par ses caractéristiques et par ses types de navires, de celle d'avant-guerre.

La construction navale, en effet, a connu une révolution complète. La durée de construction du navire, qui n'était autrefois que rarement inférieure à un an, est tombée aujourd'hui à quelques semaines, par suite de l'application à cette industrie des procédés employés jusqu'ici dans la construction automobile, c'est-à-dire travail à la chaîne, standardisation des pièces, production de masse; l'emploi de ces procédés a eu pour conséquence de pousser au maximum le travail à l'atelier, les opérations pratiquées sur le chantier lui-même se ramenant au montage des gros éléments.

A ces progrès résultant d'une organisation scientifique du travail, s'est ajouté, par ailleurs l'emploi extensif de procédés purement techniques d'une pratique peu courante avant-guerre, parmi lesquels il faut citer le plus remarquable : l'emploi de la soudure pour la construction des coques des navires. Ce procédé, dont la mise au point est aujourd'hui définitivement acquise, permet, en se substituant au procédé ancien du rivetage, de réduire considérablement le poids des navires. Si l'on considère que l'allègement en résultant peut être évalué à 10 % du poids de la coque et à 6 % environ du poids du navire vide, on aperçoit les importants avantages qui en découlent : amélioration de la vitesse ou, si l'on préfère, économie de puissance et, partant, de combustible.

S'il est difficile de porter un jugement sur l'avenir de tels procédés de construction en série, liés à une production exceptionnelle nécessitée par les événements, toujours est-il que l'emploi de cette technique de la part des grandes puissances maritimes permet de penser qu'il n'y aura pas de crise par manque de tonnage lors de la reprise des relations internationales.

Que seront les navires marchands d'après-guerre ?

Une considération essentielle découle par ailleurs de cette nouvelle technique : le tonnage marchand à flot comprendra en majeure partie des navires de type standard, les pertes de navires spécialisés n'ayant été compensées que dans une très faible mesure par une production correspondante de navires du même genre. Les navires ainsi produits — qui constitueront l'élément principal du tonnage mondial de demain — présenteront par certains côtés des caractéristiques assez différentes de celles des bâtiments long-courriers d'avant-guerre : leurs dimensions seront plus imposantes et leur port en lourd plus élevé (de l'ordre de 10 000 t, par opposition aux 8 000 t en moyenne d'autrefois). Leur vitesse, enfin, apparaîtra dans l'ensemble supérieure à celle d'avant-guerre, encore que, depuis 1939, la production navale se soit partagée entre navires lents et navires rapides. Mais si l'on considère que les navires rapides actuels pourront être exploités commercialement presque dès la fin des hostilités et que, d'autre part, des améliorations de vitesse sont prévues pour les navires lents, on peut affirmer que les vitesses atteintes présenteront un progrès assez marqué et seront de l'ordre de 15 à 17 nœuds. Car, s'il semble que les dimensions et le mode de fabrication des construc-

tions actuelles découlant des nécessités de la guerre ne lui survivront pas, il apparaît bien, par contre, que l'accroissement de la vitesse des navires soit un élément durable.

Mais on sait que la vitesse est un luxe et que sa généralisation n'ira pas sans poser de sérieux problèmes d'exploitation : on a estimé, en effet, que le coût de construction d'un navire de 16 nœuds était supérieur de 60 % à celui d'un navire de 10 nœuds, et que les dépenses d'exploitation, qui étaient de 100 dans le cas

l'air peut être égale à la résistance de la mer pour un cargo de taille moyenne et de vitesse normale par gros temps debout à la mer. On a estimé que, par forte tempête, 50 % de la puissance des machines pouvaient être absorbés par la résistance que l'air oppose aux parties du navire situées au-dessus de la ligne de flottaison. Il en résulte qu'il sera indispensable d'apporter plus d'attention à ces formes qu'on ne l'avait fait jusqu'ici, car, bien plus que la vitesse aux essais, ce qui compte pour l'arma-

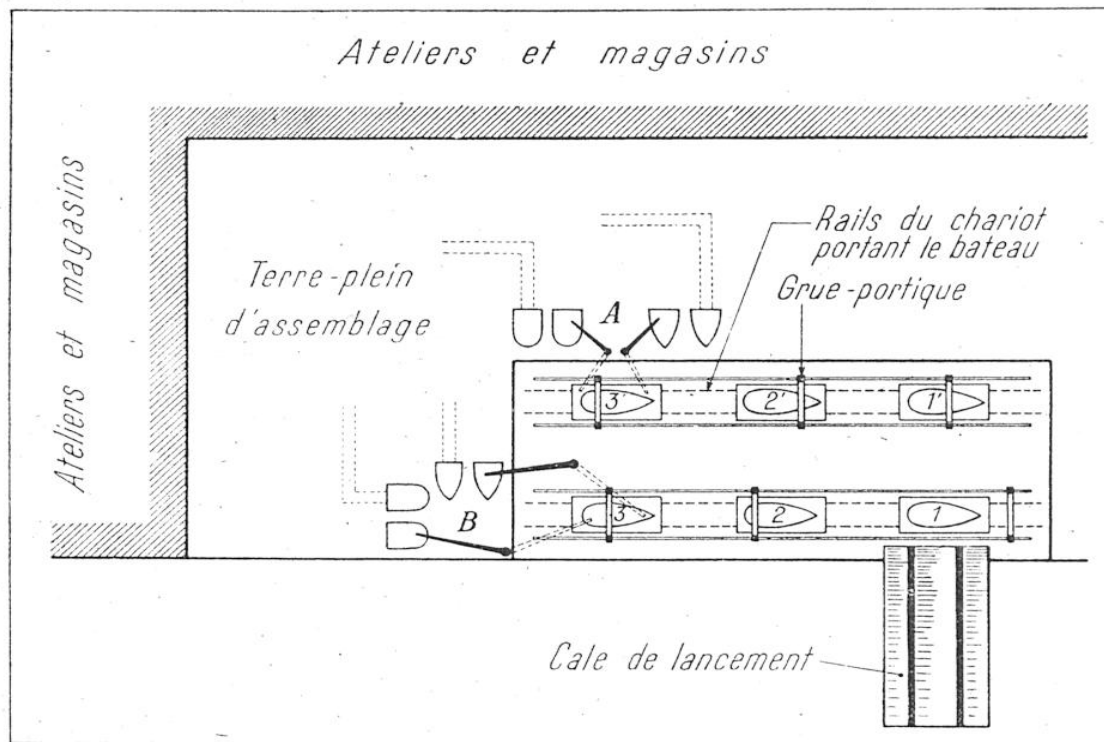


FIG. 1. — EXEMPLE SCHÉMATIQUE DE CONSTRUCTION A LA CHAÎNE POUR DES BATIMENTS DE FAIBLE TONNAGE

Les navires de chaque chaîne sont terminés simultanément en 1 et 1' et lancés successivement au poste 1 au moyen d'un seul « ber » de lancement par le travers. Les bâtiments des postes 2 et 2', à un moindre degré de finition, passeront en 1 et 1' lorsque leur construction sera assez avancée. Les assemblages sont effectués sur un terre-plein et les ensembles transportés sur chariots en A et B. La construction et le montage des éléments principaux de la coque sont effectués par soudure sur une plate-forme environnée des autres plate-formes où s'effectue le montage de constructions moins importantes. Des ensembles complets, tels que des roufles ou châteaux, avec tous leurs accessoires, tuyautages, serrurerie, manches à air, rambardes, canalisations électriques peuvent ainsi être exécutés à l'atelier et mis en place d'un seul coup au moyen de puissantes grues. C'est sur ce principe que les chantiers suédois Kockums et Gota-werken ont construit de nombreuses unités. Utilisée dans plusieurs chantiers des Etats-Unis, cette méthode a été mise en œuvre aussi en Allemagne sur une grande échelle pour la construction en série de bateaux de guerre de faible tonnage et des sous-marins.

du 10 nœuds, passeraient à 190 pour un navire de 16 nœuds. Aussi peut-on penser que l'on verra se développer dans l'avenir l'étude de procédés permettant une amélioration de la vitesse du navire sans augmentation parallèle de sa puissance motrice, étude qui n'avait pas été poussée à fond jusqu'ici. Il semble, en particulier, qu'il y ait encore beaucoup à faire en matière de profilage des formes du navire, tant pour les œuvres vives que pour les œuvres mortes. Ces dernières n'ont été pour ainsi dire jamais étudiées, et on aperçoit l'œuvre étendue qui reste encore à accomplir dans ce domaine, si l'on considère que la résistance de

teur, ce sont les qualités du navire à la mer dans les conditions d'exploitation usuelle, c'est-à-dire la vitesse moyenne qu'il donne par an dans les conditions variables de l'atmosphère et de l'eau.

L'essor des transports aériens

Mais les améliorations techniques importantes réalisées ou à prévoir dans le domaine du transport maritime, ne sont pourtant comparables en rien aux progrès obtenus, en quelques années, en matière d'aviation.

Quelques données techniques permettent un

coup d'œil d'ensemble sur le bond effectué ces dernières années :

De 1930, date de la première liaison aérienne française sur l'Atlantique Sud, à nos jours, les principales caractéristiques des appareils à grand rayon d'action se sont modifiées ainsi : le poids des appareils est passé à 5,5 t (poids du Laté 28) à 40 t pour les avions et 60 t pour les hydravions, et l'on prévoit pour dans un temps assez proche des poids de respectivement 100 et même 120 tonnes. La charge marchande, d'un autre côté, a évolué d'une manière encore plus nette : de 300 kg en 1930, elle s'était élevée à 5 t environ en 1939 pour un parcours de 3 000 km; elle est passée aujourd'hui à 12 t pour un rayon d'action de 6 000 km et

diffusion des informations météorologiques. Le mauvais temps, qui constituait autrefois un obstacle sérieux à la mise en service des appareils, ne produira plus ses effets, que dans des cas exceptionnels. De là est né un résultat remarquable du point de vue exploitation commerciale des avions : la régularité des transports aériens. Et l'on peut dire que demain l'avion pourra prendre l'air de jour comme de nuit en toutes saisons.

Mais ce bref aperçu sur l'évolution des transports aériens ne serait pas complet si l'on ne faisait pas mention du résultat auquel tous ces progrès techniques ont apporté leur contribution et qui est à la base de la place de choix qu'occupera demain l'avion dans les transports :

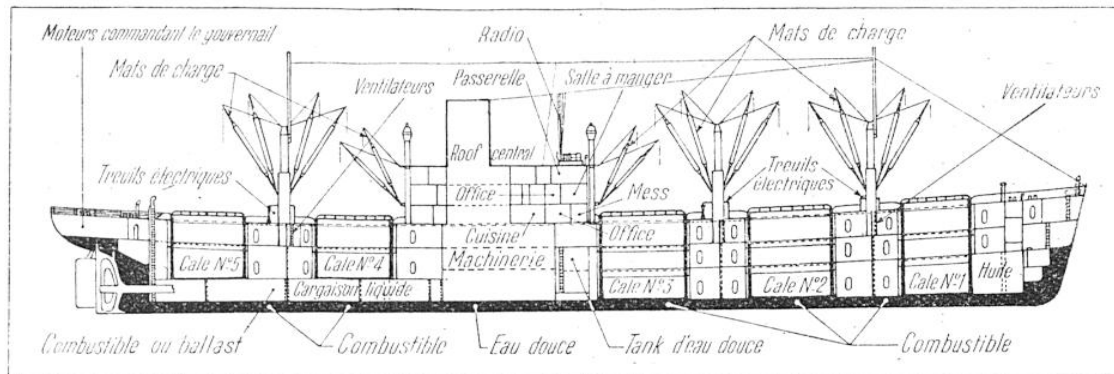


FIG. 2. — UN CARGO AMÉRICAIN DE LA CLASSE « C₁ »

Sur les cargos de la classe C₁, dont certains sont à turbines et d'autres à moteurs Diesel, la coque est en grande partie soudée. Les caractéristiques principales sont : longueur hors tout, 127 m; largeur, 18,30 m; tirant d'eau en charge, 8,40 m; déplacement, 12 875 t; port en lourd, 8 977 t, dont 7 469 t de marchandises et 1 183 t de combustible; équipage, 41 hommes; puissance de l'appareil moteur, 4 000 ch; vitesse en service : 14 nœuds.

l'on peut prévoir pour un proche avenir une capacité de 20 et même 30 et 35 t sur les super-gros porteurs, toujours sur 6 000 km. La vitesse de croisière enfin s'est élevée de 170 km/h à 400 km/h, tandis que le rayon d'action des engins était porté de 2 500 km à 6 000 km. Et ces diverses données sont loin de constituer une limite. Le vol stratosphérique, en particulier, pourrait bouleverser les possibilités actuelles de l'avion notamment du point de vue vitesse. Suivant les études actuellement en cours et d'après les résultats enregistrés lors de vols à 10 000 m, on est en droit d'escompter pour 1950 le transport aérien à des altitudes de 15 000 à 20 000 m à des vitesses très supérieures à celles envisagées suivant les données de la technique actuellement pratiquée. Les vitesses atteintes seraient de l'ordre de 900 ou 1 000 km/h, et ceci dans des conditions de confort supérieures, qui résulteraient en particulier de l'adoption de cabines sous pression évitant les effets de l'altitude sur l'organisme et permettant le vol au-dessus des zones de tempête, d'orage ou de givrage.

Parallèlement au développement technique de l'engin lui-même, la mise au point de procédés nouveaux est venue permettre l'extension des possibilités commerciales de l'avion; il faut signaler dans cet ordre d'idées le développement remarquable du vol de nuit grâce au fonctionnement impeccable du pilotage sans visibilité (P.S.V.) et à l'organisation très étudiée de la

l'accroissement de la sécurité. Les chiffres prennent ici une éloquence particulière : suivant les statistiques établies, on a constaté qu'entre 1930 et 1940, le risque inhérent à la navigation aérienne était tombé de 16 à 1,4 (cet indice étant calculé sur 100 000 passagers ayant effectué 100 000 km en avion).

La poste aérienne

Ainsi l'avion apparaît — par ses possibilités commerciales actuelles et à venir, ainsi que par son importance numérique — comme un élément majeur dans l'organisation des transports intercontinentaux. Mais sa domination ne s'étendra pas à toutes les catégories de transport et donnera lieu à une confrontation étroite de ses avantages et inconvénients avec le navire.

Sa suprématie semble certaine pour l'acheminement du courrier. La magnifique réalisation de la France sur la ligne Mermoz de l'Atlantique-Sud était déjà une belle illustration des possibilités de l'avion et laissait prévoir la grande extension que pourrait prendre le transport du courrier par air. L'utilisation de l'avion dans ce but est aujourd'hui d'usage courant chez les belligérants et cette position ne pourra que se renforcer dans l'avenir lorsque, à l'instar de certains pays, toutes les nations auront adopté la suppression de la surtaxe pour le transport du courrier par avion. L'avion pos-

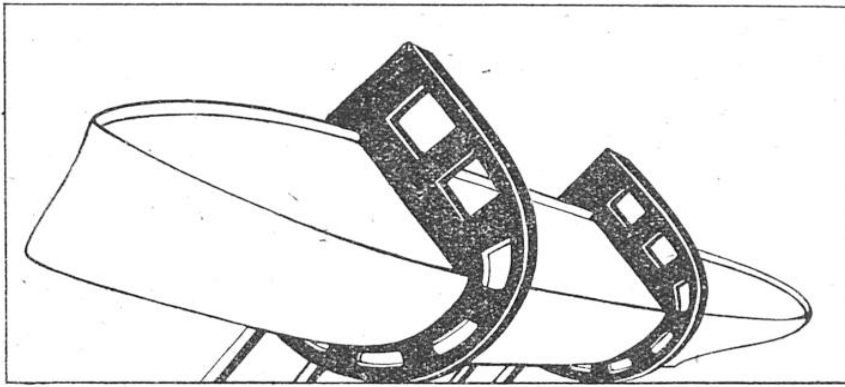


FIG. 3. — SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN NOUVEAU PROCÉDÉ DE CONSTRUCTION RAPIDE DE NAVIRES OU D'ÉLÉMENTS DE NAVIRES

Des gabarits facilement amovibles et des épontilles permettent de présenter un navire ou un tronçon de navire dans les positions les plus favorables aux travaux de construction, quel que soit son état d'avancement. La coque se présente ainsi successivement la quille en l'air, chavirée sur le côté et enfin dans la position normale. Les travaux de soudure des tôles d'acier seraient considérablement facilités, car ils pourraient s'effectuer toujours horizontalement et par dessus, d'où la possibilité de faire appel à une main-d'œuvre moins entraînée.

sède dans ce domaine la qualité primordiale et décisive réclamée par l'expéditeur : la vitesse.

Le transport des passagers

C'est également le facteur vitesse qui doit faire jouer un rôle de premier plan à l'avion dans le transport des passagers.

Déjà, avant cette guerre, on avait démontré la possibilité de grandes liaisons interocéaniques en inaugurant, le 21 octobre 1936, un service pour passagers, aérien cent pour cent, entre San Francisco et Manille (6 950 milles, soit 12 900 km) par Honolulu, Midway, Wake et Guam. Ce service, prolongé jusqu'à Hong-Kong à partir du 21 avril 1927, comportait une liaison hebdomadaire dans chaque sens; après cinq années d'exploitation, 442 traversées avaient été réalisées, et ce dans des conditions de sécurité quasi absolue.

On sait, par ailleurs, que le 20 mai 1939 fut ouverte aux passagers la ligne New York-Lisbonne. L'Atlantique-Nord était franchi en trente heures, soit via les Açores et les Bermudes, soit via Miami-Boloma. Après trois années d'exploitation, 18 647 passagers répartis sur 675 traversées, avaient été transportés sans incident (sauf au début de 1943 lors d'un amérissage à Lisbonne).

Depuis lors, l'expérience acquise, l'amélioration des conditions de traversée, ainsi surtout que la baisse constante du prix du passage par avion, bientôt égal à la première classe du paquebot, permettent de déduire la participation extensive que prendra demain

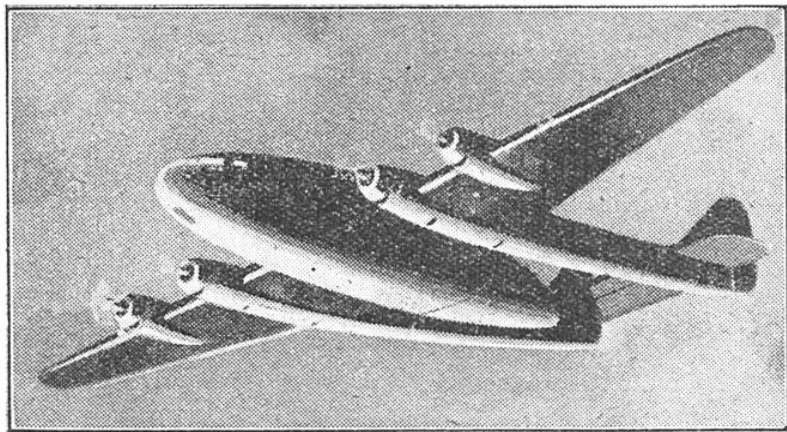
l'avion — définitivement entré dans les mœurs — sur les grands parcours transocéaniques. Si l'on prend l'exemple de l'Atlantique-Nord — particulièrement intéressant pour nous — et si l'on considère que, pour l'année qui s'est terminée le 30 juin 1939, il est arrivé aux Etats-Unis un total de 291 000 passagers venant d'Europe, et en Europe un total de 276 000 passagers venant d'Amérique et que, parmi ceux-ci, respectivement 74 000 et 55 000 étaient des passagers de première classe et de la classe « touriste », on peut dire sans optimisme exagéré que la moitié du trafic d'avant-guerre de ces deux

catégories de passagers sera susceptible de passer à l'avion. La distance de Paris à New York étant de 6 000 km environ par le tracé loxodromique (1), il est possible d'affirmer, sur la base de la technique actuelle, que le trajet s'effectuera en 15 ou 16 heures par avion ou hydravion de 60 à 80 tonnes ayant une vitesse moyenne de l'ordre de 350 à 400 km/h.

L'avion de charge

Pour ce qui est du transport du fret, l'avion semble moins bien placé, encore que les progrès

(1) Une route est dite loxodromique lorsqu'elle fait un angle constant avec les méridiens; la route suivant un grand cercle de la Terre, dite orthodromique, est géométriquement la plus courte, mais ne peut être suivie qu'au prix d'un changement incessant de cap.



T W 40130

FIG. 4. — UN PROJET AMÉRICAIN D'AVION DE FRET DE 40 TONNES (MARTIN) C'est un appareil à train bicyclic qui serait capable d'emporter une charge totale de 17 tonnes.

techniques améliorent sans cesse sa position. De nombreux types d'appareils gros porteurs sont aujourd'hui en service, aux côtés ou à la place des moyens de transport anciens, et participent activement aux transports de produits de toute nature.

Parmi les types les plus récents de « cargos de l'air », il faut citer le Messerschmitt géant Me-323, ainsi que le Martin PB 2 M-1 « Mars » aux caractéristiques imposantes : 55 mètres d'envergure, capacité utile de 100 m³, 130 passagers militaires avec leur équipement ou 60 blessés couchés pour le premier ; 61 mètres d'envergure, un poids en charge de 80 tonnes dont 23 de charge utile, pour le second. L'emploi de tels engins constitue une étape importante pour l'avenir des transports à grande capacité par la voie aérienne, mais il ne faut pas oublier que la question des prix de revient, qui n'intervient pas dans l'état actuel des choses, pèsera de tout son poids lors de l'exploitation future d'une flotte marchande de l'air. On sait, en effet, que l'avion, obligé de consacrer à sa propre sustentation une importante partie de la puissance dont il dispose, est un grand consommateur d'énergie, et que l'on paie très cher l'avantage de vitesse obtenu par la propulsion dans l'air.

L'augmentation de la puissance des moteurs s'est accompagnée d'un accroissement de la consommation en combustible, et s'il est vrai que les progrès techniques ont fait diminuer relativement la consommation par cheval-heure à mesure que la puissance des moteurs a augmenté (250 g d'essence environ à l'heure et par cheval dans le cas d'un moteur de 500 ch ; 200 g environ pour un moteur de 2 000 ch), il n'en reste pas moins que le poids de l'essence nécessaire à l'appareil représente une fraction très

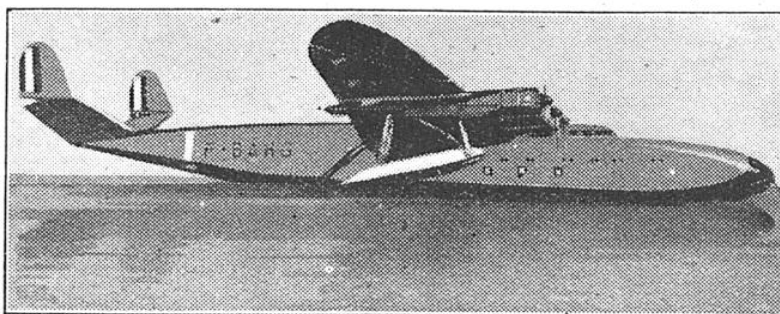


FIG. 6. — LE LATÉCOÈRE 631, HYDRAVION HEXAMOTEUR FRANÇAIS DE 70 TONNES

La vitesse de croisière de cet hydravion, équipé de six moteurs Wright « Double Row Cyclone », 14 cylindres de 1 500 ch, est modeste, de l'ordre de 260-300 km/h. Mais sa charge commerciale atteint 12 770 kg, avec 20 tonnes de carburant et de lubrifiant. Le rayon d'action maximum dépasse 6 000 km.

importante de la charge utile emportée (de l'ordre de 50 % pour les grandes distances). Il en résulte un prix nettement plus élevé pour le transport du fret et il semble que, pour un certain temps, le fret idéal pour l'avion soit limité à celui présentant un faible volume, un poids réduit et une valeur élevée. Le transport des marchandises pondéreuses sur grande distance par avion apparaît actuellement, en effet, particulièrement onéreux, et cette infériorité présente du transport aérien se met nettement en relief lorsque l'on compare les conditions d'un tel transport par air et par mer du triple point de vue du nombre des unités mises en ligne, du personnel employé et du combustible nécessaire.

Considérons, par exemple, un transport de 1 200 000 t de marchandises à effectuer en un an sur 3 500 km (distance moyenne des étapes transocéaniques actuelles pour l'avion).

Dans le cas du transport par mer, on a calculé qu'en utilisant un navire d'un port en lourd marchand de l'ordre de 10 000 t, suscep-

tible, compte tenu de la durée de la traversée et du temps passé en opérations de chargement et déchargement, d'effectuer cinq voyages dans le même sens par an, le tonnage de marchandises à transporter nécessiterait la mise en service de 24 unités, employant 1 344 hommes d'équipage et consommant au total 52 848 tonnes de mazout.

Si ce même transport devait par contre s'effectuer par la voie des airs, et en supposant que le type d'appareil employé ait les caractéristiques suivantes : tonnage, 70 tonnes ; puissance, 8 000 ch ; vitesse de croisière à 60 % de la puissance d'utilisation : 260 km/h (durée de la traversée : 13 h 27 mn) ; consommation horaire, 190 g par ch/h ; chargement, 12 000 kg ; personnel de bord, 8 hom-

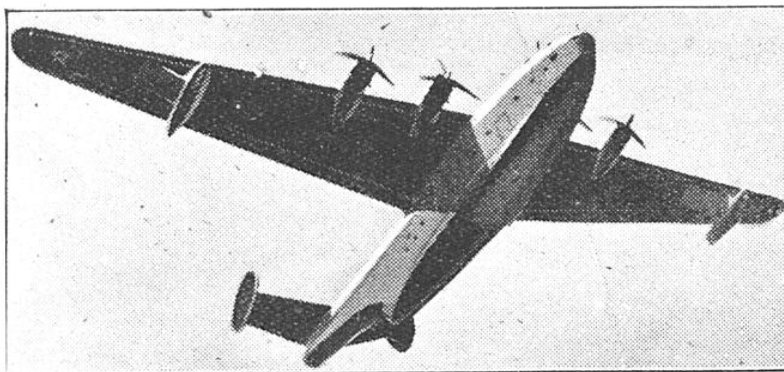
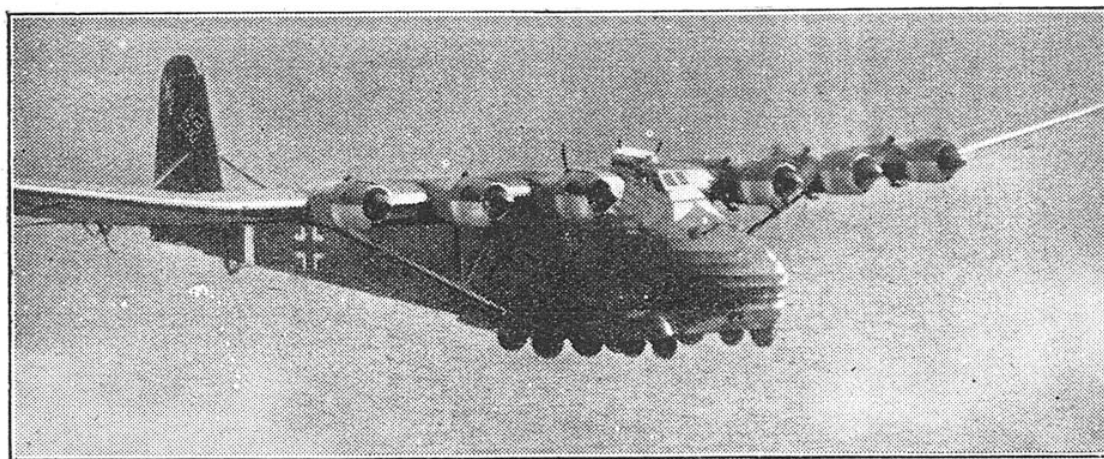


FIG. 5. — LE PLUS GROS HYDRAVION DU MONDE, LE MARTIN PB 2 M-1 « MARS » DE 80 TONNES

L'équipement d'une telle unité rappelle celle d'un navire. On y trouve en effet deux ponts, l'un pour le commandement et le pilotage, l'autre pour l'équipage et les passagers ; l'appareil emporterait même un petit canot à moteur. Ses quatre moteurs de 18 cylindres en double étoile lui donnent une vitesse de croisière de seulement 320 km/h avec un rayon d'action voisin de 10 000 km. Il serait capable d'emporter 150 passagers.



T W 40133

FIG. 7. — L'AVION DE TRANSPORT ALLEMAND MESSERSCHMITT 323 « GIGANT »

L'envergure de cet appareil atteint 55 m et la capacité utile de sa vaste carlingue est de 100 mètres cubes. Il peut emporter 130 soldats équipés ou 20 tonnes de bombes à la vitesse de croisière de 325 km/h. Il est équipé de six moteurs en double étoile Gnome-et-Rhône 14 M « Mars » développant 800 ch à 3 000 m. Il possède un train d'atterrissage spécial à huit roues.

mes, les résultats précédents se modifieraient ainsi : tout d'abord le nombre des appareils à mettre en ligne, en tenant compte des rotations rapides des engins, de leur usure et des remplacements nécessaires, s'élèverait à 950 environ; le personnel employé (étant donné les règlements interdisant aux équipages de tenir l'air plus de 75 h par mois) serait de 24 000 personnes, la consommation totale d'essence, enfin, s'élèverait à 2 450 000 t.

Ces chiffres témoignent de la supériorité actuelle incontestable du transport maritime pour l'acheminement des produits pondéreux sur une grande distance, mais on conçoit aisément que de nouveaux procédés puissent venir accroître soudainement les possibilités de l'avion.

Quelles seront les parts du navire et de l'avion dans le trafic mondial?

On voit toute l'étendue du problème posé par l'apparition de l'avion dans les liaisons intercontinentales. Le navire n'est donc plus seul à assurer le trafic transocéanique, et la part prise par l'avion dans le commerce mondial, demain importante, peut être dans l'avenir dominante.

Le trafic postal sera certainement l'apanage de l'avion seul, puisqu'il possède toutes les qualités requises pour ce transport, mais, dans le trafic des passagers, la compétition sera déjà plus rude. La sécurité, la rapidité et le prix relativement peu élevé du passage à bord de l'avion transatlantique (demain égal à la première classe de paquebot) lui amèneront certainement une large partie de la clientèle riche et pressée qui empruntait autrefois le passage par mer (hommes d'affaires, officiels, « stars » du cinéma et du théâtre, etc.).

Les super-paquebots rapides et luxueux, à exploitation déficitaire, verront de ce fait leur suprématie fortement atteinte, pour ne pas dire tout à fait compromise, et ce, d'autant plus que les pertes subies du fait de la guerre poseront des problèmes financiers de remplacement du tonnage perdu. Mais le paquebot moyen, très confortable quoique plus lent (18 à 25 nœuds), le gain de un jour ou deux sur un long par-

cours ne présentant plus le même intérêt, étant donné la possibilité de prendre l'avion lorsqu'il y a urgence, trouvera encore, sans doute, une clientèle nombreuse, toujours attirée par les agréments d'un voyage en mer, et constituera vraisemblablement pour un certain temps encore l'élément de base du trafic sur les lignes transocéaniques.

Dans le domaine du fret, il n'apparaît pas que l'avion, dans un bref avenir, doive supplanter le navire, mais il est évident qu'une telle question dépend des possibilités limitées de l'avion — encore inconnues — et de la rapidité de ses progrès futurs. On peut affirmer néanmoins que les matières premières pondéreuses et bon marché, qui constituaient avant-guerre l'essentiel des transports à grande distance, continueront à emprunter le navire, mais que ce dernier perdra par contre de plus en plus, au profit de l'avion, le fret cher et de faible volume réclamant un transport rapide (échantillons, pièces de rechange, modes, etc.). L'importance du trafic par air dépendra donc du développement à venir des transports de fret cher et de la place de ceux-ci dans les échanges de demain. Et ceci conduit à poser la question : les produits qui se présenteront alors seront-ils identiques à ceux d'avant-guerre?

Les nouveaux courants commerciaux de l'après-guerre

Si l'on peut dire que, dans l'ensemble, la plupart des produits de base circuleront sous la même forme qu'il y a quelques années, il n'en est pas moins vrai qu'une double incidence est à prévoir sur les moyens de transport résultant, d'une part de l'apparition possible de produits nouveaux et, d'autre part et surtout, de l'apparition de plus en plus marquée sur les marchés de produits finis ou demi-finis ayant subi un certain travail sur leurs lieux de production.

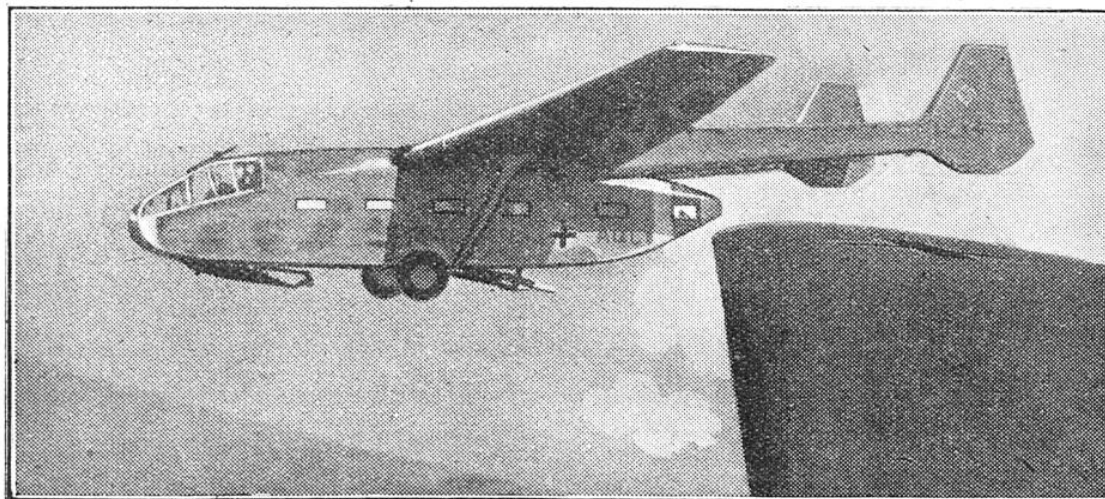
On sait qu'après l'autre guerre, certains trafics comme celui des nitrates en provenance principalement du Chili avaient subi une profonde perturbation du fait de l'apparition des nitrates synthétiques. Au cours de cette guerre, les pro-

duits de remplacement ont pris une grande extension et, si nombre d'entre eux sont appelés à disparaître, on peut penser néanmoins que quelques-uns de ceux-ci ayant acquis une importance considérable, se maintiendront demain. Le caoutchouc, pour la production duquel les grands consommateurs, aujourd'hui séparés de leurs sources d'approvisionnement, se sont équipés individuellement, paraît devoir en fournir un exemple typique.

Enfin, d'un autre côté, l'extension de la guerre à la totalité du globe provoque une diminution marquée de la division du travail entre nations,

trent que ces derniers peuvent et doivent accroître leur rôle dans l'avenir. On peut penser que, dans le domaine de la conservation des produits alimentaires par exemple, de nouveaux progrès seront accomplis et qu'aux flottes de fruitiers d'hier s'ajoutera toute une gamme de transporteurs climatisés, susceptibles de révolutionner les données actuelles en permettant de présenter aux consommateurs le produit de leur choix à toute époque de l'année et en tous lieux.

Enfin les grands courants d'échanges qui, hier, enserraient la terre-suivant un tracé connu,



T W 40134

FIG. 8. — LE PLANEUR DE TRANSPORT ALLEMAND GOTHA Go 242

L'organisation de ravitaillement des armées allemandes a mis en service des planeurs de transport remorqués généralement par des trimoteurs Junkers Ju-52. Ils peuvent emporter une charge de 2 400 kg, soit une vingtaine de passagers avec deux hommes d'équipage. L'empennage à double dérive est porté par deux poutres tubulaires. L'envergure est de 24 m, la longueur de 16 m. On remarquera à la partie inférieure les patins d'atterrissage.

qui, au fur et à mesure qu'elle se prolonge, produira des conséquences plus accentuées dans l'avenir. Aux grands mouvements de fret élémentaire d'autrefois tendra de plus en plus à se substituer une généralisation des échanges portant sur des produits plus finis. De nouveaux potentiels industriels font leur apparition aux Indes, en Amérique du Sud, dans les Dominions... et les pays en évolution économique marquent déjà leur volonté de défendre leur position acquise par une politique de nationalisme économique. Au Venezuela, par exemple, les Pouvoirs publics ont décidé d'interdire désormais l'octroi de nouvelles concessions pétrolières aux sociétés étrangères, si celles-ci ne prenaient pas l'engagement de raffiner sur place une partie des produits bruts obtenus.

Et l'on devine les répercussions que cette évolution exercera sur les moyens de transports.

L'orientation des exportations vers des produits ayant déjà subi un certain travail de conditionnement ou de transformation, si elle ne peut que qualifier davantage l'avion comme agent de transport normal, doit par ailleurs exercer aussi une influence profonde sur les transports plus raffinés portant sur des produits de moindre volume, mais plus chers, qui les amèneront à développer leurs équipements spéciaux. Et les brillants résultats obtenus avant-guerre par les navires spécialisés démon-

se verront compléter demain par de nouvelles lignes de contact entre les peuples auxquelles les transports maritimes et aériens devront s'adapter.

Il est vraisemblable que l'Europe verra sa position de redistributeur des produits, déjà fortement atteinte à la suite de l'autre guerre, encore en régression. De nouveaux foyers commerciaux apparaissent et se consolident chaque jour. Leurs équipements généralement plus modernes les amèneront à diminuer leurs recours à notre continent et à nouer et développer leurs relations mutuelles. Sur le plan des transports, de jeunes flottes apparaissent (Canada, Argentine, Brésil, Afrique du Sud, etc.). Protégées — comme c'est vraisemblable — dans l'après-guerre, elles diminueront les appels de leurs propres pays aux flottes européennes et substitueront à l'orientation de leur commerce avec notre continent des relations commerciales avec les pays qu'elles jugeront les plus intéressants et qui ne seront peut-être pas leurs anciens fournisseurs.

L'organisation des transports de demain posera donc un problème complexe à la fois sur le plan technique — harmonisation du navire et de l'avion —, et sur le plan commercial — adaptation aux nouveaux trafics.

Charles SILLARDS.

LES ISOTOPES : DE L'EAU LOURDE AUX RADIOÉLÉMENTS ARTIFICIELS

par G. CHAMPETIER
Maître de Recherches

Dès l'aurore de la chimie moderne s'est imposée la notion de corps simple. Par leurs combinaisons à l'infini, des éléments primordiaux, en petit nombre, inaltérables, donnaient naissance à l'immense foule des composés présents dans la nature ou manipulés à l'usine ou au laboratoire. La classification bien connue du savant russe Mendeleïeff, perfectionnée et complétée à la fin du dix-neuvième et au début du vingtième siècle, pouvait grouper tous ces éléments par analogies en un vaste tableau, aux lacunes peu à peu comblées, et les caractériser par le numéro d'ordre qui leur était ainsi affecté, leur « nombre atomique », allant de 1 pour l'hydrogène à 92 pour l'uranium. En 1913 cependant, le grand physicien anglais J. J. Thompson démontrait que la plupart de ces corps « simples » n'étaient que des mélanges, en proportions d'ailleurs remarquablement constantes, de corps de propriétés chimiques identiques, mais de poids atomiques différents, les « isotopes », remettant ainsi en question non seulement la notion admise d'élément, mais aussi celles de « corps pur » et de « composé défini ». Compte tenu des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène, n'existerait-il pas ainsi neuf sortes d'« eaux », toutes présentes dans l'eau pure classique du chimiste? Les progrès de notre connaissance de la constitution intime des atomes et en particulier de leur noyau, de sa masse et de sa charge électrique, fournissent aujourd'hui une explication satisfaisante de l'existence des isotopes stables et de la filiation des isotopes radioactifs dans les grandes familles radioactives du thorium, du radium et de l'actinium. Les très nombreuses transmutations réalisées depuis plusieurs années dans les laboratoires de recherches apportent aussi aux théories modernes une éclatante confirmation en effectuant très fréquemment la synthèse de nouveaux isotopes radioactifs inconnus dans la nature. L'étude des isotopes constitue un chapitre tout récent de la chimie et de la physique, et il est hors de doute qu'il faut s'attendre dans ce domaine en pleine évolution à des progrès encore insoupçonnés. Non seulement la chimie des isotopes isolés ouvre de nouvelles perspectives aux chercheurs, mais les applications thérapeutiques des radioéléments artificiels permettent d'envisager des réalisations industrielles importantes qui ne tarderont pas à voir le jour lorsque la paix sera revenue.

La découverte de l'eau « lourde »

L n'y a guère plus de dix ans, lorsqu'un chimiste désirait illustrer les définitions de l'espèce chimique définie et du corps pur, il manquait rarement de faire appel à l'exemple de l'eau et de souligner que ce corps, soumis, entre autres fractionnements, à des distillations répétées, gardait une composition fixe et des propriétés chimiques et physiques constantes.

En particulier, les constantes physiques de l'eau étaient considérées comme parfaitement définies; ses températures de congélation et de vaporisation avaient été choisies comme points fixes pour la graduation des thermomètres, et sa masse spécifique avait servi pour l'établissement de l'étalon de référence des masses.

Ce fut une surprise lorsqu'en 1932 un savant américain, Urey, avec divers collaborateurs, annonça que l'eau extraite de bacs d'accumula-

teurs ou de cuves d'électrolyse ayant fonctionné, à niveau constant, durant de nombreuses années sans être vidangées, présentait avec l'eau de source — ces deux eaux ayant été soigneusement purifiées — une différence de densité qui pouvait être mise en évidence par des mesures de bonne précision, donnant avec sûreté la quatrième décimale.

L'étonnement fut encore plus grand, lorsque, effectuant des mesures de très grande précision, plusieurs chercheurs de diverses parties du monde signalèrent que l'eau, après de nombreuses purifications, avait une densité légèrement variable suivant son origine. Les différences étaient faibles; elles ne portaient guère que sur la cinquième ou la sixième décimale, mais elles étaient indubitables et permettaient de distinguer l'eau de source des eaux de mer puisées à différentes profondeurs, ou des eaux provenant du début ou de la fin d'une pluie, ainsi que de l'eau de fonte des neiges et des

glaciers ou encore des eaux extraites d'organismes végétaux et animaux.

Il fallait donc admettre que l'eau n'était pas, comme on l'avait cru jusqu'alors, une espèce chimique simple, mais bien un mélange d'espèces chimiques, d'ailleurs très voisines, dont l'une devait être de beaucoup la plus abondante. Ces différentes espèces chimiques devaient avoir des propriétés chimiques, sinon identiques, du moins extrêmement proches, puisqu'aucune réaction chimique n'avait décelé leur mélange. Par contre, les propriétés physiques devaient se différencier suffisamment pour qu'un commencement de séparation fractionnée puisse se produire dans la nature, soit par gravitation dans les profondeurs marines, soit par fusion de la neige ou de la glace, soit au moment de la condensation de la pluie, soit encore par diffusion ou osmose chez les êtres vivants.

A vrai dire, si cela pouvait surprendre de voir l'eau, le liquide le plus commun et le plus étudié, révéler des anomalies qui avaient jusqu'alors échappé aux recherches, il existait néanmoins d'autres cas analogues quoique peu nombreux.

Le plus classique se rapportait aux plombs de diverses origines. Il était bien connu que le plomb extrait de minerais non-radioactifs (galène, vanadinite, wulfénite, cérusite) avait un poids atomique bien constant, égal à 207,22, tandis que certains plombs issus de minerais radioactifs présentaient des écarts bien supérieurs aux erreurs expérimentales possibles. Les plombs extraits de minerais d'uranium étaient connus pour avoir un poids atomique voisin de 206, alors que ceux provenant de minerais de thorium donnaient un poids atomique plus élevé et voisin de 208.

On avait ainsi déjà été conduit à considérer le plomb comme un mélange d'éléments de propriétés chimiques identiques et de poids atomiques différents, que l'on avait appelés des *plombs isotopes*; ceux-ci étaient en proportions constantes dans les minerais non radioactifs, en proportions variables dans les minerais radioactifs.

Il était possible de donner aux anomalies de l'eau une explication analogue à celle invoquée pour le plomb. L'eau étant une combinaison d'hydrogène et d'oxygène, si l'un de ces deux éléments, ou les deux, sont des mélanges d'isotopes, on doit envisager plusieurs combinaisons possibles de ceux-ci conduisant à des molécules d'eau de poids moléculaires différents. Il suffit que ces diverses molécules ne soient pas présentes en mêmes proportions dans les eaux d'origines diverses pour que l'on puisse observer des différences de propriétés physiques entre ces eaux, leurs propriétés chimiques restant toutefois identiques comme le sont celles des atomes isotopes constitutifs. C'est ce que l'expérience allait bientôt vérifier.

La constitution des atomes

Pour comprendre les différences de comportement physique — et l'identité des propriétés chimiques — des éléments isotopes et des combinaisons isotopiques, il est nécessaire de se reporter à la constitution intime des atomes et des molécules.

L'hypothèse de la discontinuité de la matière, aussi vieille que la philosophie grecque, a été justifiée de manière éclatante par de nombreuses considérations physiques et par tous

les développements de la chimie. Elle a conduit à considérer tout composé chimique comme formé de particules, toutes identiques dans une espèce pure. Ces particules, appelées *molécules*, sont l'extrême limite de division où il est possible d'amener un corps sans que celui-ci perde son individualité propre. Les molécules sont donc les grains de matières caractéristiques des espèces chimiques.

Toutefois, bien que la diversité des composés chimiques soit très grande — leur nombre se chiffrait par centaines de mille — ceux-ci ne sont construits qu'à l'aide d'un nombre relativement faible de matériaux différents : moins d'une centaine, si, eu égard aux seules propriétés chimiques, on ne tient pas compte des isotopes. Ce sont les *éléments chimiques* ou *corps simples*, intervenant dans la constitution des molécules sous forme de leurs particules caractéristiques, les *atomes*.

Les molécules des innombrables composés naturels ou artificiels ne diffèrent que par la nature, les proportions relatives et l'arrangement des atomes constitutifs.

Les atomes, dont l'étymologie veut dire « insécables », avaient longtemps été considérés comme les particules ultimes de la matière. Ils sont en effet indestructibles au cours des réactions chimiques, et ne font que s'unir, se séparer ou se réarranger, sans jamais s'altérer ou se détruire. Il fallut attendre la découverte des phénomènes de radioactivité pour reconnaître la constitution fort complexe des atomes, et ce n'est que dans ces dernières années que les physiciens ont été amenés à réduire à trois seulement les constituants ultimes de la matière; le *neutron*, l'électron négatif ou *négaton*, et l'électron positif ou *positon* (1).

Le *neutron* est une particule matérielle, non chargée électriquement. Ce sont les neutrons qui donnent à l'atome la presque totalité de sa masse.

Le *négaton* et le *positon* sont également des particules matérielles, mais de masse beaucoup plus faible que le neutron (1840 fois moindre environ); ils sont porteurs chacun d'une charge électrique, négative pour le négaton, positive pour le positon.

Sans entrer dans les détails relatifs à la constitution des atomes, qui sortent du cadre de cet article, rappelons que, d'après la théorie de Jean Perrin, reprise par Rutherford, complétée par Bohr et par Sommerfeld, un atome peut être assimilé à un minuscule système planétaire constitué par un noyau positif autour duquel gravitent des négatons répartis sur un certain nombre d'orbites distinctes.

(1) Nous laissons ici de côté les particules telles que le *mésoton* et le *neutrino* dont les propriétés et l'existence même sont encore controversées (Voir *Science et Vie*, no 319 et no 291). Elles n'interviennent d'ailleurs pas dans la suite de notre exposé. Remarquons également que pour certains physiciens les constituants ultimes de la matière sont le neutron, l'électron négatif et le proton (particule matérielle chargée positivement, de masse sensiblement égale à celle du neutron). Il serait facile de transposer la suite de cet exposé en adoptant cette hypothèse : l'ensemble d'un neutron et d'un positon correspondant à un proton, le nombre de masse étant la somme du nombre des neutrons et des protons présents dans le noyau d'un atome, le numéro atomique étant le nombre des protons, etc. Sans prétendre trancher la question, nous avons fait choix, pour constituants ultimes, de la particule neutre *neutron* et des deux particules chargées *négaton* et *positon* dont le rôle symétrique facilite l'exposé de la question complexe des isotopes.

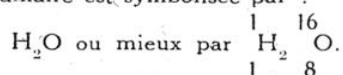
Le noyau de l'atome se trouve formé par l'association de neutrons et de positons. Le noyau est donc la partie lourde de l'atome. Ce sont les positons qui donnent au noyau sa charge positive. Les négatons planétaires sont en nombre égal à celui des positons nucléaires, de manière qu'au total l'atome soit électriquement neutre.

Un atome peut donc être caractérisé par deux nombres; l'un, appelé *nombre de masse* A , est le nombre des neutrons nucléaires; l'autre, dit *numéro atomique* Z , est le nombre de charges du noyau positif, c'est-à-dire le nombre de positons nucléaires, ou, ce qui revient au même, le nombre de négatons planétaires, puisque ces nombres sont égaux.

Il est de règle de faire figurer ces nombres à côté du symbole de l'élément : le nombre de masse en haut et à gauche; le numéro atomique en bas et à gauche. Ainsi, l'hydrogène ordinaire dont l'atome est constitué par un noyau, formé d'un neutron et d'un positon et autour duquel gravite un négaton se repré-

sentera par ${}^1_1\text{H}$. L'oxygène ordinaire dont le noyau renferme 16 neutrons et 8 positons, et autour duquel gravitent 8 négatons, sera symbolisé par ${}^{16}_8\text{O}$ (fig. 1).

Le nombre d'atomes contenus dans une molécule est indiqué en bas et à droite du symbole de l'élément correspondant. Ainsi, la molécule d'eau ordinaire est symbolisée par :



Les propriétés chimiques des éléments sont essentiellement conditionnées par le numéro atomique, c'est-à-dire par la charge du noyau ou encore par le nombre de négatons planétaires. Ce sont d'ailleurs ces négatons qui interviennent seuls dans les réactions chimiques, plus particulièrement les négatons situés sur les orbites extérieures. Ce sont ces derniers qui, en s'accouplant entre atomes, déterminent leur union dans les molécules.

Pour terminer cette revue rapide sur la constitution des atomes, signalons encore que les propriétés chimiques des éléments sont une fonction périodique de leur numéro atomique. Lorsque, partant de l'hydrogène, dont l'atome, avec un seul négaton planétaire, est le plus simple, on passe à des éléments de plus en plus complexes pour aboutir à l'uranium, dont l'atome contient 92 négatons planétaires, on retrouve périodiquement des éléments de propriétés chimiques semblables; par exemple, les halogènes : fluor, chlore, brome, iode, ou en-

core les métaux alcalins : lithium, sodium, potassium, rubidium, césium. Ces éléments de propriétés chimiques semblables ont leurs orbites négatoniques extérieures contenant le même nombre de négatons.

Les éléments isotopes stables

Nous avons vu qu'il existe plusieurs sortes de plombs, dits *isotopes*, de propriétés chimiques identiques, mais de poids atomiques différents. De même, les différences de propriétés physiques de l'eau suivant son origine conduisent à envisager l'existence de plusieurs isotopes de l'hydrogène et l'oxygène. Il ne s'agit pas de cas isolés.

Ce sont plus particulièrement les études spectrales qui ont révélé que plus des deux tiers des éléments, que l'on avait l'habitude de considérer comme simples, sont en fait des mélanges d'isotopes stables, en nombre variable d'un élément à l'autre. Pour certains éléments lourds,

le nombre des isotopes est parfois élevé : ainsi l'étain ordinaire est un mélange de 10 isotopes, le plomb de 8, le mercure de 9. La proportion des divers isotopes dans le mélange isotopique est également très variable suivant les éléments : le brome est un mélange en quantités sensiblement égales de deux isotopes, alors que dans l'hydrogène ordinaire l'un des deux isotopes n'existe qu'en proportion voisine de 1/6 000.

La constitution atomique des éléments isotopes découle des deux considérations suivantes établies à l'aide des données spectrales, des spectres d'émission de rayons X, et de la déviation des atomes ionisés (1) dans les champs électrique et magnétique : les isotopes d'un même élément ont le même numéro atomique; ils ont des nombres de masse différents.

Autrement dit, les atomes correspondant aux divers isotopes d'un même élément diffèrent uniquement par la masse du noyau, tandis que la charge positive de celui-ci et le nombre de négatons planétaires sont les mêmes. Ainsi la différence de constitution atomique des isotopes d'un même élément réside uniquement dans le nombre de neutrons contenus dans le noyau.

Prenons, comme premier exemple, l'hydrogène : l'un des isotopes correspond à la constitution atomique suivante : un noyau positif, formé d'un neutron et d'un positon, autour duquel gravite un négaton planétaire. Pour l'autre isotope, le noyau est formé de deux neutrons et d'un positon, et l'on retrouve comme dans le précédent un seul négaton planétaire. Le premier isotope a une masse atomique sensiblement égale à 1, le second, une masse atomique voisine de 2, ce qui explique qu'on les désigne

(1) C'est-à-dire ayant perdu un ou plusieurs négatons planétaires.

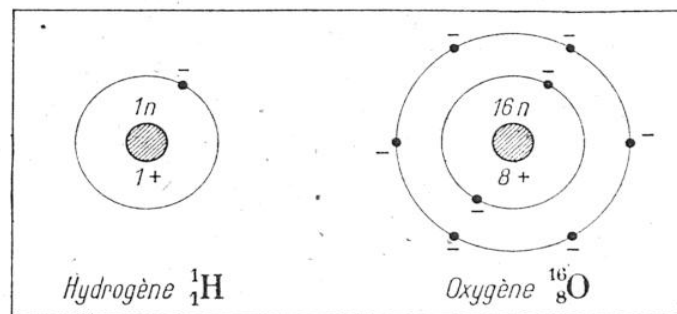


FIG. 1. — MODÈLES SCHÉMATIQUES D'ATOMES D'HYDROGÈNE ET D'OXYGÈNE

n , neutron; $+$, positon; $-$, négaton.

fréquemment par les noms d'*hydrogène léger* et d'*hydrogène lourd*. Ils sont représentés par les symboles ${}^1_1\text{H}$ et ${}^2_1\text{H}$ suivant les conventions indiquées précédemment.

L'oxygène a trois isotopes : le plus commun a pour nombre de masse 16 et pour numéro atomique 8. Son noyau est formé de 16 neutrons et de 8 positons. Son cortège planétaire comprend 8 négatons. Le deuxième isotope, le moins abondant, possède un noyau constitué

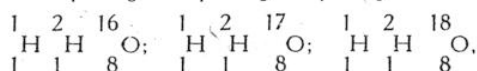
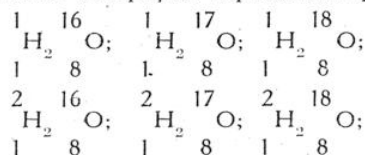
où intervient la masse de l'atome. Aussi, pour la séparation des isotopes, on ne pourra compter sur des procédés chimiques, mais seulement sur des méthodes basées sur les différences énergétiques. Nous verrons, en effet, que l'on peut faire appel à des méthodes physiques variées. Ce sont les éléments légers, pour lesquels les différences de masse relative entre les isotopes sont les plus marquées, qui permettront les séparations les plus aisées. En particulier, les deux isotopes de l'hydrogène, dont les masses sont dans le rapport de 1 à 2, ont pu être séparés quantitativement par divers procédés.

La séparation naturelle des isotopes

Nous avons fait allusion, dans le cas de l'eau, à des variations de propriétés, plus particulièrement de densité, attribuables à une différence de composition isotopique de ce composé. Il est maintenant aisé d'en comprendre les raisons.

L'eau est un oxyde d'hydrogène, que l'on avait l'habitude de formuler H_2O lorsque l'on ignorait que l'hydrogène et l'oxygène sont des mélanges d'isotopes. Or, nous avons vu qu'à l'hydrogène correspond deux iso-

topes, et à l'oxygène, trois. L'eau ordinaire est donc, en fait, un mélange de plusieurs sortes de molécules isotopiques représentées par :



Or, à ces diverses molécules correspondent des eaux de propriétés physiques différentes (densité, température de fusion, température d'ébullition, etc.). La moins dense, et la plus

abondante, est l'eau, ${}^1_1\text{H}_2 {}^{16}_8\text{O}$, dite *eau légère*;

parmi les autres, dites *eaux lourdes*, la plus dense est ${}^2_1\text{H}_2 {}^{18}_8\text{O}$. On conçoit donc que, dans

une couche épaisse d'eau, ces molécules aient tendance à se classer par masse décroissante, en allant du fond à la surface. Il doit ainsi y avoir une séparation naturelle, par gravitation, des molécules d'eau isotopiques dans les mers profondes. En fait, la séparation est loin d'être com-

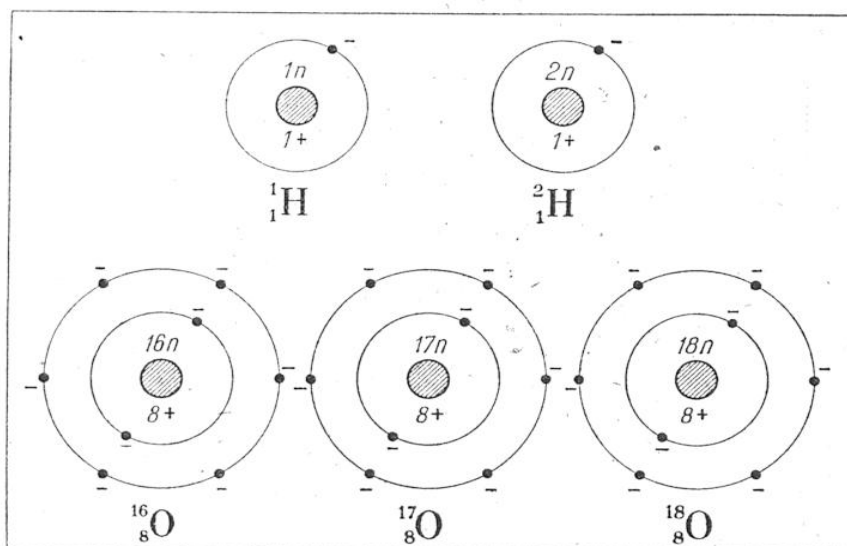
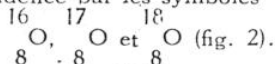


FIG. 2. — REPRÉSENTATIONS SCHEMATIQUES DES ISOTOPES DE L'HYDROGÈNE ET DE L'OXYGÈNE

de 17 neutrons et de 8 positons; les négatons planétaires sont comme pour le précédent au nombre de 8. Le troisième isotope renferme 18 neutrons et 8 positons nucléaires et toujours 8 négatons planétaires. Leurs constitutions sont mises en évidence par les symboles



Les 10 isotopes de l'étain correspondent aux constitutions suivantes :

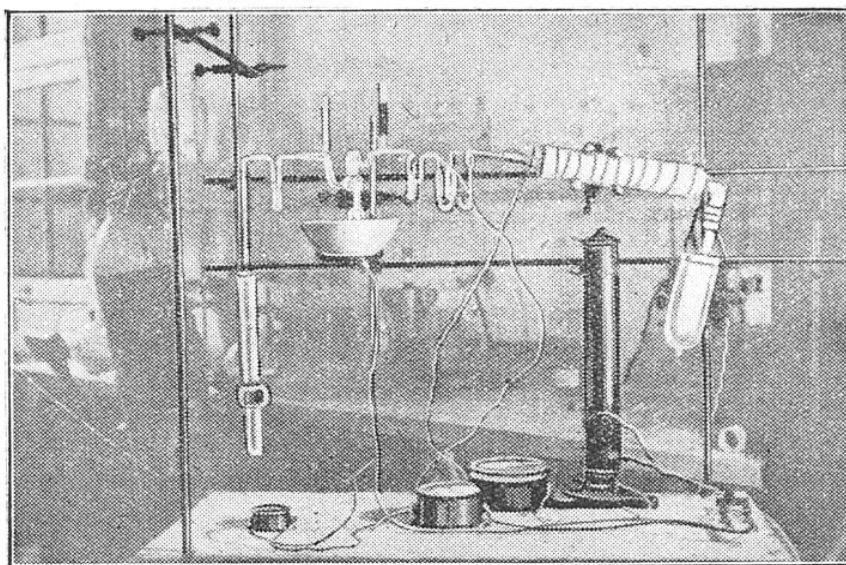
${}^{112}_{50}\text{Sn}$	${}^{114}_{50}\text{Sn}$	${}^{115}_{50}\text{Sn}$	${}^{116}_{50}\text{Sn}$	${}^{117}_{50}\text{Sn}$	${}^{118}_{50}\text{Sn}$
${}^{119}_{50}\text{Sn}$	${}^{120}_{50}\text{Sn}$	${}^{122}_{50}\text{Sn}$	${}^{124}_{50}\text{Sn}$		

Les propriétés chimiques étant sous la dépendance du nombre des négatons planétaires, et ce nombre étant le même pour les isotopes d'un même élément, on comprend que ces isotopes aient des propriétés chimiques identiques. Dans la classification périodique des éléments en fonction du numéro atomique, les isotopes d'un élément se placent tous en bloc au même endroit, c'est ce qui explique d'ailleurs le nom d'*isotope*, qui signifie « à la même place ».

Les seules différences de propriétés qui pourront se manifester entre isotopes seront celles

plète, car elle est contrariée par l'agitation moléculaire. Les différences de densité observées, quoique faibles (elles portent sur la cinquième décimale), ne peuvent absolument pas échapper à des mesures précises. On a constaté, de même, qu'après de soigneuses purifications, l'eau de mer est toujours plus dense que l'eau de source. L'eau de la Baltique est la moins dense de toutes les eaux de mer, alors que l'eau de la mer Morte est de beaucoup la plus dense.

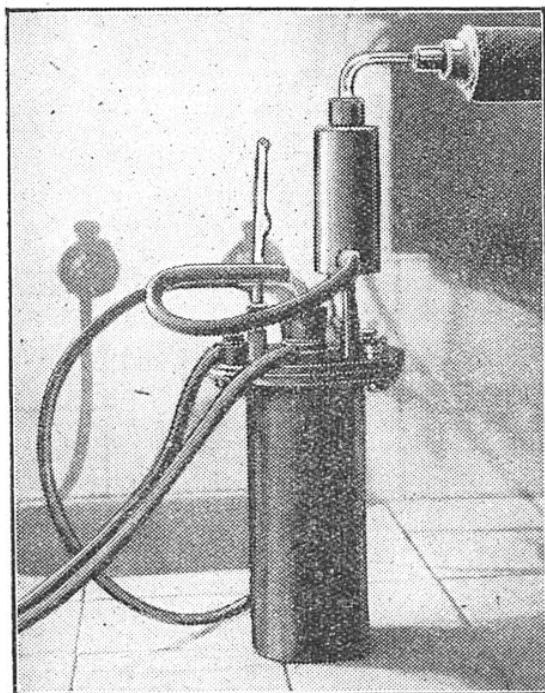
Un autre commencement de séparation naturelle se produit au cours de la pluie. Les premières eaux recueillies au cours d'une pluie sont plus denses que les dernières. Le fractionnement est dû à la plus facile condensa-



T W 40136

FIG. 4. — UN ÉLECTROLYSEUR POUR EAU LOURDE A 60 %

C'est un appareil en verre à diaphragme, avec tour à oxyde de cuivre pour la récupération de l'hydrogène lourd contenu dans les gaz de l'électrolyse du compartiment cathodique.



T W 40135

FIG. 3. — UN ÉLECTROLYSEUR POUR EAU LOURDE A 1 %

C'est un appareil à double paroi parcouru par une circulation d'eau et surmonté d'une colonne remplie d'anneaux de verre pour arrêter les gouttelettes liquides entraînées par les gaz de l'électrolyse.

tion des eaux lourdes, dont la température d'ébullition est plus élevée que celle de l'eau légère.

L'eau de fonte des neiges et des glaciers est plus légère que l'eau de source, les eaux lourdes ayant une température de fusion plus élevée que l'eau légère.

Il y a beaucoup d'autres cas d'eau de densités différentes. Nous signalerons, pour terminer, que les êtres vivants déterminent eux-mêmes un fractionnement partiel des eaux. Ainsi, l'eau extraite de la sève du bois d'un jeune saule a été trouvée plus dense que l'eau normale. Cet accroissement de densité est provoqué par la différence des vitesses d'évaporation et de diffusion des eaux légères et lourdes au travers des parois cellulaires.

Dans le même ordre d'idées, on a observé une légère différence de poids atomique pour l'oxygène extrait de l'eau d'un lac américain.

Séparation électrolytique des isotopes : l'eau lourde

Le fait que l'eau extraite de bacs d'électrolyse ayant plusieurs années de service présente une densité supérieure à celle de l'eau ordinaire incitait à penser que l'électrolyse devait produire un fractionnement des diverses eaux isotopiques. C'est ce que l'expérience a rapidement vérifié. L'électrolyse est devenue un excellent procédé pour la préparation en grandes quan-

tités de l'eau lourde H_2O . Une application

industrielle en avait même été faite, avant la guerre, en Norvège et aux États-Unis, où l'eau lourde, préparée par dizaines de litres, était devenue un produit commercial dont le prix était de l'ordre de 20 francs le gramme.

Lorsque l'on décompose par électrolyse de l'eau rendue conductrice par un acide ou par

une base, on constate un accroissement relativement rapide de la densité de l'eau extraite de l'électrolyte non encore décomposé. Autrement dit, les molécules d'eau légère sont plus facilement décomposées que les molécules d'eau lourde et ces dernières se concentrent dans l'eau restant dans le bac à électrolyse. Lorsque le volume initial de l'eau a été réduit au 1/200, une mesure de densité montre que la concentration en eau lourde atteint déjà 1 % (fig. 3).

En poursuivant l'opération, il est possible de préparer de l'eau lourde H_2^{16}O sensiblement pure (1) (fig. 4).

Il est d'ailleurs indispensable d'effectuer l'électrolyse de façon méthodique, en plusieurs étapes séparées par des distillations de l'électrolyte, de manière à éviter que la concentration en acide ou en base devienne gênante par suite de la réduction du volume de l'eau. En outre, lorsque la concentration en eau lourde dans l'électrolyte atteint 5 %, il est indispensable de récupérer l'hydrogène lourd contenu dans les gaz dégagés des électrolyseurs, car il s'y trouve en quantité trop importante pour le laisser se perdre. En opérant ainsi, on peut effectuer un véritable fractionnement électrolytique de l'eau sans perdre une quantité trop importante d'eau lourde. On arrive alors à isoler 45 à 50 % de l'eau lourde contenue initialement dans l'eau. La décomposition électrolytique de 20 litres d'eau laisse finalement un résidu d'un gramme d'eau lourde pure.

L'électrolyse, qui est couramment employée pour préparer l'eau lourde H_2^{16}O , dont il est facile d'extraire l'hydrogène lourd par décomposition à l'aide d'un métal, peut servir à d'autres fractionnements d'isotopes.

On observe en particulier dans l'électrolyse de l'eau un commencement de fractionnement des isotopes de l'oxygène. Mais, dans ce cas, le procédé est beaucoup moins efficace et, si l'on a réussi à préparer de l'eau enrichie en molécules H_2^{18}O , il n'a pas été possible d'isoler ce composé à l'état pur.

De même, l'électrolyse d'une solution de chlorure ou de sulfate de lithium a permis un net fractionnement des deux isotopes du lithium Li^6 et Li^7 .

Séparation des isotopes par diffusion

La théorie de la diffusion des mélanges gazeux au travers d'une paroi poreuse a été établie,

(1) Pour simplifier l'écriture, on supprime dans les symboles les numéros atomiques qui sont les mêmes pour tous les isotopes d'un même élément et l'on ne conserve que les nombres de masse. Les deux hydrogènes se notent ainsi : ^1H et ^2H et l'on réserve le symbole H pour le mélange isotopique normal.

dès 1896, par Lord Rayleigh. Les vitesses d'écoulement de deux gaz au travers d'une telle paroi sont inversement proportionnelles à la masse des molécules. Il y a donc matière à un procédé de séparation des isotopes ou des composés isotopiques. Effectivement, la méthode a été initialement appliquée à la séparation de deux des isotopes les plus abondants du néon ^{20}Ne et ^{22}Ne .

Ne et ^{22}Ne , ainsi qu'à la préparation de l'hydrogène lourd (fig. 5).

Le perfectionnement de la technique a permis d'aborder bien d'autres séparations. Les appareils utilisés dérivent généralement de celui de Hertz et comprennent 20 à 30 éléments poreux disposés en série, la circulation des gaz de l'un à l'autre étant assurée par des pompes à diffu-

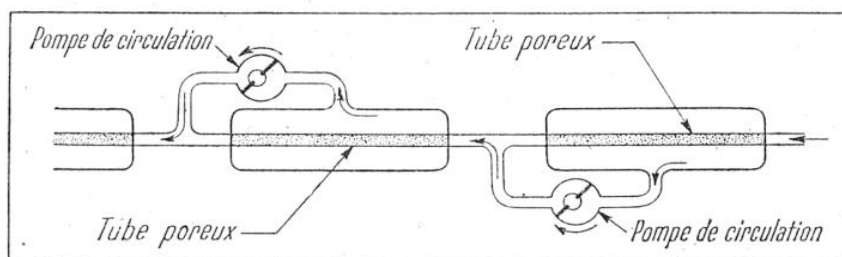


FIG. 5. — SCHÉMA D'UN APPAREIL À DIFFUSION POUR LA PRÉPARATION DE L'HYDROGÈNE LOURD

La vitesse d'écoulement de l'hydrogène lourd à travers les tubes poreux est plus faible que celle de l'hydrogène léger, ce qui permet une séparation des deux isotopes.

sion de mercure. Les deux isotopes de l'azote ^{14}N et ^{15}N .

N et ^{15}N ont ainsi pu être fractionnés. En utilisant comme gaz le méthane, on arrive de même à séparer deux espèces de molécules isotopiques $^{12}\text{CH}_4$ et $^{13}\text{CH}_4$.

différentes par les isotopes du carbone qui entrent dans leur constitution. De même, il a été possible de fractionner les molécules ^{35}ClH et ^{37}ClH existant en mélange dans l'acide chlorhydrique ordinaire.

Autres procédés de séparation physique des isotopes

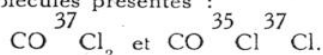
Les deux procédés que nous venons d'examiner conduisent à des fractionnements importants, sinon complets, des isotopes. Il en est d'autres dont l'efficacité moindre ou les rendements plus faibles ont limité l'emploi, mais qui peuvent être intéressants dans des cas particuliers. La distillation ou l'évaporation fractionnées sont dans ce cas. La première concentration d'hydrogène lourd a été réalisée par distillation de l'hydrogène liquide à très basse pression.

La distillation fractionnée de l'eau a été effectuée sur de puissantes colonnes à plateaux. Elle conduit à des queues de distillation plus denses que l'eau ordinaire par suite de leur enrichissement en molécules lourdes formées à partir des isotopes ^2H et ^{18}O .

mais le taux de fractionnement est trop faible pour que la séparation puisse être mise en œuvre sur une grande échelle. Il en est de même du fractionnement photochimique utilisant le fait que, si l'on

éclaire avec des radiations ultraviolettes, de longueur d'onde bien choisie, un mélange de molécules iso-opiques, seules se trouvent être décomposées les molécules formées à partir de l'un des isotopes. Ainsi, en irradiant de la vapeur d'oxychlorure de carbone avec de la lumière ultraviolette émise par un arc d'aluminium et filtrée convenablement, seules les molé-

cules $\text{CO}^{35}\text{Cl}_2$ se trouvent décomposées avec libération du chlore Cl_2^{35} , à l'exclusion des autres molécules présentes :



L'une des premières méthodes qui a permis d'identifier le plus grand nombre d'isotopes et de mesurer leur abondance relative est la spec-

mesurer leur déviation et, par suite, leur masse avec précision, et même leur abondance relative en comparant le noircissement des points d'impact sur la plaque. On peut encore recevoir séparément les faisceaux d'isotopes sur des plaques refroidies par l'air liquide et isoler ainsi de petites quantités d'isotopes purs. L'ionisation des atomes est produite, s'il s'agit de corps gazeux, par décharge électrique dans le gaz raréfié, et, s'il s'agit de corps solides, par émission thermoionique sur un filament chauffé. Cette dernière méthode a permis l'isolement des isotopes des métaux alcalins : lithium, sodium, potassium.

Fractionnement chimique des isotopes : les réactions d'échange

Nous avons souligné que les isotopes d'un

même élément ont, du fait de leur constitution électronique semblable, des caractères chimiques identiques, et que l'on ne peut pas compter sur des différences de ces propriétés pour effectuer leur fractionnement. Ils ont toutefois, par suite de leurs écarts de masse, des vitesses de réaction différentes. En particulier, la vitesse de recombinaison des atomes d'hydrogène léger est plus grande que celle des atomes d'hydrogène lourd, ce qui explique que, cha-

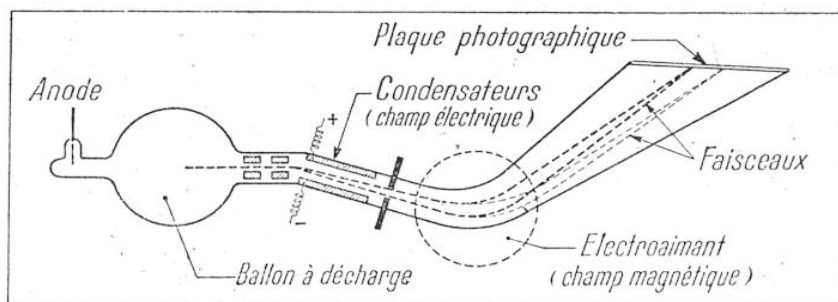


FIG. 6. — SCHÉMA D'UN SPECTROGRAPHE DE MASSE

Un courant d'atomes ionisés traverse un champ électrique et un champ magnétique. Le faisceau se trouve scindé en plusieurs faisceaux différemment déviés en fonction du rapport de la charge à la masse des atomes considérés. A chaque isotope correspondra un point d'impact particulier sur la plaque photographique.

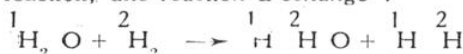
tographie de masse imaginée par J. J. Thomson et perfectionnée par Aston. C'est un procédé de recherche extrêmement précis qui donne une séparation quantitative des différents isotopes d'un élément en fournissant la mesure de leur masse. Malheureusement, c'est une technique nécessitant un appareillage compliqué, d'un maniement délicat et qui ne peut donner que de très petites quantités d'isotopes isolés. Les masses d'isotopes recueillies à l'état pur avec les appareils de ce type sont de l'ordre du milliègne ou du centième de milligramme. Il s'agit de quantités bien trop faibles pour qu'on puisse les utiliser dans des études chimiques; elles sont néanmoins suffisantes pour des recherches de transmutations sur des isotopes isolés. Dans cet ordre de travaux, la spectrographie de masse a rendu d'appréciables services (fig. 6).

Le principe de cette méthode est le suivant : si l'on fait passer un courant d'atomes ionisés dans un champ électrique et un champ magnétique convenablement orientés, il se produit un tri des atomes ionisés en fonction du rapport de leur charge à leur masse. Comme la plupart de ces ions sont des atomes ayant perdu un seul électron, c'est-à-dire porteurs d'une seule charge positive, ils se trouvent ainsi triés en fonction de leur masse, et les isotopes se trouvent séparés. Le faisceau du mélange initial d'atomes ionisés se trouve scindé en plusieurs faisceaux d'isotopes différemment déviés; on peut les recevoir sur une plaque photographique, ce qui permet de les identifier, de

que fois que l'on décompose un mélange d'eau légère et d'eau lourde par un procédé quelconque, l'hydrogène dégagé est plus riche en hydrogène léger que l'eau initiale, qui s'enrichit corrélativement en molécules lourdes. Ce mécanisme est l'une des causes du fractionnement électrolytique de l'eau; il intervient également lorsque l'on décompose de l'eau par un métal. Le facteur de séparation est relativement grand dans la décomposition de l'eau, additionnée d'acide sulfurique, par du zinc, du fer ou de l'aluminium.

Enfin, par suite de leurs vitesses de réaction différentes, les isotopes peuvent se déplacer mutuellement lorsqu'ils se trouvent au contact de molécules qui les renferment en proportions différentes.

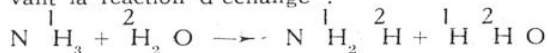
Ainsi, lorsque de l'hydrogène lourd se dégage au sein d'un mélange d'eau légère et d'eau lourde, riche en eau légère, il a tendance à se substituer à l'hydrogène léger de l'eau suivant la réaction, dite *réaction d'échange* :



C'est une seconde cause du fractionnement des isotopes lors de la décomposition de l'eau; l'hydrogène recueilli étant plus léger que celui de l'eau traitée, celle-ci s'enrichit peu à peu en molécules lourdes.

Les réactions d'échange peuvent également se produire entre composés hydrogénés. Ainsi de l'ammoniac ne contenant que de l'hydrogène

léger barbotant dans de l'eau lourde s'enrichit en hydrogène lourd aux dépens de celle-ci suivant la réaction d'échange :

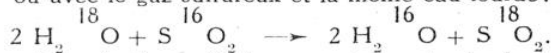


Cette méthode peut être utilisée, soit pour fractionner les composés isotopiques de l'hydrogène, soit pour préparer des composés renfermant de l'hydrogène lourd. Elle se produit avec tous les autres isotopes, entre autres avec l'oxy-

gène gazeux et l'eau lourde $\text{H}_2 \overset{18}{\text{O}}$:



ou avec le gaz sulfureux et la même eau lourde :



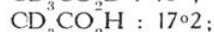
Les réactions d'échange ont permis de fractionner les isotopes de l'azote, ceux du soufre et ceux du carbone. On effectue les opérations de barbotage du composé gazeux dans le composé liquide en opérant à contre-courant sur de puissantes colonnes à plateaux. Toutefois, cette méthode, qui a fourni de très intéressants renseignements, n'a pas encore permis de préparations importantes.

Les propriétés de l'eau lourde

C'est évidemment sur l'hydrogène lourd et sur ses composés, plus particulièrement sur l'eau lourde, que le plus grand nombre de travaux ont été effectués par suite de la relative facilité de se procurer ce dernier corps en quantités importantes. C'est d'ailleurs pour les deux hydrogènes que l'on doit s'attendre au maximum de différences de propriétés. Ces différences s'atténuent pour les éléments de plus en plus lourds, l'écart relatif de masse devenant de plus en plus faible entre les isotopes.

Exceptionnellement, l'hydrogène lourd a reçu un nom particulier. Les chimistes l'appellent quelquefois *deutrohydrogène*, plus fréquemment *deutérium*, en lui donnant le symbole D pour simplifier, et en réservant H pour l'hydrogène léger. Ses composés sont désignés du nom de *deutocomposés*. Par suite de la possibilité de remplacer un ou plusieurs atomes d'hydrogène léger par du deutérium, le nombre des composés hydrogénés s'est considérablement accru. Il existe ainsi trois sortes d'eau possibles : l'eau légère H_2O , l'eau semi-lourde HOD et l'eau lourde D_2O . Il existe quatre ammoniacs NH_3 , NH_2D , NHHD_2 et ND_3 , et il en est de même pour tous les autres composés renfermant de l'hydrogène. Beaucoup parmi eux ont été préparés en quantités appréciables, soit directement à partir du deutérium ou de l'eau lourde, soit par réactions d'échange.

Comme il fallait s'y attendre, toutes les combinaisons isotopiques dérivées d'un même composé ordinaire ont des propriétés chimiques identiques ; par contre, leurs propriétés physiques les différencient nettement. Ainsi les acides deutroacétiques ont les points de fusion suivants :



L'eau légère et l'eau lourde sont deux liquides d'aspect identique dont les constantes physi-

ques nettement différenciées sont reportées dans le tableau page 78.

La mesure de la densité, ou de l'indice de réfraction, des mélanges d'eau légère et d'eau lourde permet le facile dosage de leurs quantités respectives.

D'une manière générale, les réactions chimiques effectuées au sein de l'eau lourde sont plus lentes que celles effectuées dans l'eau ordinaire ; c'est en particulier le cas pour les réactions d'hydratation ou d'hydrolyse et aussi pour les réactions biochimiques, comme les réactions diastasiques et la fermentation alcoolique.

Il était normal de se demander si l'eau lourde devait être considérée comme toxique pour les êtres vivants ; un poisson immergé dans de l'eau lourde pure meurt, en effet, en quelques heures. Elle n'a cependant aucune toxicité et elle peut être bue par l'homme et les animaux sans que ceux-ci en ressentent le moindre trouble. Elle n'est même pas abiotique, c'est-à-dire incapable d'entretenir la vie, car elle permet, à l'état pur, la reviviscence des Rotifères et des Tardigrades. Cette dernière expérience est assez curieuse. Les Rotifères et les Tardigrades sont des animaux microscopiques des mousses qui possèdent la propriété peu banale de pouvoir être déshydratés complètement. Plongés ensuite dans l'eau, ils reviennent normalement à la vie. Cette reviviscence se produit aussi bien dans l'eau ordinaire que dans l'eau lourde ; toutefois, elle est plus lente dans ce dernier cas, et les Rotifères ne pondent plus. D'ailleurs leurs œufs n'éclosent plus dans un mélange contenant déjà 60 % d'eau lourde.

L'eau lourde mélangée à l'eau ordinaire permet également la germination des grains de pollen. Dans l'eau lourde, pure, additionnée d'une petite quantité de sucre, les germinations se produisent encore, quoique moins bien que dans l'eau ordinaire. Les mélanges d'eau légère et d'eau lourde à 50 % donnent les plus belles germinations, car, par suite des échanges plus lents, le nombre des grains éclatés par gonflement se trouve être plus faible que dans l'eau ordinaire.

L'eau lourde provoque donc bien les mêmes réactions vitales que l'eau légère, mais avec des vitesses différentes. Il s'ensuit des troubles, que l'organisme supporte d'autant moins qu'il est plus complexe, ce qui explique le maintien de la vitalité dans l'eau lourde des organismes inférieurs et la mort des poissons signalée précédemment.

Les isotopes radioactifs

Tout ce qui précède se rapporte aux isotopes stables, c'est-à-dire à ceux que l'on trouve dans la nature en mélange généralement constant pour chaque élément et qui ne subissent aucune transmutation spontanée. Bien que les isotopes stables aient été très étudiés depuis quelques années, leur découverte avait été précédée de celle des isotopes radioactifs naturels, dont les divers isotopes du plomb sont les termes finals de la désintégration spontanée.

En 1895, Henri Becquerel décelait un nouveau rayonnement, émis par les sels d'uranium, capable en particulier d'impressionner des plaques photographiques enveloppées de papier noir.

Cette observation est à l'origine de la découverte de la radioactivité qui devait illustrer les noms de Pierre et Marie Curie. L'uranium n'est pas un élément stable ; son noyau atomique se

désintègre spontanément; il explose en donnant naissance à toute une suite d'éléments, eux-mêmes instables, qui, de désintégration en désintégration, amènent finalement à un élément stable, le plomb, ou plus exactement à un isotope

du plomb : ^{206}Pb . L'un des produits intermédiaires de cette série de désintégrations est le radium, universellement connu. Ces transmutations successives d'éléments s'effectuent tantôt avec émission de particules α , c'est-à-dire de noyaux d'hélium formés de l'association de 4 neutrons et de 2 positons; tantôt avec émission de particules β qui sont des négatons résultant de la matérialisation d'une partie de l'énergie interne nucléaire (1). Lorsqu'il y a émission de particules α , l'élément formé a un nombre de masse inférieur de 4 unités au précédent et un numéro atomique inférieur de 2 unités. Par contre, lorsque la désintégration est accompagnée d'une émission de particules β , le nouvel élément obtenu a même nombre de masse que le précédent, mais son numéro atomique a cru d'une unité.

On conçoit que, dans la suite d'éléments radioactifs compris entre l'uranium et le plomb, on retrouve parfois des éléments de même numéro atomique, mais de nombre de masse différents: ce sont des isotopes.

Ainsi le chef de file, l'uranium-I, $^{238}\text{U-I}$ se transforme par émission α en uranium-X, $^{234}\text{U-X}$, isotope du thorium; l'uranium-X, $^{234}\text{U-X}$, par émission β , donne l'uranium-X, $^{234}\text{U-X}$, isotope du protactinium, puis, par nouvelle émission β , l'uranium-II, $^{234}\text{U-II}$, isotope de

(1) Il convient aussi de signaler le rayonnement de même nature électromagnétique que la lumière, mais qui ne nous intéresse pas dans ce qui suit.

l'uranium-I. Une émission α ramène à un isotope du thorium et de l'uranium-X, l'isotope ^{230}Th : ce dernier, par émission de particules α , conduit au radium ^{226}Ra , et ainsi de

suite, jusqu'au plomb ^{206}Pb par décroissance du nombre de masse accompagnée de décroissances et de croissances du numéro atomique.

Il en est de même dans les deux autres séries radioactives du thorium et de l'actinium. Le terme final des désintégrations successives du thorium

^{232}Th est l'isotope du plomb ^{208}Pb .

^{235}U . Les transformations radioactives de l'actinouranium

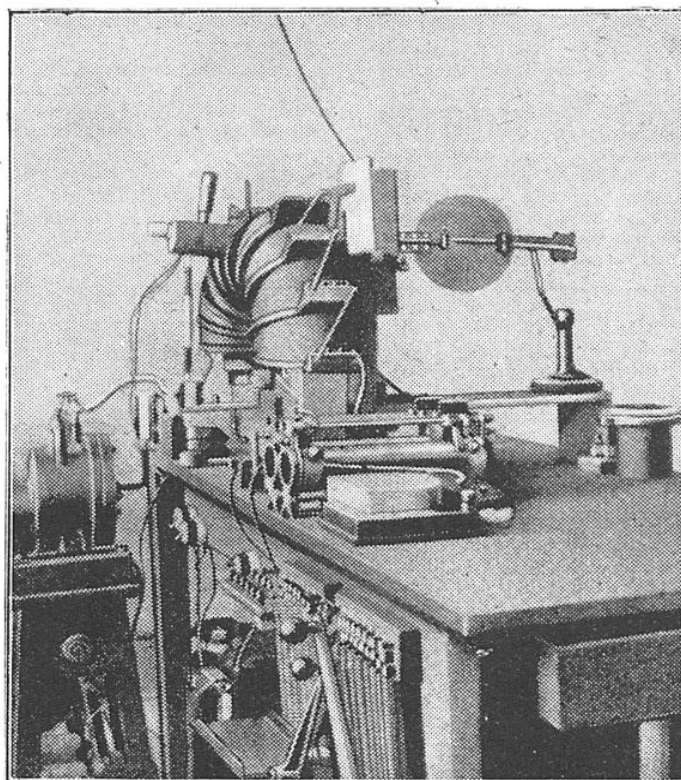
^{235}AcU aboutissent finalement à un autre isotope du plomb ^{207}Pb .

^{235}Pb . On comprend maintenant que le plomb naturel, issu des minerais radioactifs, présente des variations importantes de poids atomique suivant les proportions des isotopes

précédents qu'il contient, c'est-à-dire suivant la richesse en thorium et en uranium du minerai d'où il a été extrait.

La séparation des isotopes radioactifs présente de très grosses difficultés. On sait la longue suite de pénibles travaux qui ont permis à Pierre et Marie Curie et à G. Bémont d'extraire le radium de la pechblende, minerai d'uranium. Il faut traiter près de 10 tonnes de pechblende pour obtenir 1 g de radium. Encore le radium est-il un des éléments radioactifs à longue durée de vie moyenne puisqu'il faut attendre 1590 ans pour que la moitié d'une certaine masse de radium se soit désintégrée, alors que pour l'uranium-X il suffit d'un peu plus d'une

minute. Les isotopes radioactifs à aussi brève durée de vie moyenne sont toujours abondamment souillés de produits de désintégration moins éphémères. Heureusement que les méthodes d'analyse radioactive sont d'une telle



T W 40137

FIG. 7. — LE SPECTROGRAPHE DE MASSE DE F. W. ASTON AU LABORATOIRE CAVENDISH

sensibilité qu'il est aisé de déceler et de doser des traces infinitésimales de radioéléments.

En principe, la séparation des isotopes radioactifs s'effectue par entraînement à l'aide d'un élément de propriétés chimiques semblables. Ainsi le radium est entraîné dans la précipitation du baryum; le polonium suit le bismuth et l'actinium précipite avec le lanthane.

Les transmutations : préparations de nouveaux isotopes

Les désintégrations radioactives que nous venons d'examiner sont des transmutations d'éléments, de caractère spontané. Leur évolution est inéluctable et le chimiste ne peut en modifier ni la nature ni la vitesse.

Il est toutefois d'autres transmutations qui ont pu être réalisées dans ces vingt dernières années à partir d'éléments stables et dont la variété est telle que l'on peut considérer le vieux rêve des alchimistes comme réalisé. La première transmutation d'élément stable a été obtenue, en 1919, par Rutherford (1) qui réussit, en partant d'azote, à obtenir de l'hydrogène et de l'oxy-

Un projectile de choix pour réaliser les transmutations est le *neutron* (dont le symbole est n),

car, dépourvu de charge, il ne subit pas de déviation en passant au voisinage des noyaux atomiques chargés. Les neutrons peuvent être préparés de plusieurs manières, par exemple en soumettant un corps deutérihydrogéné à un bombardement de deutons, ce qui donne en même temps un isotope nouveau de l'hélium de masse 3 :



Les neutrons, utilisés à leur tour comme projectiles, donnent les transmutations les plus diverses, par exemple celle du lithium Li en

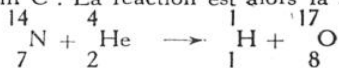
hélium et en un nouvel isotope de l'hydrogène de masse 3 :



	H ₂ O	D ₂ O
Densité à 20°	0,99998	1,10714
Température du maximum de densité	4°	11°6
Température de fusion	0°	3°82
Température d'ébullition normale	100°	101°42
Indice de réfraction (Raie D)	1,333	1,328
Constante diélectrique	81	79
Chaleur de vaporisation (100° C)	9 719 cal/mol.	9 919 cal/mol.

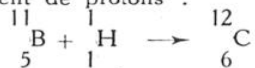
TABLEAU 1. — LES CONSTANTES PHYSIQUES DE L'EAU « LÉGÈRE » (H₂O) ET DE L'EAU « LOURDE » (D₂O)

gène. Pour réaliser une telle transformation, il est nécessaire de briser les noyaux des atomes d'azote, ce qui implique la mise en œuvre d'une énergie considérable. Celle-ci peut être fournie par le choc de particules α (*héliions*) sur les noyaux atomiques. Rutherford a soumis l'azote au bombardement des particules α émises par le radium C'. La réaction est alors la suivante :

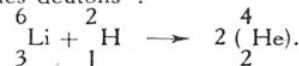


Grâce aux héliions, de nombreuses autres transmutations ont été réalisées, mais ce ne sont pas les seuls projectiles utilisables. Les *protons* ou noyaux d'hydrogène léger, les *deutons* ou noyaux d'hydrogène lourd sont également très employés. Ces particules, obtenues par ionisation de l'hydrogène léger ou lourd dans un tube à décharge, sont accélérées en leur faisant subir une chute de potentiel de plusieurs millions de volts pour leur communiquer une énergie suffisante. Citons comme exemple la transmutation

du bore B en carbone C sous l'action d'un bombardement de protons :

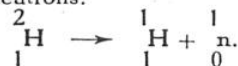


et celle du lithium Li en hélium He sous l'action des deutons :



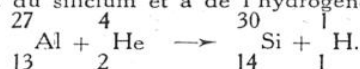
(1) Voir : « Un physicien de l'atome : Rutherford » (*Science et Vie*, n° 247, janv. 1938, p. 13).

Signalons encore que les radiations γ de grandes fréquences peuvent, elles aussi, provoquer des transmutations. Ainsi le rayonnement γ émis par le thorium C'' décompose les deutons en protons et neutrons.



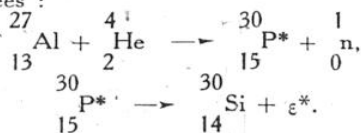
Les isotopes radioactifs artificiels (1)

La plus belle découverte de ces dernières années est celle des radioéléments due, en 1934, à Irène Curie et à F. Joliot. L'aluminium soumis à un bombardement d'héliions donne naissance à du silicium et à de l'hydrogène :



Mais la transmutation peut évoluer différemment et s'effectuer en deux stades. Dans le premier stade, il y a libération de neutrons et apparition d'un isotope du phosphore P^* ,

isotope instable qui se désintègre spontanément avec *émission de positons*, en redonnant le même silicium que dans la transmutation directe. On assiste donc aux deux réactions simultanées :



(1) Voir : « Les radioéléments artificiels » (*Science et Vie*, n° 275, mai 1940, p. 528.)

Le bombardement des hélium a donc créé un élément radioactif qui n'existait pas dans la nature, le *radiophosphore*, qui, à l'encontre des radioéléments naturels, est doué d'une radioactivité positogène. Le radiophosphore était le premier radioélément artificiel. Depuis cette découverte, beaucoup d'autres radioéléments, isotopes des éléments stables, ont été obtenus au cours de transmutations provoquées par des bombardements à l'aide d'hélium, de protons, de deutons ou de neutrons. Ces radioéléments ont généralement des durées moyennes de vie relativement courtes, allant de la minute à quelques heures; leur radioactivité est tantôt positogène, tantôt négatogène. La radioactivité artificielle présente un lien étroit avec la radioactivité naturelle et l'on peut passer de l'une à l'autre. Ainsi le bismuth bombardé par des deutons fournit artificiellement un radioélément naturel, le polonium, dont la synthèse se trouve ainsi réalisée :



Le nombre des radioéléments artificiels dépasse actuellement 400.

Utilisation des isotopes

Dans le domaine des recherches de science pure, la découverte et la séparation des isotopes ont fourni matière à un grand nombre de travaux du plus haut intérêt, bien que ne débordant guère encore du cadre des spécialistes.

Les isotopes ont été surtout utilisés comme *indicateurs de réaction*, pour reconnaître les atomes d'une molécule qui interviennent dans un processus réactionnel (1). Si l'on fait, en effet, réagir un mélange isotopique différent du mélange normal sur un corps de composition isotopique connue, il sera aisé, en suivant les variations de composition isotopique de certains de ses groupes fonctionnels, de reconnaître les atomes ou groupements atomiques qui participent aux réactions. Ces renseignements sont particulièrement précieux en chimie physiologique lorsqu'il s'agit de suivre le métabolisme de certains composés chimiques au sein des organismes vivants. Cette technique a été fréquemment mise en œuvre avec l'eau lourde dont on peut suivre facilement la répartition par des mesures de densité. Les isotopes radioactifs conviennent également de façon parfaite, car ils

ont les mêmes propriétés chimiques que leurs isotopes stables et peuvent être suivis commodément par les très sensibles mesures de radioactivité. Aussi sont-ils de plus en plus couramment employés comme indicateurs en chimie et en chimie physique. Leur emploi a permis, par exemple la détermination de la solubilité de sels extrêmement peu solubles comme le sulfate de baryum : il suffit de mélanger au sulfate de baryum un élément radioactif de propriétés chimiques semblables et de comparer la radioactivité de la solution et de l'excès du corps non dissous.

Les isotopes ont apporté une importante contribution aux études de constitutions moléculaires en aidant considérablement au dépouillage des spectres d'absorption et des spectres Raman (1). Les raies ou les bandes de ces spectres sont en effet attribuables aux vibrations intramoléculaires de certains groupements atomiques. Il est parfois difficile d'attribuer les détails spectraux aux vibrations convenables. La difficulté peut être levée en comparant le spectre du composé normal au spectre du même composé où l'on a substitué en place convenable à l'isotope normal un isotope plus lourd. Il est alors facile de rechercher les raies spectrales qui ont été déplacées par cette substitution et, en conséquence, de les faire correspondre aux modes de vibration du groupement atomique substitué.

Mais c'est en thérapeutique que l'on peut attendre le secours le plus précieux des isotopes, plus précisément des radioéléments artificiels. L'emploi des radioéléments comme le radium est bien trop connu pour qu'il soit nécessaire d'insister. Toutefois, la séparation des sels de radium exige des pénibles fractionnements. On peut envisager que la préparation industrielle des radioéléments artificiels s'effectuera dans l'avenir beaucoup plus commodément et, peut-être, plus économiquement. Les effets des rayonnements des radioéléments artificiels sont les mêmes que ceux des radioéléments naturels, mais leur durée de vie beaucoup plus courte est un avantage qui peut être considérable. Il est, en effet, possible par leur emploi de limiter la durée de traitements internes, effectués par injection par exemple, le radioélément disparaissant rapidement, alors qu'avec les radioéléments naturels, les traitements sont beaucoup plus délicats à effectuer.

(1) Voir : « L'effet Raman révolutionnera-t-il l'analyse chimique ? » (*Science et Vie*, no 193, juillet 1933, p. 48)...

G. CHAMPETIER.

L'esprit humain, aux diverses périodes de son évolution, a passé successivement par le sentiment, la raison et l'expérience. D'abord le sentiment, seul s'imposant à la raison, créa les vérités de foi, c'est-à-dire la théologie. La raison ou la philosophie, devenant ensuite la maîtresse, enfanta la scolastique. Enfin, l'expérience, c'est-à-dire l'étude des phénomènes naturels, apprit à l'homme que les vérités du monde extérieur ne se trouvent formulées de prime abord, ni dans le sentiment ni dans la raison. Ce sont seulement nos guides indispensables; mais, pour obtenir ces vérités, il faut nécessairement descendre dans la réalité objective des choses.

Claude BERNARD.

LA SYNTHÈSE INDUSTRIELLE DU MÉTHANOL, CARBURANT DE L'AVENIR

par Henri DOYEN

L'alcool méthylique ou méthanol constitue un excellent carburant (1), parfaitement adapté à l'alimentation des moteurs à injection récemment mis au point et capables de tirer parti notamment de son bas point d'ébullition (66°C sous 760 millimètres de mercure) et de son indice d'octane élevé (100) permettant d'accroître la compression et par suite le rendement. Il sert également à la fabrication des matières plastiques dont l'emploi se généralise dans la plupart des grands pays industriels. Sa production en France, principalement dans le Pas-de-Calais, n'a pas dépassé 12 000 tonnes en 1943. Comparé aux 6 à 7 millions de tonnes d'essence consommées en France en 1938, ce chiffre apparaît extrêmement bas. Il s'élèvera beaucoup quand sera parachevée l'installation très importante dont la création vient d'être décidée sur le bassin lignitifère de Fuveau (Bouches-du-Rhône). La synthèse du méthanol, obtenue par action de l'hydrogène sur l'oxyde de carbone en présence de catalyseurs, se contente en effet d'une matière première de faible valeur tel le lignite qui, on le sait, abonde en France. Dans un avenir qu'il faut souhaiter prochain, un plan, établi par des personnalités qualifiées, envisage une fabrication annuelle de 400 000 tonnes (5 millions d'hectolitres) de méthanol synthétique, obtenues dans cinq usines d'une capacité unitaire de 80 000 t/an, lesquelles prendraient comme matière première le lignite des bassins de Provence, du Minervois, des Landes et du Sarladais. Ces réserves, à peu près inentamées, s'élèvent approximativement à un milliard de tonnes au minimum.

La synthèse de l'alcool méthylique, ou méthanol, fait appel aux gaz les plus communs et les plus faciles à produire en quantités illimitées : l'oxyde de carbone et l'hydrogène.

Tout comme celle de l'ammoniac, elle est fortement exothermique, c'est-à-dire qu'elle dégage de la chaleur, et s'effectue par l'effet simultané d'une pression élevée et d'un catalyseur (elle a lieu généralement sous une pression variant entre 400 et 800 kg/cm² et à une température comprise entre 300 et 400° C) (2).

Cependant, ces deux types de catalyse se différencient profondément l'un de l'autre par la stabilité des réactions auxquelles elles correspondent. Celle de l'ammoniac n'est pas sujette à une rétrogradation et ne donne qu'un seul produit chimiquement défini : l'ammoniac. Au contraire, celle du méthanol s'accompagne de la formation parasite, plus ou moins prononcée, de gaz permanents : méthane, gaz carbonique, de vapeur d'eau et de divers composés liquides.

Il faut éviter le plus possible ces réactions parasites. En effet, elles exposent, d'une part, à une destruction partielle des matières premières, le carbone et l'hydrogène, que l'on perd alors sous la forme de gaz permanents, gaz carbonique, méthane, de faible valeur pratique ; d'autre part, à un emballement thermique

susceptible de provoquer la dissociation du méthanol déjà formé. En outre, la température pourrait s'élever jusqu'à plus de 1 000° C dans le tube de catalyse, ce qui compromettrait gravement la sécurité de l'exploitation.

Les catalyseurs

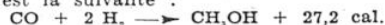
Presque toujours on utilise aujourd'hui un catalyseur à base d'oxyde de zinc et d'oxyde de chrome. Certes, il est six à sept fois moins actif que le catalyseur au cuivre, surtout si on incorpore à celui-ci du manganèse (il en suffit de deux ou trois atomes pour mille de cuivre), ce qui lui permet de satisfaire à un rendement voisin de 5 kg de méthanol pur par heure et par litre de volume catalytique. Par contre, le catalyseur oxyde de zinc-oxyde de chrome « s'empoisonne » beaucoup moins facilement sous l'action du soufre organique, spécialement de l'oxysulfure de carbone, que le catalyseur au cuivre. Pour ce dernier, la teneur en soufre organique total doit être ramenée d'environ 200 milligrammes à 1,5 milligramme par mètre cube de gaz, ce qui est onéreux du point de vue des investissements et des frais d'exploitation. C'est pourquoi, après une expérience de près de deux années dans une exploitation pilote établie dans le Pas-de-Calais, le catalyseur au cuivre a dû être abandonné.

Préparation du mélange gazeux

L'hydrogène et l'oxyde de carbone, constituants essentiels du mélange gazeux à prépa-

(1) Voir : « L'alcool carburant » (*Science et Vie*, n° 323, juillet 1944, p. 35).

(2) La réaction de formation synthétique du méthanol est la suivante :



rer (1), sont accompagnés de méthane, d'anhydride carbonique, d'azote (gaz dits inertes) dont la proportion maximum dans l'ensemble du gaz ne doit pas dépasser 10 à 12 % pour ne pas réduire l'activité de la catalyse et pour ne pas entraîner à une consommation inutile de force motrice.

Actuellement, en France et en Belgique, on obtient principalement ce gaz de synthèse en soumettant à une conversion, au moyen de la vapeur d'eau, du méthane technique à 70 % de méthane, résultant de la condensation et de

d'un gaz très pur, tel que le méthane technique, il faut désulfurer le gaz provenant de toute autre source (gaz naturels de puits pétrolières, gaz d'hydrogénation, gaz de boues d'égoût), si on fait intervenir un catalyseur. En chimie industrielle, comme en politique, l'art consiste à choisir entre plusieurs inconvénients.

Pour les installations futures projetées sur les gisements de lignite du Midi, où l'on ne disposera évidemment pas de gaz de fours à coke, le gaz de synthèse s'obtiendra à partir du lignite traité dans des fours gazogènes à grand

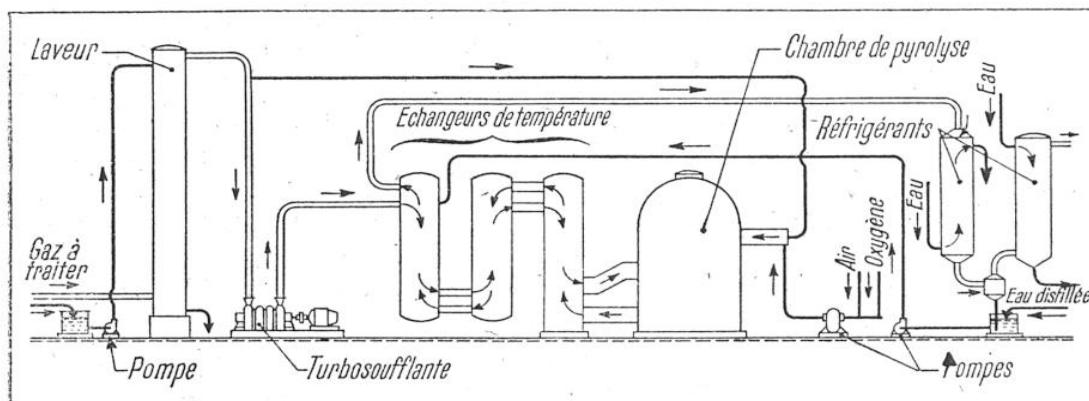


FIG. 1. — SCHÉMA GÉNÉRAL DU DISPOSITIF DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE L'AZOTE ET DES PRODUITS CHIMIQUES DU MARLY POUR LA CONVERSION DU MÉTHANE

Le gaz à traiter arrive par la gauche. C'est du gaz de fours à coke, sec et désulfuré, débarrassé ou non de son hydrogène. Il est d'abord lavé, puis envoyé dans des échangeurs de température, où il se réchauffe au détriment des gaz provenant de la conversion. Il accède alors à la chambre de pyrolyse où s'effectue la conversion du méthane en hydrogène et oxyde de carbone sous l'action de la chaleur, de la vapeur d'eau et de l'air suroxygéné.

la distillation fractionnée du gaz de fours à coke. Cette conversion, absorbant une grande quantité de chaleur (2) oblige à recourir à une source extérieure de calories pour équilibrer le bilan thermique de l'opération. Cet appoint de chaleur peut provenir soit de la combustion du coke si la conversion a lieu dans un gazogène producteur de gaz à l'eau; soit, par injection d'oxygène (3) dans l'appareil de conversion (procédé Renory), soit encore par chauffage du mélange de gaz et de vapeur d'eau avant son entrée dans la chambre de conversion (procédé Kuhlmann).

D'autre part, la température de conversion se situe entre 750 et 800° ou entre 1 300 et 1 350° selon que l'on recourt ou non à l'emploi de catalyseurs, ceux-ci étant généralement à base de nickel. En principe, par suite du régime plus bas de température, il y aurait d'autant plus avantage à faire usage de catalyseurs que ceux-ci, au moins quand on procède à un soufflage d'oxygène, permettent d'utiliser des appareils continus très simples (à Renory, par exemple), tandis que, sans catalyseurs (à Harnes et à Selzaete notamment) il faut employer des chambres à fonctionnement alternatif, représentant un ensemble plus compliqué et plus coûteux. En contre-partie, à moins de disposer

débit et fournissant directement du gaz de la composition requise. Il en existe plusieurs modèles excellents. Pour compenser l'absorption de chaleur par la réaction de la conversion *in situ* du méthane, ces fours sont, soit à soufflage d'oxygène et de vapeur d'eau, soit à chauffage externe. Les premiers sont plus simples et permettent de traiter du lignite du calibre de 4 à 12 mm, par exemple, obtenu directement par criblage du tout-venant, tandis que les autres impliquent l'emploi de morceaux de lignite de la grosseur du poing ou de celle du pouce, ce qui nécessite une agglomération délicate et onéreuse, au moins pour les lignites de la Provence et du Minervois. En contre-partie, les gaz obtenus selon cette seconde méthode, ne contiennent que 12 % environ de gaz carbonique tandis qu'il y en a environ 30 % dans ceux obtenus selon le premier procédé, ce qui oblige à une décarbonatation par l'eau sous pression, opération simple mais nécessitant une consommation élevée de force motrice. Là encore, un choix s'impose entre les avantages et les inconvénients.

L'importance du problème de la préparation du mélange gazeux résulte de ce que l'on consomme en moyenne 3 m³ de gaz par litre de méthanol. Or, une installation de production de cet alcool est appelée à en fournir 32 000 litres par jour dans les unités types et 175 000 litres par jour (50 000 t par an) dans les groupes plus importants. Selon l'un ou l'autre cas, il faut donc satisfaire à une production jour-

(1) La réaction précitée montre qu'il faut deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxyde de carbone.

(2) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2 - 50,3 \text{ cal.}$

(3) $\text{CH}_4 + 1/2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2 \text{ H}_2 + 8,4 \text{ cal.}$

nalité du mélange gazeux d'environ 100 000 ou 525 000 m³. Par conséquent, il faut pouvoir disposer de groupes de gazéification d'une grande puissance unitaire utilisant, non pas du coke, dont la préparation crée une lourde servitude, mais un combustible cru tel que la houille, si les conditions de l'économie nationale s'y prêtent, ou le plus souvent et mieux encore du lignite parce que, étant donné ses conditions usuelles d'extraction, son prix de

d'oxyde de fer hydraté. Pour capter le soufre organique (oxysulfure et sulfure de carbone), on met le gaz en contact soit avec du cuivre chauffé à 900° C, soit avec un oxyde métallique porté à 325° C qui fixe le soufre à l'état de sulfure. Dans l'un et l'autre cas, l'hydrogène présent dans le gaz, en réduisant le sulfure formé, engendre de l'hydrogène sulfuré qu'on sépare au moyen d'une masse d'oxyde de fer hydraté. Enfin, l'élimination du gaz carbonique, ou

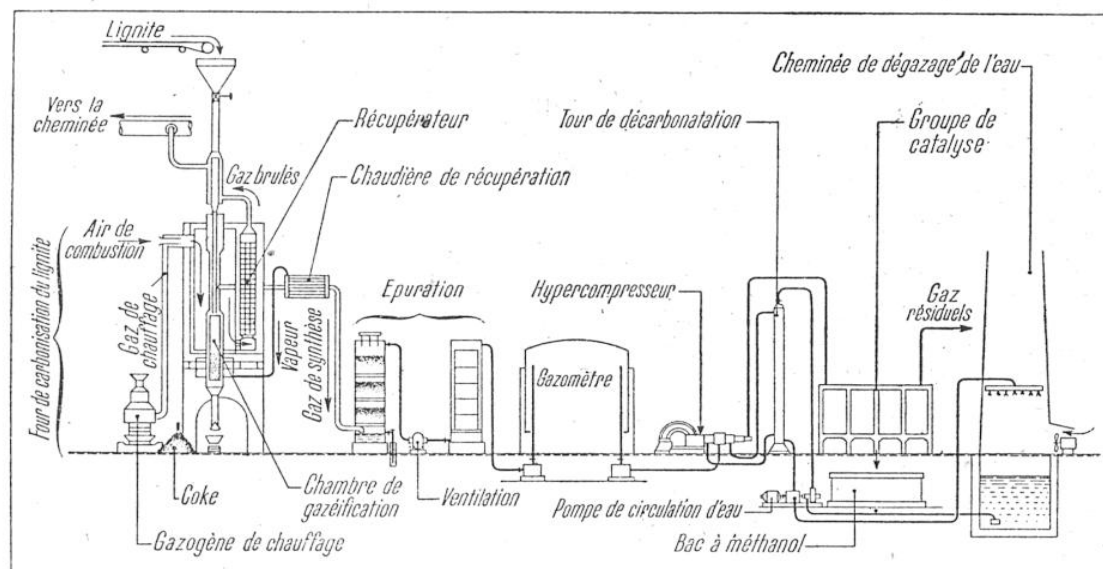


FIG. 2. — SCHÉMA D'UNE INSTALLATION POUR LA SYNTHÈSE DU MÉTHANOL

Le mélange gazeux (en principe oxyde de carbone et hydrogène) est préparé dans le four de carbonisation du lignite chauffé par un gazogène auxiliaire. Après épuration, il est emmagasiné dans un gazomètre. Il se rend ensuite dans un compresseur. A la sortie du premier étage de celui-ci, le gaz est dirigé vers la tour de décarbonatation, où de l'eau sous pression le débarrasse du gaz carbonique qu'il peut contenir. Il revient alors au compresseur où sa pression est successivement portée à 400 ou à 800 kg/cm² suivant le degré de vitalité du catalyseur avec lequel il entre ensuite en contact dans la chambre de catalyse. Finalement, le gaz résiduel est utilisé pour le chauffage de générateurs à vapeur. Enfin, la force vive de l'eau sortant de la tour de décarbonatation sert à actionner une turbine. Avant d'utiliser à nouveau cette eau pour le lavage du gaz, on la dégaze dans une cheminée.

revient est généralement notablement plus bas que celui du charbon.

Par ailleurs, quelle que soit la forme de sa réalisation, la conversion du méthane en oxyde de carbone et en hydrogène sous l'action de la vapeur d'eau nécessite une consommation très élevée de carbone. Celle-ci représente 45 à 60 % de la quantité de carbone contenu dans le combustible solide servant à la production du méthane. Dans ce dernier, on ne retrouve, selon les méthodes appliquées, que 21 à 25 % du poids du carbone apporté par le combustible solide mis en œuvre.

Epuration du mélange gazeux

Cette opération s'effectue en trois étapes. Les deux premières sont respectivement consacrées à l'élimination du soufre minéral, puis du soufre organique. Quant à la troisième, qui ne s'impose que lorsque le gaz renferme plus de 10 % de gaz carbonique, elle correspond à une décarbonatation par lavage à l'eau sous pression.

Le soufre minéral (hydrogène sulfuré) se retient, suivant la pratique classique, au moyen

décarbonatation, s'effectue habituellement sur le gaz sortant, à la pression de 25 kg/cm² du premier étage du compresseur alimentant les chambres de catalyse. On procède à cette décarbonatation par lavage du gaz avec de l'eau, évidemment sous la pression de 25 kg/cm² également, dans une tour remplie de matières divisantes. Pour 1 000 m³/h de gaz à 10 % de gaz carbonique, on emploie habituellement 10 m³/h d'eau qui circulent en cycle fermé. Avant de réutiliser l'eau, on la dégaze dans une tour d'aération.

Après cet ensemble d'opérations d'épuration, les gaz sortant de la tour de dégazage à une pression de 25 kg/cm², sont portés, dans les autres étages du compresseur, à la pression de marche de la catalyse, comprise entre 400 et 800 kg/cm², c'est-à-dire 400 kg/cm² en général quand le catalyseur est neuf, et 800 kg/cm² quand il approche du terme de sa vitalité.

L'appareillage de synthèse

La figure 2 représente schématiquement une installation pour la synthèse du méthanol. Les

appareils de catalyse qui y sont grossièrement figurés peuvent être constitués comme l'indique la figure 3, par plusieurs tubes (au nombre de huit généralement) travaillant en série et à la sortie desquels le gaz, à cause de sa composition, ne convient plus qu'au chauffage des chaudières. Ils peuvent aussi, suivant le schéma de la figure 4, consister en un seul tube, mais de plus fortes dimensions. On recycle alors le gaz, à l'exception d'un certain volume, dit gaz

tion inégale des diverses parties de cet appareil, par suite de la différence de métaux qui le constituent, le faisceau tubulaire est pourvu de garnitures plastiques lui permettant de coulisser dans les plaques servant à son assemblage.

Le méthanol est le plus économique des carburants de synthèse

De tous les carburants de synthèse, le mé-

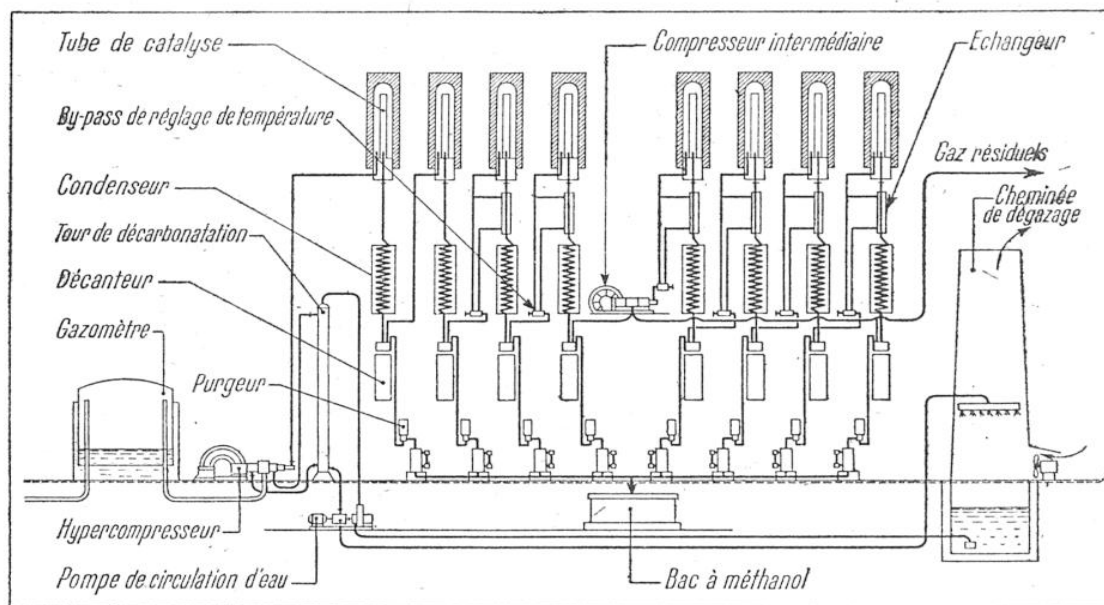


FIG. 3. — TUBES DE CATALYSE TRAVAILLANT EN SÉRIE POUR LA SYNTHÈSE DU MÉTHANOL

On retrouve sur cette figure certains éléments de la figure 2 : gazomètre de stockage du mélange gazeux; hypercompresseur à plusieurs étages; tour de décarbonatation; cheminée de dégazage; pompe de circulation d'eau. Les tubes de catalyse fonctionnent en série (avec un compresseur intermédiaire entre les deux groupes de quatre tubes) et les gaz résiduels sont évacués vers un foyer de générateur de vapeur où ils sont brûlés.

de purge, qui sert à des opérations de chauffage.

Le tube de catalyse (fig. 5) présente une grande analogie de disposition et de construction avec un tube pour la synthèse de l'ammoniac.

Un soin particulier doit être apporté au dispositif de régulation de la température, dans le détail duquel nous ne pouvons entrer ici.

Il faut en effet, non seulement stabiliser la température, utiliser le mieux possible la chaleur de réaction et en évacuer l'excédent, mais encore disposer d'un ensemble simple et robuste, permettant en particulier de se prêter au remplacement rapide de la masse catalytique, puis encore de s'adapter aux variations importantes de dilatation que subissent ces appareils en leurs différentes parties.

Les tubes-échangeurs de température sont de très petit diamètre afin de faciliter l'évacuation rapide de la chaleur de réaction contenue dans les gaz sortant des cuves de catalyse. L'oxyde de carbone attaquant à chaud le fer pour donner du fer carbonyle, on ne peut utiliser l'acier pour constituer le faisceau de tubes. Seule l'enveloppe extérieure des tubes est en acier pour résister à la pression de marche et leur paroi interne comporte un revêtement la protégeant contre l'action des gaz. A cause de la dilata-

tion inégale des diverses parties de cet appareil, par suite de la différence de métaux qui le constituent, le faisceau tubulaire est pourvu de garnitures plastiques lui permettant de coulisser dans les plaques servant à son assemblage.

thanol est celui qui, consommé dans des moteurs adaptés à son emploi, procure, tout compte fait, la plus grande économie de la matière première initiale : houille ou lignite. Prenons le cas en effet du lignite à 5 300 cal/kg. Il en faut, pour fabriquer par synthèse 1 kg de carburant : entre 9 et 10 kg pour l'essence d'hydrogénation, 8,7 kg pour l'essence du procédé Fischer et seulement 5,5 kg pour le méthanol. Par cheval-heure développé dans des moteurs appropriés, il faut respectivement 1,3 à 1,4 kg de lignite pour l'essence d'hydrogénation, 1,287 kg pour l'essence Fischer, et 1,02 kg pour le méthanol.

Les usines de synthèse du méthanol

D'après M. Valette, l'unité type pour la synthèse du méthanol, constituée par un matériel que les métallurgistes français sont en mesure de construire, représenterait une production de 32 000 litres par jour. Elle serait alimentée par un compresseur de 4 000 m³/h.

Sur ces bases, une installation destinée à produire 50 000 t de méthanol par an, soit par jour 190 000 litres d'alcool brut correspondant à 174 000 litres d'alcool rectifié, serait constituée par six groupes de catalyse. Elle nécessiterait

la mise en œuvre de 522 t de lignite donnant 522 000 m³ de gaz et consommant 348 000 kWh.

La seule consommation de vapeur sera celle demandée par la rectification de l'alcool brut; les gaz résiduels de synthèse, qui représentent environ 800 m³ pour 1 000 litres de méthanol, suffisent amplement à la production de cette vapeur.

Dans ces conditions, les cinq usines projetées en France, d'une production unitaire de 80 t de méthanol par an, soit au total 400 000 t ou 5 millions d'hectolitres, consommeraient, toujours par an, 2,5 millions de tonnes de lignite dont 1,5 millions pour la synthèse et un million pour la production d'un million de kWh. Or, tenant compte des besoins régionaux en combustibles à satisfaire, l'extraction de lignite pourrait atteindre 3 millions de tonnes.

Le méthanol carburant

L'alcool méthylique bout à 66° C sous une pression de 760 mm; sa densité à 15° C est de 0,803; son pouvoir calorifique est de 4 900 cal au kilogramme ou de 4 200 cal au litre; sa chaleur de vaporisation de 280 cal et son indice d'octane de 100. Comme M. Carbonaro l'a montré, le méthanol carburant présente cet avantage que, à égalité de calories, son prix ressort à 33 % de moins que celui de l'alcool de betterave. Il se prête, par conséquent, à l'abaissement sensible du prix moyen de l'alcool carburant par le jeu d'une péréquation de prix qu'il sera facile à tout organisme d'Etat de mettre au point. Le méthanol est manifestement un excellent carburant à condition de profiter de son indice d'octane élevé et de sa forte chaleur de vaporisation, en l'employant dans des moteurs à carburation interne dits aussi à injection. C'est ce que montre le tableau ci-dessous. L'accroissement de rendement du moteur, qui passe de 28 à 45,1 %, et la diminution de consommation de calories, qui tombe de 2 260 à 1 395 par cheval-heure quand, à l'essence,

	Essence	Méthanol
Puissance (en chevaux)...	104,5	124
Consommation :		
en grammes par ch/h...	226	298
en calories par ch/h...	2260	1395
Température d'échappement	900° C	700° C
Rendement	28 %	45,1 %

TABLEAU 1. — COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS DANS LES MOTEURS AVEC L'ESSENCE ET LE MÉTHANOL

Dans un cas comme dans l'autre, le moteur tournait à 2 000 t/mn. Avec l'essence pure, de pouvoir calorifique inférieur 10 000 calories/kg et d'indice d'octane 72, le taux de compression était de 6,5. Avec le méthanol à 99%, de pouvoir calorifique inférieur 4 690, le taux de compression était de 12.

on substitue du méthanol, correspondent à des résultats vraiment « sensationnels ».

Ces améliorations considérables de rendement et, partant de consommation, s'expliquent par l'accroissement du taux de compression rendu possible par l'indice d'octane plus élevé du méthanol d'une part, puis par la chaleur latente de vaporisation plus élevée du méthanol (280 contre 82, soit 3,4 fois plus que pour

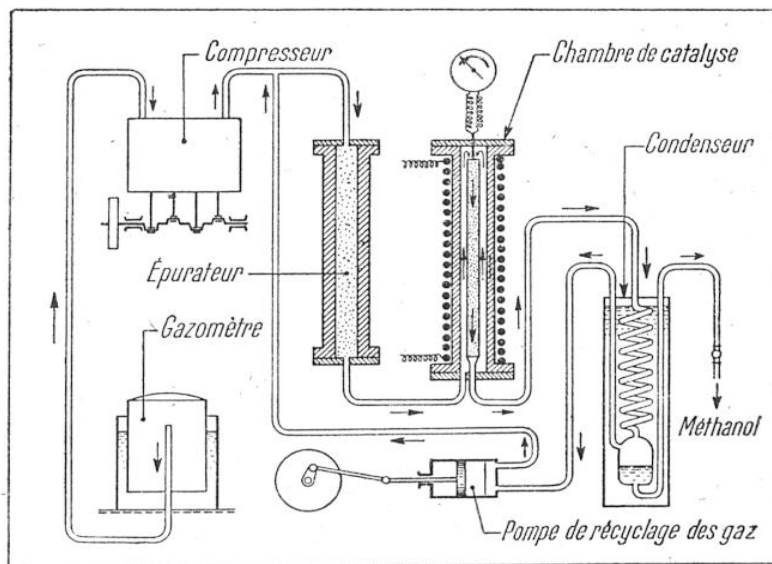


FIG. 4. — SCHÉMA DE LA FABRICATION SYNTHÉTIQUE DU MÉTHANOL PAR LE PROCÉDÉ PATARD

Dans cette installation, il y a une unique chambre de catalyse, et la fraction des gaz qui l'a traversée sans éprouver de modification est remise en circuit.

l'essence), d'autre part. En effet, la température moyenne du cycle est abaissée et, par suite, les pertes thermiques sont diminuées comme l'indique la température des gaz à l'échappement qui passe de 900° C à 700° C quand on remplace l'essence par du méthanol.

Il est donc permis de dire que la mise au point du moteur à carburation interne, qui est un fait acquis en France aussi bien qu'en Allemagne et aux États-Unis, constitue un événement capital dans la technique et l'économie de l'emploi des carburants. Elle ouvre d'amples perspectives aux alcools carburants, promus au premier rang dans la famille des carburants alors que, jusqu'en 1939, ils n'y faisaient figure que de parents pauvres. Cette mise au point, enfin, est susceptible d'aider l'industrie automobile à échapper à l'emprise dont on la menace et de mieux assurer l'existence du million de Français qui, avant cette guerre, vivaient de l'automobile.

D'autre part, comme l'a rappelé M. Zédet, des essais déjà anciens ont prouvé que l'oxyde de méthyle, obtenu par l'action à 140° de l'acide sulfurique sur le méthanol, se dissout dans ce dernier pour en améliorer le pouvoir calorifique et faciliter le démarrage à froid.

La stabilité de ce mélange est renforcée quand on le transforme en mélange ternaire tel que : méthanol, oxyde de méthyle, cétones. Ces dernières permettent de mieux approprier les ten-

sions de vapeur et contribuent à l'obtention d'un supercarburant.

Les dérivés du méthanol

Avant cette guerre, le régime administratif était défavorable au méthanol carburant. Ce dernier devait, en effet, parce que c'est un alcool, acquitter un impôt égal à 30 % de son prix de vente. C'est pourquoi le plus intéressant débouché du méthanol correspondait alors à la fabrication de l'aldéhyde formique, représentant lui-même la matière première pour la fabrication synthétique, d'une part, de l'hexaméthylènetétramine puis, d'autre part, des résines et de leurs dérivés : poudres à mouler, vernis. On préparait ainsi de la bakélite, des « Gédélite » et « Gedopales » ou bien les « Azolone » et les « Urazone » auxquels appartiennent respectivement les matières plastiques du groupe formol-phénol et celles du groupe formol-urée.

Dans ces fabrications, on utilise le pouvoir résinifiant élevé du formol pour les phénols, l'urée, la caséine, etc., et on l'oxydant lui-même par oxydation du méthanol, au moyen, soit de l'oxygène en présence d'un catalyseur tel que le cuivre, l'argent, ou l'argent et le cuivre. L'opération a lieu à la température de 360° C et on arrive, aujourd'hui, à un rendement de 92 à 93 %.

Ces résultats industriels nous ouvrent des perspectives très étendues. On sait, par exemple, qu'en incorporant au bois des matières plastiques, on le rend imputrescible, incombustible et plus résistant (1). Le bois ainsi préparé paraît appelé à remplacer le métal pour les ailes d'avions. D'autre part, dans un proche avenir, la carrosserie des automobiles ne sera peut-être plus en tôle mais en matières plastiques. Dès lors, on conçoit l'intérêt considérable qui s'attache à la fabrication du méthanol.

Parmi les dérivés du méthanol, il convient

(1) Voir : « Le bois, rival de l'acier ». (*Science et Vie*, no 308, avril 1943, p. 173.)

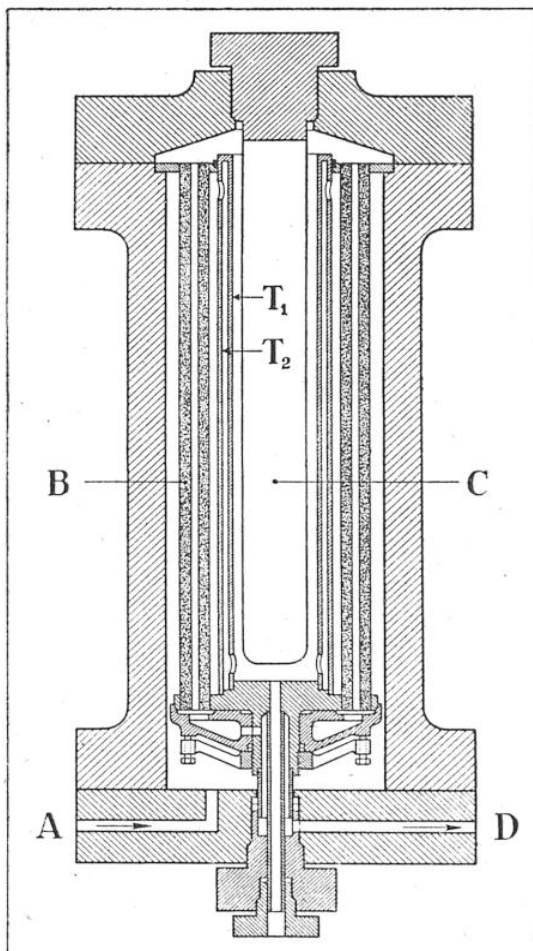


FIG. 5. — COUPE D'UN TUBE DE CATALYSE

Dans la partie axiale C se trouve le dispositif de chauffage. Le gaz, introduit par A, longe d'abord les tubes B contenant la masse catalytique, circule de haut en bas entre les tubes T₁ et T₂, prend ensuite un mouvement ascendant dans la chambre de chauffage qui entoure C, pénètre dans les tubes de catalyse B qu'il traverse de haut en bas, puis gagne l'orifice de sortie D.

aussi de citer le méthylal qui est un éther diméthylque obtenu en traitant, à la température d'ébullition, une molécule de formol par deux de méthanol en présence d'un catalyseur déshydratant tel que le perchlorure de fer.

Quand le méthanol est employé seul comme carburant, le méthylal, dont le point d'ébullition est de 42°, facilite les mises en marche.

Conclusion

D'après les informations les plus autorisées, il faut se garder de toute illusion au sujet des importations du pétrole dans une mesure compatible à celle de nos besoins, soit 6 à 7 millions de tonnes comme en 1938. Déjà, les Anglo-Américains se préoccupent, eux-mêmes, de savoir comment ils pourront couvrir leur consommation qui ne cesse de croître. A eux seuls, les États-Unis en retiennent 240 millions de tonnes par an, soit 60 % de la production mondiale. Les réserves pétrolifères dans le monde ne paraissent guère dépasser 36 milliards de barils dont 20 milliards dans les Amériques et 16 milliards dans le Proche-Orient, soit au total 5 milliards de tonnes ou de quoi satisfaire aux besoins de l'humanité pendant une douzaine d'années seulement.

En matière de carburant notamment, notre salut sera de vivre en autarcie aussi poussée que possible.

Le méthanol de synthèse, dont la fabrication industrielle a été créée, mise au point et développée, depuis 1925, par des ingénieurs français et des grandes sociétés françaises de produits chimiques, est susceptible d'apporter une importante contribution au ravitaillement national en carburants.

Félicitons-nous, par conséquent, de l'heureuse décision prise récemment d'accroître considérablement la production française de méthanol (actuellement de 12 000 t par an) par la création sur le bassin lignitifère de Fuveau d'installations très importantes.

Henri DOYEN.

LE TRAVAIL DES MÉTAUX ET LA DURETÉ DES ROCHES

par E. LEMAIRE

Ingénieur des Arts et Manufactures

La dureté des corps solides n'est pas une véritable constante, même quand ce sont des composés purs, cristallisés et chimiquement définis. Elle varie quelquefois beaucoup, car leurs cristaux présentent des plans de moindre résistance (plans de clivage) dans lesquels la dureté n'est pas la même que dans d'autres directions. L'expérience industrielle montre en outre que la dureté apparente, c'est-à-dire en pratique la vitesse avec laquelle se travaillent les métaux ou se perforent les roches, prend des valeurs très différentes suivant la nature du lubrifiant ou du liquide utilisé dans l'opération. Des recherches systématiques récentes ont montré qu'un rapport étroit existe entre les résultats obtenus et la constitution moléculaire du liquide en question, constatation importante qui justifie l'adoption de modes plus rationnels de perforation en raison des économies d'énergie, de temps et de matière qu'ils peuvent procurer dans les travaux de forage et l'exploitation des gîtes métallifères.

La dureté des matériaux se mesure pratiquement par le billage ou au moyen des scléromètres pour les métaux, avec l'aiguille de Vicat pour les ciments; mais on a là plutôt un renseignement sur leur résistance à la traction ou à la compression que sur celle qu'ils opposent à leur usure par frottement, à l'abrasion ou à l'usinage par les outils de coupe, les fraises ou les meules. En tout cas, comme on opère toujours dans l'air, on ne sait pas grand chose sur le comportement d'un matériau quand on opère en présence d'un liquide. On sait cependant que d'autres propriétés, comme l'indice de réfraction, varient avec le milieu.

L'ouvrier qui travaille les métaux perçoit bien une différence quand on change le lubrifiant ou le liquide refroidisseur (eau ordinaire, huile de coupe, eau de savon); il en est de même, quand, dans le forage au « rotary » la couronne de la sonde tourne dans une boue préparée avec une argile smectique ordinaire ou avec une terre très adsorbante du genre bentonite (1); mais les différences observées paraissent si faibles que, jusqu'à présent, on ne s'en souciait guère. Des expériences récentes, entreprises à l'Institut de Pétrographie de Göttingen, montrent que, dans le cas des roches, ces différences peuvent au contraire être fort importantes.

La dureté du quartz

Les premières recherches ont porté sur le quartz, car, dans l'échelle de Mohs (2), il oc-

(1) La bentonite est une variété d'argile colloïdale qui possède de remarquables propriétés adsorbantes, émulsifiantes et détersives et qui est aussi un agent gélifiant de grande valeur. C'est pourquoi c'est une matière recherchée dans maintes industries, en particulier en savonnerie, et dans le domaine des matières grasses pour la fabrication des excipients pour graisses et pommades.

(2) L'échelle de Mohs comprend les dix types sui-

cupe pratiquement la place la plus élevée dans les travaux de mines puisqu'il accompagne un grand nombre de gîtes métallifères. On a donc mesuré le poids de quartz enlevé pendant l'unité de temps. Ces recherches ont montré que si on prend égale à 100 la dureté dans l'eau, on trouve que, dans les quatorze liquides les plus divers qui ont été essayés tout d'abord, elle varie de 109 (hexane) à 59 (alcool octylique secondaire).

On ne peut songer à employer aucun de ceux de ces liquides qui ont donné de bons résultats : ce sont tous des corps, sinon rares du moins trop chers; mais leur étude a montré qu'ils ont tous une constitution chimique comparable, en ce sens que leur molécule renferme un grand nombre d'atomes de carbone; de plus, ils sont d'autant plus efficaces que leur molécule est plus grosse, à chaîne plus longue ou plus ramifiée. C'est ce que l'expérience a vérifié pour d'autres liquides qui ont été essayés ensuite. Ainsi, en opérant avec un pétrole brut, riche en hydrocarbures supérieurs de même homologation, donc à plus longue chaîne moléculaire, on a obtenu une dureté de 70 alors qu'avec le pétrole lampant extrait de ce brut et qui ne renfermait plus ces hydrocarbures supérieurs, la dureté est montée à 80. On observe une diminution analogue pour ceux des corps efficaces qui sont miscibles à l'eau quand on emploie de l'eau additionnée d'une faible proportion de ces corps (0,5 %) ou encore une solution aqueuse de certains électrolytes; mais alors, la concentration doit être assez grande; on ne peut pas non plus songer à employer ces solutions à moins que l'électrolyte n'exerce une action dissolvante sur le quartz. Ainsi, déjà dans une solution décimolaire de silicate de soude (verre soluble) ou de soude caustique, la dureté s'abaisse à 95 et à 88.

vants : talc, gypse, calcite, fluorine, apatite, orthose, quartz, topaze, corindon, diamant.

Une application nouvelle de la lignine

Ces constatations ont conduit à étudier l'action d'un sous-produit encombrant qui semblait devoir posséder à un haut degré la propriété recherchée. C'est celui qui résulte de la transformation de la lignine, matière incrustante, non glucidique, de la paroi cellulaire du tissu ligneux, quand on traite les bois par le procédé au bisulfite pour en séparer la cellulose. Ce sous-produit (lessive sulfiteuse) renferme une forte proportion d'acide lignosulfonique; la composition de ce corps est assez mal connue mais on sait que c'est un composé à longue chaîne moléculaire. Il est soluble dans l'eau et les fabriques de cellulose le fournissent sous la forme d'une lessive très acide de laquelle on peut facilement tirer un extrait sec, pulvérulent et non hygroscopique. Pour que les résultats des essais décrits plus loin fussent comparables, on a opéré avec des solutions à 40 % de cet extrait sec. Avec cette solution, pendant le même temps et avec le même abrasif, on use une fois et demie plus de quartz qu'avec l'eau. Le résultat escompté a donc été obtenu. Il est à peu près du même ordre avec une lessive sulfiteuse brute qui peut renfermer jusqu'à 80 % d'extrait sec.

La technique des essais

Les conditions pratiques de l'emploi de cette solution ont été déterminées ensuite au moyen d'un appareil simple que l'on peut construire dans n'importe quel atelier et qui fonctionne à peu près comme la couronne d'une perforatrice ou d'une sonde rotative. Par une face plane, taillée auparavant, un échantillon de la roche en essai exerce une force constante d'environ 10 kg sur une fraise en métal Widia (1) qui tourne à la vitesse constante de 80 tours par minute. La partie inférieure de la fraise plonge dans la solution sulfiteuse qui est renouvelée continuellement et maintenue à un niveau constant dans un bac pourvu d'un trop-plein. De temps à autre, on pèse l'échantillon jusqu'à ce que son poids reste invariable, ce qui indique que le tranchant des dents de la fraise s'étant arrondi, elles n'attaquent plus la roche. La différence de poids avant et après l'essai mesure

(1) Widia n'est pas le nom d'une déesse germanique, comme on le croit souvent, mais une sorte de sigle, abréviation de *wie Diamant*, c'est-à-dire dur comme le diamant. Ce n'est pas un métal, mais un alliage, le premier du genre, lancé par Krupp, en 1927, sous le nom de *Widia Metall*, le mot *Metall* désignant en allemand aussi bien alliage que métal. Voir : « Deux alliages d'une dureté jusqu'ici inconnue ». (*Science et Vie*, no 167, mai 1931, p. 409.)

l'usure de la roche. L'essai dure 4 à 5 heures avec le quartz, le grès ou le quartzite; il permet de comparer très exactement les différentes roches et aussi les qualités de différentes fraises si on opère sur la même roche. Pour celles que nous avons citées, l'usure est 1,45 à 1,65 fois ce qu'elle est dans l'eau.

Des remarques intéressantes ont été faites au cours des essais. Les dents de la fraise doivent attaquer la roche de façon que l'axe de la fraise fasse un angle d'environ 7° avec la face de la roche présentée à la fraise. Avec l'eau, la surface usée de la roche par la fraise est polie alors qu'elle est rugueuse avec la lessive, ce qui concorde avec ce que l'expérience enseigne, à savoir que les corps durs se polissent mieux que les corps mous.

Ce ne sont pas nécessairement les alliages les plus durs qui usent le plus la même roche, sans doute à cause de leur plus grande fragilité; à chaque roche correspond donc un alliage qui donne le meilleur résultat; à cet égard, les alliages durs aux carbures métalliques, comme le Widia, présentent toute une gamme de duretés et de fragilités qui permettra de faire un choix judicieux. La lessive,

bien qu'acide, n'attaque pas l'acier, ce qu'on peut attribuer à sa haute teneur en matière organique agissant comme un inhibiteur.

Pour la perforation des roches, il est avantageux que la boue qui entoure la couronne du trépan ou du fleuret soit visqueuse et possède la propriété thixotropique, comme les bentonites.

De la porcelaine à la préhistoire

Il est assez curieux de rapprocher tous ces faits du travail des raccommodeurs de vaisselle qui déposent une gouttelette de pétrole, d'huile ou d'essence de térébenthine, ou de leur mélange, au point qu'ils veulent perforent et qui, à cet effet, emploient une petite fraise en acier à outil ordinaire d'une dureté moyenne. Ils parviennent ainsi à percer le verre et la porcelaine dure. Aujourd'hui, faute des liquides précités, il paraît que certains d'entre eux emploient maintenant, et avec succès, leur propre urine. C'est fort possible, car ce substitut, comme les liquides qu'il remplace, renferme un corps, l'urée, dont la composition chimique est assez complexe. C'est très probablement aussi l'urine qu'employaient les hommes du paléolithique, pour percer les petites pierres, rondes et dures, de leurs colliers. Exclusivement carnivores, leur urine devait être très riche, non seulement en urée, mais aussi en acide urique et en autres corps d'une composition plus complexe encore.

E. LEMAIRE.

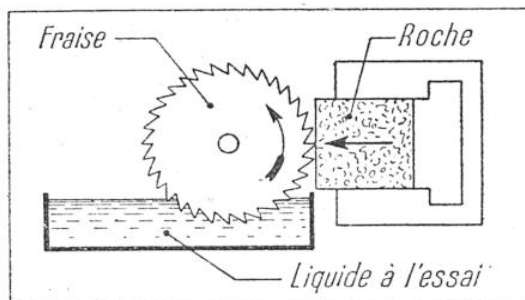


FIG. 1. — SCHÉMA DU DISPOSITIF UTILISÉ POUR MESURER LA DURETÉ D'UNE ROCHE EN PRÉSENCE D'UN LIQUIDE

La roche est maintenue appliquée par une force constante contre la fraise. Celle-ci baigne en partie dans le liquide à étudier.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Le moteur à charbon pulvérisé au Japon

LES premières recherches concernant l'emploi direct du charbon pulvérisé dans les cylindres d'un moteur furent l'œuvre de Rudolf Diesel. Il les abandonna par la suite pour se consacrer à la réalisation du moteur qui porte son nom. Ses travaux furent cependant poursuivis en Allemagne par un de ses collaborateurs Rudolf Pawlikowski, qui put réaliser un certain nombre de ces moteurs à titre expérimental, sans cependant parvenir à surmonter tous les obstacles rencontrés d'une manière suffisamment satisfaisante pour aborder les réalisations véritablement industrielles (1).

Les difficultés, en effet, sont grandes : l'alimentation des cylindres doit être régulière et réglable, et le fonctionnement des soupapes d'admission impeccable, car, si le charbon gêne la fermeture de l'une d'elles, la sécurité de l'ensemble peut être compromise : la combustion dans les cylindres doit être rapide et complète ; les cendres doivent en totalité être évacuées au dehors.

Voici que l'on signale l'apparition, au Japon, d'un nouveau moteur à charbon pulvérisé, qui semble faire de nombreux emprunts à la

technique classique de Pawlikowski et de ses continuateurs, mais s'en distingue par un certain nombre de dispositions originales.

Les réalisations allemandes avaient surtout porté sur des moteurs fixes, à faible vitesse de rotation. Au Japon, au contraire, l'ingénieur Siro Nakasaki a construit un moteur à charbon pulvérisé d'automobile, à six cylindres, tournant entre 1 300 et 2 000 tours/mn et développant entre 50 et 75 ch. L'alésage et la course du piston sont tous deux égaux à 110 mm.

Le charbon sous forme de poudre est placé dans une trémie à l'arrière de la voiture, et est amené au moteur par une vis sans fin dont la vitesse de rotation peut varier en fonction de la puissance demandée au moteur. Il tombe dans une canalisation parcourue par l'air d'alimentation du moteur qui l'entraîne sous l'effet de la dépression provoquée par la course d'aspiration du piston. A travers la soupape d'admission, le charbon pulvérisé parvient ainsi dans une antichambre où il entre au contact de l'air chaud que la course ascendante du piston porte à haute température d'inflammation, mais ne brûle qu'au moment précis où la bougie d'allumage enflamme le mélange. Les gaz produits et les poussières de charbon incomplètement brûlées sont chassés par la pression développée dans une chambre intermédiaire en forme d'anneau, laquelle entoure le cylindre à sa partie supérieure. Des fentes

tangentielles le conduisent de là dans le cylindre où s'achève la combustion avec une forte turbulence. Chaque cylindre possède six soupapes.

On indique pour la consommation de combustible le chiffre de 2 800 calories par cheval-heure effectif, et pour le rendement mécanique 67 %.

Pour protéger les parois des cylindres et les segments des pistons, ainsi que pour assurer l'évacuation complète de la chambre de combustion et de la chambre intermédiaire, une longueur anormale a été donnée au piston. Il est prolongé d'une longueur égale à la moitié de sa course environ, par rapport à un piston normal, et ce prolongement a un diamètre légèrement inférieur au diamètre du corps du piston. Chaque fois que le piston arrive à son point mort bas, à la fin de la course motrice, de l'air comprimé est envoyé dans l'espace annulaire entre piston et cylindre, chassant devant lui les poussières et les cendres.

Toutes les pièces soumises à l'érosion sont facilement interchangeables. La plus grosse difficulté à vaincre dans la réalisation d'un moteur à charbon pulvérisé est en effet l'élimination des cendres qui jouent le rôle d'un abrasif très dangereux. Malgré les précautions prises dans le moteur en question, il ne semble pas que l'on ait réussi complètement à éviter l'accumulation de ces cendres dans l'huile de graissage du carter.

V. RUBOR.

(1) Voir : « Le moteur à charbon pulvérisé est-il le moteur de l'avenir ? » (*Science et Vie*, n° 219, septembre 1935, p. 208.)

Pour être sûr de lire régulièrement SCIENCE ET VIE, abonnez-vous :

	France	Etranger
Envois simplement affranchis.....	110 francs	200 francs
Envois recommandés.....	140 francs	250 francs

■

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

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

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

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



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

L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS

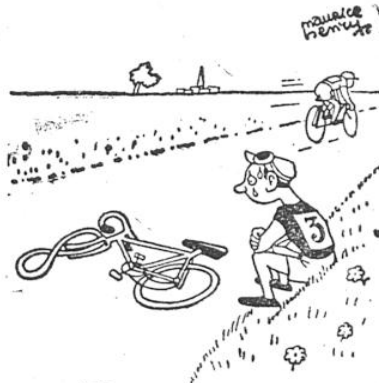
En 6 mois, grâce à notre méthode moderne d'enseignement pratique professionnel, vous deviendrez l'expert recherché dans l'Industrie, le Cinéma, la Télévision, l'Amplification, etc

INSTITUT ELECTRO-RADIO

6, RUE DE TÉHÉRAN-PARIS - 8^e

DE SUITE, écrivez-nous pour recevoir gratuitement notre luxueux programme • Service V S
"L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES"
PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

Il a perdu...



...VOUS GAGNEREZ
EN PRENANT UN BILLET
DE LA
LOTÉRIE NATIONALE

LES MEILLEURES ÉTUDES PAR CORRESPONDANCE

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

LA CÉLÈBRE MÉTHODE DE CULTURE MENTALE DUNAMIS

... permet à chacun, moyennant vingt à trente minutes par jour d'exercices attrayants de développer au maximum son attention, son intelligence, sa mémoire, son imagination, sa volonté, d'acquiescer la confiance en soi et, selon l'expression d'un éminent pédagogue, de FORCER LE SUCCÈS EN TOUS DOMAINES. Elle s'adresse à tous ceux, hommes et femmes, qui veulent non seulement conserver intact, mais encore accroître chaque jour, le trésor de leurs facultés mentales. Demandez la notice gratuite numéro R 858.

LE COURS DE DESSIN

... où, pour la première fois dans l'histoire de l'enseignement des arts graphiques, a été appliqué le principe : « APPRENDRE À DESSINER, C'EST APPRENDRE À VOIR; QUI SAIT VOIR, SAIT DÉJÀ DESSINER », vous rendra capable de dessiner paysages, natures mortes et portraits; en outre, il vous permettra, le cas échéant, de vous spécialiser dans une des nombreuses carrières ouvertes aux dessinateurs. Demandez la notice gratuite numéro R. 859.

LE COURS D'ELOQUENCE

... vous rendra maître de votre langage, vous affranchira de la funeste timidité, vous donnera le moyen de vous exprimer dans les termes les plus choisis et les plus persuasifs; vous permettra, d'une part, d'improviser compliments, speeches ou allocutions dans toutes les circonstances de la vie familiale ou professionnelle, et, d'autre part, de préparer aisément des conférences, des discours selon les meilleures et les plus sûres traditions de l'art oratoire. Demandez la brochure gratuite numéro R. 860.

LE COURS DE PUBLICITÉ

... essentiellement pratique, mettra à votre disposition tous les secrets de la technique publicitaire sous toutes ses formes, et vous permettra soit de vous créer une situation dans la publicité, soit de développer dans des proportions inespérées le volume de vos affaires, qu'elle qu'en soit l'importance actuelle. (Notice grat. no R. 861.)

Si vous désirez faire des ÉTUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES, n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ECOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au BREVET ÉLÉMENTAIRE, au B.E.P.S., au CERTIFICAT D'ÉTUDES CLASSIQUES ou MODERNES et au BACCALAUREAT. Demandez l'envoi gratuit de la brochure numéro R. 862 (études primaires) ou numéro R. 863 (études secondaires).

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, boulevard des Belges, LYON (Rhône).

16, rue du Général-Mallette, PARIS (16^e).

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL NICE | ÉCOLE DE T. S. F.

3, rue du Lycée
ENSEIGNEMENT PAR CORRESPONDANCE

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

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

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

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

ADMINISTRATIONS Tous les cours techniques des diverses administrations France et Colonies.

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

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

Ces cours ont également lieu à Paris, 152, avenue de Wagram.

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

Pour la Section Radio, adresser les demandes à : M. J. GALOPIN, aux Cordeliers, Issoudun (Indre).

JEUNES GENS !

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

sont dans la RADIO

P. T. T., AVIATION, MARINE, NAVIGATION AÉRIENNE, COLONIES, DÉFENSE DU TERRITOIRE, POLICE, DÉPANNAGE, CONSTRUCTION INDUSTRIELLE, TÉLÉVISION, CINÉMA.

COURS SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES, PRATIQUES, PAR CORRESPONDANCE

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

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

Préparation à l'entrée aux écoles privées d'Enseignement maritime.

**Devenez
DESSINATEUR
et PEINTRE!**



Renseignez-vous aujourd'hui même sur l'ÉCOLE INTERNATIONALE et sur les lucratives et passionnantes carrières auxquelles vous pourrez prétendre lorsque vous

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

L'ÉCOLE INTERNATIONALE

PAR CORRESPONDANCE

DE DESSIN ET DE PEINTURE

SERVICE DL _____ PRINCIPAUTÉ DE MONACO



Le Gérant : L. LESTANG. T W 13647 - 11 juillet 1944. Imp. Régionale. - I.C.O. - 31-2658.

LA RADIO *manque* DE SPECIALISTES!



JEUNES GENS !

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

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

PREPAREZ CES CARRIERES
en suivant nos cours spécialisés
PAR CORRESPONDANCE
conçus d'après les méthodes les plus modernes de l'enseignement américain.

INSCRIPTIONS A TOUTE EPOQUE DE L'ANNEE

TOUS NOS COURS COMPORTENT LES EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE

PLACEMENT

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

diplômés.

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

Notices gratuitement sur demande.



ECOLE GENERALE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

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

ADRESSES DE REPLI

Publ. R. Domenach M.C.S.P.

MÉTÉORE

Qualité d'abord

S'impose au monde entier

LA PLUME "VÆDIUM".
Même technique. Même usage.
Même garantie que la plume "or"

42

DAGGAUD S.A.

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS - S^TDENIS (SEINE) - PLAINE : 16.55

IMPR. RÉGIONALE 59 RUE BAYARD TOULOUSE 400 31 2658